

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.**



TRABAJO DE GRADO:

“EVALUACIÓN DEL IMPACTO HÍDRICO QUE SE GENERA EN EL ACUÍFERO SUBTERRÁNEO DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, POR LA EXPLOTACIÓN DE POZOS DE USO INDUSTRIAL Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE”.

PRESENTADO POR:

ALVARENGA GONZALEZ, ALAN NAPOLEON

CRUZ LAÍNEZ, HERNÁN MIGUEL

PORTILLO GONZÁLEZ, HÉCTOR ISAAC

PORTILLO PEREIRA, ORFA NOEMY

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

CIUDAD UNIVERSITARIA DE ORIENTE, SEPTIEMBRE DE 2016.

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES

LIC. LUIS ARGUETA ANTILLÓN
RECTOR INTERINO

ING. CARLOS ARMANDO VILLALTA
VICE-RECTOR ACADÉMICO INTERINO

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA
SECRETARIA GENERAL

LICDA. NORA BEATRIZ MELÉNDEZ
FISCAL GENERAL INTERINA

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

AUTORIDADES

ING. JOAQUÍN ORLANDO MACHUCA
DECANO

LIC. CARLOS ALEXANDER DÍAZ
VICE-DECANO

LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNÁNDEZ
SECRETARIO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ING. JUAN ANTONIO GRANILLO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO
DOCENTE DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL

TITULO:

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO HÍDRICO QUE SE GENERA EN EL
ACUÍFERO SUBTERRÁNEO DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE DEL
MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, POR LA EXPLOTACIÓN DE POZOS DE
USO INDUSTRIAL Y ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.**

PRESENTADO POR:

ALVARENGA GONZALEZ, ALAN NAPOLEON

CRUZ LAÍNEZ, HERNÁN MIGUEL

PORTILLO GONZÁLEZ, HÉCTOR ISAAC

PORTILLO PEREIRA, ORFA NOEMY

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO

DOCENTE DIRECTOR

CIUDAD UNIVERSITARIA DE ORIENTE, SEPTIEMBRE DE 2016

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO
DOCENTE DIRECTOR

TRIBUNAL CALIFICADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. FRANCISCO AGUIRRE GALLO
DOCENTE ASESOR

ING. DAVID CHÁVEZ SARAVIA
TRIBUNAL CALIFICADOR

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS
TRIBUNAL CALIFICADOR

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** todopoderoso por habernos dado la fortaleza y permitir culminar con éxito esta etapa de nuestra vida académica.

A la Universidad de El Salvador por habernos formado académicamente e inculcado la responsabilidad, el trabajo y la dedicación de esta carrera.

Agradecemos de una manera cordial a las siguientes instituciones que en su debido tiempo nos brindaron su valiosa colaboración:

Universidad de El Salvador

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)

A nuestro docente director, **Ing. Francisco Aguirre Gallo**, por su colaboración, paciencia, entrega, tiempo y conocimientos compartidos para la finalización de éste trabajo.

A los profesionales por brindarnos su colaboración para la finalización de este trabajo graduación:

Ing. Milagro de María Romero de García

Ing. José Luis Castro Cordero

Ing. Rigoberto López

Ing. Luis Clayton Martínez

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Ing. Guillermo Moya Turcios

Ing. Atilio Vázquez Hernández

A todos los compañeros que a lo largo de la carrera estuvieron apoyándonos.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**: Por estar conmigo y darme las fuerzas necesarias para salir adelante de toda adversidad.

A **mis padres**: Napoleón Alvarenga Callejas y Antonia Isabel González de Alvarenga, con todo mi amor, cariño y alto reconocimiento, ya que de ellos es este triunfo porque han estado presentes brindándome su apoyo, amor y consejos en todo momento de manera incondicional.

A **mi hermano**, Roberto Carlos Alvarenga, por sus consejos y amor fraternal.

A los **Ingenieros catedráticos**, por su paciencia, experiencias y enseñanzas brindadas a lo largo de la preparación profesional.

A mi **Asesor de tesis**, Ingeniero Francisco Aguirre Gallo, por su amistad y confianza, por guiarnos y proporcionarnos sus conocimientos en la correcta realización de esta investigación.

A mis **compañeros/as**, por brindarme su amistad en todo momento, por su confianza y consejos, haciendo de cada momento vivido un recuerdo grato con su compañía.

A mi **familia y amigos/as**, por su apoyo moral y motivarme a seguir adelante siempre.

ALAN NAPOLEÓN ALVARENGA GONZÁLEZ

DEDICATORIA

Agradezco a Dios Todopoderoso por fortalecerme cada día en el transcurso de la carrera, por cuidarme, protegerme y permitirme culminar con éxito esta etapa tan maravillosa e importante en mi vida. Creo firmemente que es una victoria más en su nombre.

A mis Padres José Hernán Cruz y Nancy Cecilia Laínez por su amor, dedicación y apoyo incondicional; gracias por confiar en mí y hacerme saber que puedo lograr todo lo que me proponga, Dios los bendiga infinitamente. Por el apoyo económico durante la misma, por los consejos que me brindan siempre, por los valores y principios que han inculcado en mí, por la tolerancia y paciencia que han mostrado conmigo en los momentos difíciles de mi vida.

A Jacqueline Cruz, por el apoyo incondicional que me ha brindado y el ánimo que siempre me ha inspirado para seguir adelante en los momentos buenos y malos en el transcurso de mi carrera, gracias por creer y confiar en mí.

A mis hermanos José Samuel Cruz Laínez y Alfredo Alexander Cruz Laínez, por apoyarme y estar pendientes de mí.

A mi asesor de investigación, Ing. Francisco Aguirre Gallo, por brindarnos su amistad y sus conocimientos sin ninguna reserva ayudándonos a realizar adecuadamente el proceso de la investigación y culminar con éxito el mismo.

Y no puedo dejar atrás a **mis compañeros de tesis: Orfa Noemy Portillo, Héctor Isaac Portillo y Alan Napoleón Alvarenga**, por hacer posible también la realización de esta, por sus consejos, comprensión y tolerancia. **A todos Gracias.**

HERNÁN MIGUEL CRUZ LAÍNEZ

DEDICATORIA

Primeramente a **Dios** por lograr un triunfo importante en mi vida.

A mis padres: **Esmeralda Elizabeth González y Héctor Isaac Portillo**, por darme la opción de elegir mi carrera, brindarme apoyo y confianza para alcanzar mis metas.

A mis hermanos: **Mayra Elizabeth Portillo y Edwin Omar Portillo**, por apoyarme siempre durante toda esta lucha.

A mi Esposa: **Sobeida Xiomara Martínez**, por su apoyo incondicional y confiar fervorosamente que alcanzaría mis metas.

A **mis tío/as y Primos**: de quienes siempre recibo apoyo y motivación para seguir adelante.

A **Orfa, Hernán y Alan**, por su dedicación y esfuerzo durante todo este proceso para alcanzar nuestro objetivo.

A mis amigos/as y compañeros/as: **Sonia Castillo, Ángeles Campos, Beatriz Alfaro, Alba Álvarez, Harold Portillo, Héctor Mena, Ricardo Pacas, Nelson Alvarado, Juan Andrade, Miguel Vela, Gilberto Asensio, Erick Lazo, Alex Guevara, Benjamín Coca, Rene Claros, Rommel Morales, Esmelin Rivas, Edwin Rivera, Katty Ulloa, Walter Campos, Humberto Moreira** , por su amistad y apoyo incondicional.

HÉCTOR ISAAC PORTILLO GONZÁLEZ.

Dedico este triunfo:

A Dios: por haberme permitido terminar esta etapa de mi vida, por haber guiado mis pasos a largo de mi formación académica y por darme fortaleza y sabiduría para seguir adelante y lograr mis metas.

A mi madre Donatila Pereira, por haberme apoyado y por creer en mí y ser un pilar fundamental en mi vida, gracias por todo tu apoyo y por tus consejos y por siempre estar conmigo, llegar a esta etapa no hubiese sido posible sin ti.

A mi padre Arnoldo Portillo, gracias por todo.

A mi hermano mayor Josué Portillo, gracias por tu apoyo, por tus consejos y por creer siempre en mí, eres parte de mi logro, gracias hermano.

A Paco Madrid (Q.E.P.D.) Gracias por tu paciencia y por haberme enseñado tanto durante el tiempo que te conocí, te voy a estar agradecida toda mi vida.

A mis compañeros de tesis Héctor, Hernán y Alan que más que mis compañeros son amigos, gracias por haber hecho que este proceso fuera una buena experiencia.

A todos mis amigos gracias a todos mis amigos y compañeros por haber hecho que esta etapa de mi vida fuera una experiencia muy bonita.

Y a todas las personas que de alguna manera u otra siempre me han motivado a lograr mis objetivos.

¡Gracias a todos!

ORFA NOEMY PORTILLO

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	i
--------------------	---

CAPITULO I “GENERALIDADES”

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	5
1.3 JUSTIFICACION	5
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
1.5 ALCANCES Y LIMITANTES	8
1.5.1 ALCANCES	8
1.5.2 LIMITANTES	9

CAPITULO II "MARCO REFERENCIAL"

2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	11
2.1.1 ACUIFERO	11
2.1.2 ACUÍFERO SUBTERRÁNEO.....	12
2.1.3 ESPESOR DEL ACUÍFERO.....	12
2.1.4 HIDROGEOLOGÍA	13
2.1.5 AGUA SUBTERRÁNEA	13
2.1.6 CUENCA.	14

2.1.7 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	15
2.1.8 CUENCA HIDROLÓGICA.	15
2.1.9 EL PARTE AGUAS.....	16
2.1.10 RECARGA HÍDRICA.	16
2.1.11 PRECIPITACIÓN.....	16
2.1.12 INFILTRACIÓN.....	16
2.1.13 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.	17
2.1.14 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (C).	17
2.1.15 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).	17
2.1.16 PERIODO DE RETORNO (T).	17
2.1.17 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	18
2.1.18 POZO	18
2.1.19 POZOS DE OBSERVACIÓN.....	19
2.1.20 CAUDAL ESPECIFICO DE POZO	19
2.1.21 ABATIMIENTO.	19
2.1.22 CAPACIDAD ESPECÍFICA	19
2.1.23 NIVEL ESTÁTICO	20
2.1.24 NIVEL DINÁMICO	20
2.1.25 NIVEL PIEZOMÉTRICO.....	20
2.1.26 TRANSMISIBILIDAD (T)	20
2.1.27 RADIO DE INFLUENCIA.....	21
2.1.28 BALANCE HIDRICO.....	21

2.2 MARCO TEORICO	22
2.2.1 EL AGUA EN EL SALVADOR	22
2.2.1.1 HIDROLOGÍA DE EL SALVADOR	22
2.2.1.2 RECURSOS DEL AGUA EXISTENTE DE EL SALVADOR	22
2.2.1.3 CUENCAS DE EL SALVADOR	23
2.2.1.4 RECURSOS DE AGUA SUPERFICIAL DE EL SALVADOR.....	24
2.2.1.5 CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE EL SALVADOR.....	26
2.2.1.6 RECURSOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SALVADOR	27
2.2.1.7 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SALVADOR	28
2.2.1.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	28
2.2.1.9 IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	29
2.2.1.10 PRINCIPALES USOS DEL AGUA EN EL SALVADOR.....	31
2.2.2 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	33
2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA	34
2.2.2.2 PARTES DE UNA CUENCA	36
2.2.2.3 TIPOS DE CUENCAS.....	36
2.2.3 ACUIFEROS	37
2.2.3.1 TIPOS DE ACUIFEROS	37
2.2.3.2 SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS.....	40
2.2.3.3 MODELAMIENTO DE ACUIFEROS	41
2.2.3.4 APLICACIÓN DEL SOFTWARE MODFLOW PARA MODELAR ACUIFEROS	42

2.3 MARCO NORMATIVO.....	43
2.3.1 LEGISLACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL SALVADOR.....	43
2.3.2 ACERCA DE LA CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA:	45
2.3.3 ACERCA DE LAS ORDENANZAS MUNICIPALES:.....	45
2.3.4 ACERCA DE LEY DEL MEDIO AMBIENTE:.....	46

CAPITULO III "CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO"

3. 1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO EL JUTE ...	49
3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE	50
3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE	51
3.3.1 CLIMATOLOGÍA.....	51
3.3.2 TEMPERATURA	51
3.3.3 PRECIPITACIÓN.....	53
3.3.4 HUMEDAD RELATIVA	56
3.4 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO	58
3.4.1 GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE	58
3.4.2 GEOLOGÍA PRESENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	58
3.4.3 ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.	59
3.4.3.1 FORMACION SAN SALVADOR	60
3.4.3.2 FORMACION CUSCATLAN	60

3.5 TIPO DE SUELO	62
3.6 USO DE SUELO	65
3.7 FISIOGRAFÍA	66
3.8 HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	67
3.8.1 GENERALIDADES.....	67
3.8.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	68
3.8.3 DRENAJE SUPERFICIAL DE LA CUENCA EL JUTE.....	69
3.8.4 DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE.....	70

CAPITULO IV " METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN"

4.1 ESQUEMA METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	72
4.2 DELIMITACION DEL ÁREA DE ESTUDIO MEDIANTE SOFTWARE	73
4.2.1 IMPLEMETACION DE QGIS.....	73
4.2.2 IMPLEMETACION DE ARCGIS	74
4.3 REVISIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	74
4.3.1 GEOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA.....	74
4.3.2 METEOROLOGÍA.....	75
4.3.3 HIDROGEOLOGÍA.....	75
4.4 INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	75

4.4.1 INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.	76
4.4.2 MEDICIÓN DEL NIVEL DEL AGUA.	76
4.4.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS.	77
4.4.4 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN.	77
4.5 DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) PARA EL AREA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE	79
4.6 DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR) PARA EL AREA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE	80
4.7 DETERMINACIÓN DE LA TRANSMISIVIDAD “MÉTODO DE JACOB C.E”	81
4.8 CALCULO DEL RADIO DE INFLUENCIA	82
4.9 MÉTODO RAS.....	83
4.9.1 BALANCE CLIMÁTICO (BC).....	83
4.9.2 CÁLCULO DEL KFC	84
4.9.3 CÁLCULO DE KP.....	85
3.9.4 CÁLCULO DE KV.....	85
4.10 MÉTODO G. SHOSINSKY 2000 PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO.....	86
4.11 METODOLOGÍA PARA LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE.....	92
4.11.1 CLASIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS	92
4.11.2 ATRIBUTOS DE LOS IMPACTOS	93

CAPITULO V EVALUACIÓN HÍDRICA

5.1 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN PROMEDIO PARA LA CUENCA EL JUTE.	100
5.1.1 PROCEDIMIENTO DE CAMPO.	101
5.2 DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)	103
5.3 DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)	107
5.4 DETERMINACIÓN DE LA EXTRACCIÓN ACUÍFERA	109
5.5 INVENTARIO DE POZOS DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO	111
5.6 DETERMINACIÓN DE TRANSMISIVIDAD Y RADIO DE INFLUENCIA DE POZOS	114
5.6.1 TRANSMISIVIDAD	114
5.6.2 RADIO DE INFLUENCIA.....	115
5.7 DETERMINACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA MEDIANTE EL MÉTODO RAS.	119
5.7.1 CALCULO DEL BALANCE CLIMÁTICO	119
5.7.2 CÁLCULO DE LA RECARGA ACUÍFERA	120
5.7.2.1 COEFICIENTE DEL TIPO DE SUELO (K_{fc}).....	120
5.7.2.2 COEFICIENTE DE PENDIENTE (K_p).....	123
5.7.2.3 COEFICIENTE DE USO DE SUELO (K_v)	124
5. 8 CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO POR EL MÉTODO DE G. SHOSINSKY Y MARCELO LOSILLA.	129
5.8.1 ZONIFICACIÓN CUENCA EL JUTE	129
5.8.2 DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES (PR).	135

5.8.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAMPO (CC) Y PUNTO DE MARCHITEZ (PM).....	136
5.8.4 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE EN EL SUELO (DS).....	137
5.8.5 APLICACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS GUNTER SCHOSINSKY.....	137
5.8.6 RECARGA ACUÍFERA POR EL MÉTODO DE GUNTER SCHOSINSKY.....	140
5.9 DETERMINACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA MEDIANTE EL MAPA DE RECARGA ACUÍFERA DE EL SALVADOR	141
5.10 EXPLOTACIÓN ACUÍFERA DE LA CUENCA EL JUTE.....	146
5.10.1 VOLUMEN DE AGUA EXTRAÍDA.....	146
5.10.2 PROYECCIÓN DE EXTRACCIÓN DE AGUA.....	148
5.10.3 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA EL JUTE.....	149
5.10.4 ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA EXTRACCIÓN RESPECTO A LA RECARGA ACUÍFERA.....	149
5.11 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENERADOS EN LA CUENCA EL JUTE POR MEDIO DE UNA MATRIZ.....	150
5.12 COMPENSACIÓN HÍDRICA PARA LA CUENCA EL JUTE	181
5.12.1 REFORESTACIÓN.....	181
5.12.2 MEDIDAS DE RECARGA HÍDRICA.....	182
5.12.3 AFECTACIÓN AL PAISAJE Y VIDA SILVESTRE	183
5.12.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CUENCA EL JUTE.....	184

CAPITULO VI " CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

6.1 CONCLUSIONES	187
6.2 RECOMENDACIONES.....	189
FUENTES DE CONSULTA	191
ANEXOS.....	194
ANEXO 1 MAPAS	195
ANEXO 2 PRUEBAS DE INFILTRACION.....	208
ANEXO 3 DOTACIONES ESTIMADAS	216
ANEXO 4 RESULTADO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL 	218
ANEXO 5 RESULTADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL REAL DESDE EL AÑO 2005 HASTA EL AÑO 2015 MEDIANTE EL SOFTWARE (INNER ISBH).....	227
ANEXO 6 TRANSMISIVIDAD Y RADIO DE INFLUENCIA	235
ANEXO 7 BALANCE HÍDRICO MEDIANTE EL MÉTODO DE GUNTHER SCHOSINSKY.....	253
ANEO 8 GUÍA DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL.....	268

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I “GENERALIDADES”

Figura 1.1. Representación gráfica de los cantones que integran la Cuenca El Jute	5
--	---

CAPITULO II “MARCO REFERENCIAL”

Figura 2.1. Esquema de un acuífero.....	11
Figura 2.2. Espesor de acuíferos tanto en confinados como en libres.....	12
Figura 2.3. Elementos del flujo del agua subterránea	14
Figura 2.4. Ilustración de una cuenca	15
Figura 2.5. Ciclo del agua de la superficie de la Tierra, que muestra los componentes individuales de la transpiración y la evaporación que componen la evapotranspiración.....	18
Figura 2.6. Radio de influencia	21
Figura 2.7. Representación de Cuenca.....	24
Figura 2.8. Mapa de recursos de agua superficial de El Salvador. (MARN)	26
Figura 2.9. Esquema de acuífero libre	38
Figura 2.10 Esquema de un acuífero confinado	38
Figura 2.11 Esquema de un acuífero semi-confinado.....	39
Figura 2.12 Acuífero colgado	39

CAPITULO III “CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO”

Figura 3.1. Ubicación geográfica de la cuenca del río El Jute respecto al municipio de San Miguel.....	50
Figura 3.2. Formaciones geológicas presentes en el área de estudio.....	59
Figura 3.3. Mapa pedológico de la cuenca del río El Jute.....	64
Figura 3.4. Mapa de uso de suelo en el área de la cuenca del río El Jute.....	66
Figura 3.5. Mapa de pendientes de la cuenca del río El Jute.....	67
Figura 3.6. Delimitación hidrogeológica del área de estudio.....	69

CAPITULO V “EVALUACION HIDRICA”

Figura 5.1. Prueba de infiltración en campo.....	101
Figura 5.2. Ubicación de las pruebas de infiltración.....	103
Figura 5.3. Tabla de resultados para conocer el valor de ETR en la zona de estudio	108
Figura 5.4. Mapa pedológico en la zona de estudio.....	121
Figura 5.5. Mapa de rango de pendientes en el área de la cuenca del río El Jute.....	123
Figura 5.6. Mapa de uso de suelo para la zona de estudio.....	125
Figura 5.7 Mapa de pendientes de la cuenca el río El Jute.....	132
Figura 5.8 Geología presente en el área de estudio	134
Figura 5.9. Tabla con los valores para el cálculo del balance hídrico.....	137
Figura 5.10 Mapa de recarga acuífera para el área de la cuenca E Jute.....	141
Figura 5.11. Rangos de infiltración para la zona según el mapa de VIGEA...	142
Figura 5.12. Mapa de vulnerabilidad en el área de estudio.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II “MARCO REFERENCIAL”

Tabla 2.1 Regiones hidrográficas de El Salvador (Elaborado por Raúl Artiga, con base en SNET (2005).	24
---	----

CAPITULO III “CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO”

Tabla 3.1. Rangos de temperaturas mensuales para el departamento de San Miguel, proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).....	52
Tabla 3.2. Datos del registro de la precipitación promedio mensual en el periodo de 2005-2015, proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).....	54
Tabla 3.3. Humedad Relativa correspondiente a los años comprendidos entre el período 2005-2015.....	56
Tabla 3.4. Estratigrafía de la zona de estudio	61

CAPITULO IV “METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION”

Tabla 4.1. Coeficientes por tipo de suelo	84
Tabla 4.2. Coeficientes de pendiente	85

Tabla 4.3. Coeficientes del uso de suelo.....	85
Tabla 4.4. Valores de Kp según pendiente (Fuente Schosinsky, 1999).	90
Tabla 4.5. Valores de Kv según el uso del suelo (Junker, 2005. Schosinsky, 1999).....	91
Tabla 4.6. Parámetros por textura del suelo (Fuente: Duarte, 1998).....	92

CAPITULO V “EVALUACION HIDRICA”

Tabla 5.1. Resultados de la primera prueba de infiltración.....	101
Tabla 5.2 Resultados de todas las pruebas de infiltración realizadas para el área de la cuenca	102
Tabla 5.3 Valores de radiación solar (R_{mm}) para la estación San Miguel-UES)	103
Tabla 5.4. Temperatura promedio mensual (°F).....	104
Tabla 5.5. Humedad relativa mensual media. Fuente MARN.....	104
Tabla 5.6. Valores de ETP estimados para el periodo 2005-2015.	107
Tabla 5.7. Valores de ETR estimados para el área de la cuenca del río El Jute.	109
Tabla 5.8 Dotaciones estimadas	111
Tabla 5.9 Inventario de pozos en el area del cuenca del río El Jute	112
Tabla 5.10 Datos para calcular la transmisividad	114
Tabla 5.11. Valores para calcular el radio de influencia.	116
Tabla 5.12. Valores de transmisividad y radio de influencia para los pozos inventariados dentro del área de la cuenca del río El Jute.....	118

Tabla 5.13. Calculo de balance climático	119
Tabla 5.14. Coeficientes por tipo de suelo	121
Tabla 5.15. Valores de Kfc para el tipo de suelo de la cuenca.....	122
Tabla 5.16. Valor de Kfc para la zona de estudio.....	122
Tabla 5.17 Valores del coeficiente Kp según el rango de pendiente	123
Tabla 5.18. Valor de Kp para el área de estudio.	124
Tabla 5.19. Valor del coeficiente Kv	125
Tabla 5.20. Resultados de la infiltración anual desde el año 2005 hasta el año 2015.....	128
Tabla 5.21. Valores de Kp según pendiente (Fuente Schosinsky, 1999)	132
Tabla 5.22 Determinación de Kv por zonas.....	133
Tabla 5.23 Parámetros por textura del suelo (Fuente: Duarte, 1998.).....	134
Tabla 5.24 Determinación de la profundidad de raíces zona I	135
Tabla 5.25 Determinación de CC y PM según textura de suelo	136
Tabla 5.26 Densidad Aparente según textura de suelo.....	137
Tabla 5.27. Cuantificación del balance hídrico para la zona I	139
Tabla 5.28. Datos de recarga potencial para todas las zonas del área de la cuenca El Jute	140
Tabla 5.29. Factor de recarga para la cuenca El Jute.....	142
Tabla 5.30. Valores de recarga acuífera condición más favorable.....	144
Tabla 5.31. Valores de recarga acuífera condición más favorable	145
Tabla 5.32. Valores de recarga acuífera condición más desfavorable	146
Tabla 5.33. Tabla con el volumen total de agua extraída en la cuenca El Jute.	147

Tabla 5.34. Caudales proyectados de explotación.....	148
Tabla 5.35. Tabla con los valores de la determinación del balance hídrico.....	149
Tabla 5.36. Proyección de la influencia de la extracción respecto a la recarga acuífera para el año 2026.	150
Tabla 5.37. Matriz de la evaluación de impacto en la cuenca El Jute	152
Tabla 5.38. Valores de los impactos encontrados en la evaluación de la matriz de impacto en la cuenca El Jute	153

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPITULO III “CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO”

Gráfico 3.1 Tendencia de la temperatura promedio anual en el período comprendido desde el año 2005 al 2015	53
Gráfico 3.2 Tendencia de la precipitación promedio anual desde el año 2005 hasta el año 2015	55
Gráfico 3.3. Tendencia de la humedad relativa anual desde el año 2005 hasta el año 2015	57

CAPITULO V “EVALUACION HIDRICA”

Grafico 5.1. Comportamiento de la recarga acuífera para la cuenca del rio El Jute para el periodo de años 2005-2015	128
--	-----

INTRODUCCIÓN

En la actualidad mundial el cambio climático que se está sufriendo en el planeta ocasiona que en las distintas regiones del orbe se susciten condiciones climáticas jamás antes vistas provocando trastornos en el clima a nivel mundial.

En El Salvador el cambio climático se ha manifestado principalmente en el aumento de las temperaturas, reducción de las lluvias y la irregularidad en las estaciones seca y lluviosa, lo que ocasiona escases de agua para cultivos, abastecimiento de comunidades y un incremento en la dependencia de las aguas subterráneas del territorio nacional.

Según información publicada en La Prensa Gráfica, se entrevistó a la Ministra de Medio Ambiente, Lina Pohl, el territorio salvadoreño se encuentra situado en una zona donde las precipitaciones son abundantes; sin embargo, aproximadamente el 50% de las aguas precipitadas se van hacia el mar y de esa manera ya no pueden ser aprovechadas, esto causa que los acuíferos subterráneos no se recarguen de una manera más efectiva.

El incremento en la dependencia de las aguas subterráneas para realizar los distintos procesos industriales, consumo humano y otras utilidades que el hombre realiza con este vital líquido ha ido en aumento debido a la contaminación que presentan las aguas superficiales en ríos, lagos, lagunas o humedales haciéndolos inapropiados para satisfacer la demanda de agua.

En el presente documento se plantea la problemática que se vive en la actualidad por la sobreexplotación del agua subterránea perteneciente al acuífero de la cuenca del río El Jute, el cual es uno de los principales acuíferos que abastece a gran parte del municipio de San Miguel.

La importancia de enfocar una investigación que permita establecer el balance hídrico de este acuífero radica en establecer medidas de mitigación que permitan un uso sustentable del recurso hídrico en la zona.



CAPITULO I

“GENERALIDADES”

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de la producción de azúcar, las actividades pecuarias, el uso agrícola, el uso comercial y el consumo humano, entre otros, han tenido un gran desarrollo en el país, que consecuentemente han provocado un aumento en la demanda del recurso hídrico a nivel nacional, por ende se ven disminuidos los diferentes cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, que son las principales fuentes de abastecimiento de El Salvador.

La problemática del agua en El Salvador lleva muchos años en el debate político para la aprobación de leyes que garanticen el derecho de accesibilidad para todos los habitantes del país; pero se ha pasado por alto la conservación y protección de los diferentes acuíferos subterráneos que existen en el territorio nacional, así como también la poca inversión de recursos para el estudio (Cantidad, Calidad y Uso) de cada uno de estas fuentes de abastecimiento.

Actualmente aunque existen esfuerzos e investigaciones de diferentes entidades encaminadas a la protección y preservación del recurso hídrico, no hay una evaluación que cuantifique la disponibilidad hídrica actual y su proyección a futuro, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros. Algunas de las investigaciones realizadas por parte de las universidades del país en los últimos años sobre los acuíferos subterráneos están enfocadas en medir los parámetros de calidad del agua que estos acuíferos presentan.

Los datos disponibles más completos a escala nacional sobre los recursos hídricos continúan siendo los obtenidos en el marco del Plan Maestro de

Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos (PLAMDARH) elaborado entre 1979 y 1982.

En el municipio de San Miguel donde se encuentra ubicada la cuenca del río “El Jute”, debido a la presencia del Ingenio Chaparrastique que requiere una cantidad mayor a los 2,500 GPM para la realización de las actividades de producción de azúcar, la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador que extrae un total de 50 GPM para el abastecimiento de sus instalaciones, la Estación de Bombeo de “El Jute” que extrae un total de 634 GPM; además de las Urbanizaciones Salazar Romero, Turicentros, entre otros, provoca que la explotación del agua subterránea por medio de pozos que estas instituciones y comunidades poseen, estén generando grandes afectaciones en el acuífero subterráneo de esta zona.

Estando algunos de estos pozos no registrados en ANDA para su respectiva regulación e implementación de un plan que permita contribuir a aumentar la recarga hídrica del acuífero, sumado a estos los fenómenos meteorológicos y ambientales que provocan estaciones invernales con pocas precipitaciones, lo que produce un desequilibrio entre el agua que se almacena en el acuífero debido a la infiltración de las lluvias y el agua extraída por la demanda industrial y poblacional, y que genera una reducción de este vital líquido. Por lo que es indispensable emprender una investigación que evalúe alternativas que permitan cuantificar el impacto que está sufriendo uno de los principales abastecedores de agua subterránea del municipio de San Miguel, y así poder establecer proyecciones de las posibles consecuencias que este pueda sufrir a futuro si no se regula la explotación de este recurso hídrico.



Figura 1.1: Representación gráfica de los cantones que integran la Cuenca El Jute.

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

“Evaluación del impacto hídrico que se genera en el acuífero subterráneo de la cuenca del río “El Jute” del municipio de San Miguel, por la explotación de pozos de uso industrial y doméstico”.

1.3 JUSTIFICACION

La demanda del recurso hídrico en El Salvador es extremadamente alta debido a la utilización del agua para elaborar todo tipo de productos industriales, agrícolas, ganadería y el abastecimiento para el consumo humano, lo cual se ha intensificado en los últimos años con los efectos del calentamiento global que ha provocado una reducción en la cantidad de lluvias sobre el país, lo que genera una mayor dependencia de los acuíferos superficiales y subterráneos para cubrir las demandas.

En el municipio de San Miguel la principal fuente de abastecimiento de agua es la explotación de los acuíferos subterráneos por medio de pozos de uso

industrial, pozos de abastecimiento para el consumo humano, entre otros. La explotación de los pozos y la disminución de las lluvias generan consecuencias en la recarga hídrica del acuífero subterráneo, ya que se disminuye la cantidad de agua almacenada.

La presente investigación estará enfocada en la evaluación hídrica del acuífero subterráneo ubicado en la cuenca del río El Jute en el municipio de San Miguel debido a la explotación de pozos, lo cual sumado al cambio climático que ha habido en los últimos años no contribuyen al equilibrio del acuífero subterráneo por lo que es importante una investigación que permita la apertura del conocimiento de cuán afectado puede estar esta fuente de abastecimiento tan importante para los habitantes de esta zona. Así también se darán los inicios para que se puedan planear estrategias para la preservación y cuidado de los mantos acuíferos.

Esta investigación será de carácter innovador ya que en el país no se cuenta con muchas investigaciones referidas a la hidrología subterránea del territorio nacional, la investigación gana mayor plusvalía debido a la implementación de software que permiten el modelamiento de acuíferos subterráneos.

El cambio climático ha ocasionado gran controversia al provocar eventos meteorológicos jamás visto por la humanidad que ocasionan disminución de lluvias en el país, por lo que es responsabilidad de las instituciones gubernamentales enfocar investigaciones que permitan cuantificar los recursos hídricos con los que cuenta el territorio salvadoreño y así diseñar posibles soluciones que permitan la sustentabilidad y optimización de tan importante recurso.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✚ Evaluar el Impacto hídrico generado por la explotación del agua subterránea en la cuenca del río “El Jute”.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✚ Cuantificar mediante modelos matemáticos y uso de software el volumen de agua almacenado en el acuífero subterráneo de la cuenca del río “El Jute”.
- ✚ Ejecutar pruebas de campo que permitan obtener parámetros de infiltración en la cuenca del río “El Jute”.
- ✚ Calcular el volumen de agua que se infiltra en el área de la cuenca del río El Jute utilizando métodos cuantitativos basados en los parámetros meteorológicos de infiltraciones en la zona de interés.
- ✚ Realizar un inventario de los pozos relevantes destinados al uso doméstico e industrial, dentro de la cuenca del río “El Jute”.
- ✚ Modelar el acuífero de la cuenca del río “El Jute” por medio de software.
- ✚ Proyectar el debilitamiento del acuífero subterráneo provocado por la explotación de los pozos de uso industrial, abastecimiento de agua potable.

- ✚ Proponer alternativas para reducir el impacto hídrico que se está generando por medio de la explotación de los pozos industriales, abastecimiento de agua potable en el acuífero subterráneo de la cuenca del río “El Jute”.

1.5 ALCANCES Y LIMITANTES

1.5.1 ALCANCES

1. Estudiar e inventariar los pozos destinados al uso doméstico e industrial, ubicados en la cuenca del río “El Jute”.
2. Modelar con la utilización de software, el acuífero subterráneo de la cuenca del río “El Jute”.
3. Cuantificar el volumen de agua que se almacena en el acuífero de la cuenca El Jute debido a la infiltración en el suelo de la cuenca.
4. Presentar el desequilibrio hídrico que se suscita en el acuífero subterráneo de la cuenca del río “El Jute” por la sobreexplotación de pozos.
5. Estimar mediante proyecciones a un plazo de 10 años el impacto que se puede causar en el acuífero subterráneo si se sigue sobreexplotando este recurso vital.

6. Presentar alternativas que ayuden a equilibrar o minimizar el impacto hídrico que se está suscitando en el acuífero subterráneo de la cuenca del río “El Jute”.

1.5.2 LIMITANTES

1. Inexperiencia en la realización de pruebas de infiltración por parte de los estudiantes involucrados en la investigación.
2. La indisposición de entidades de gobierno y privadas que permitan la evaluación de los pozos destinados al uso doméstico e industrial.
3. Situaciones ajenas, como inseguridad social, que imposibiliten la realización de los sondeos en los pozos ubicados dentro de la cuenca del río “El Jute”.
4. Altos costos en la realización de estudios más sofisticados a los utilizados para el cálculo con mayor precisión del caudal almacenado en el acuífero subterráneo del río El Jute.
5. Poca participación de entidades responsables en la regulación de la explotación de pozos de uso doméstico e industrial, en el área de estudio.

CAPITULO II

“MARCO

REFERENCIAL”

2.1 MARCO CONCEPTUAL.

2.1.1 ACUIFERO

Un acuífero es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, limo, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas e incluso ciertos tipos de arcilla. El nivel superior del agua subterránea se denomina nivel freático, y en el caso de un acuífero libre, corresponde al nivel freático. Un acuífero es un terreno rocoso permeable dispuesto bajo la superficie, en donde se acumula y por donde circula el agua subterránea.

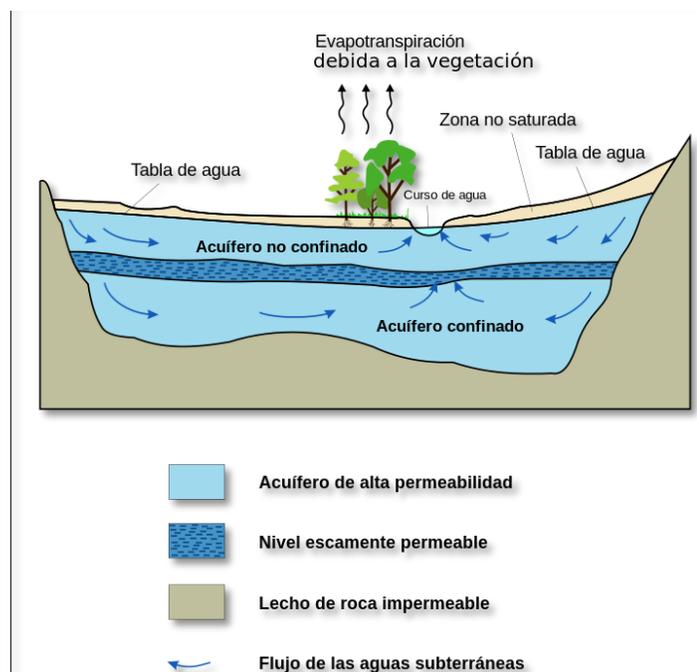


Figura 2.1 Esquema de un acuífero.

2.1.2 ACUÍFERO SUBTERRÁNEO

Es un reservorio de agua ubicado debajo de la superficie terrestre, en suelos porosos o en grietas de formaciones rocosas que permiten la circulación del agua a través de diversas grietas y de la porosidad de su estructura.

2.1.3 ESPESOR DEL ACUÍFERO

Corresponde a la distancia que existe entre el estrato impermeable y el nivel freático en acuíferos libres siendo variable (en función de los cambios del nivel freático), de pocos metros a decenas de metros de magnitud.

En acuíferos confinados y semi-confinados, corresponde a la distancia que existe entre los estratos impermeables que lo encierran, en este caso el valor es constante y puede variar en órdenes de magnitud de unos pocos metros, a cientos o miles de metros.

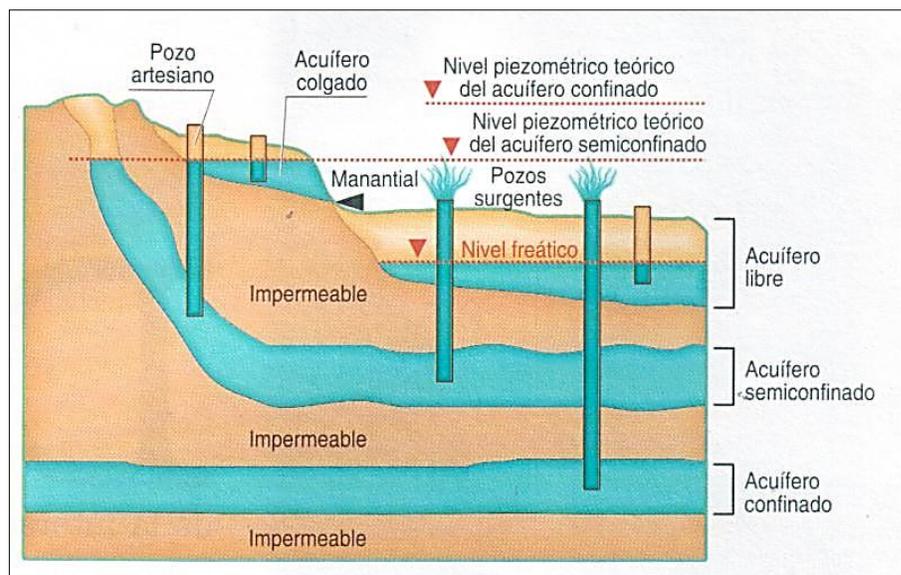


Figura 2.2. Espesor de acuíferos tanto en confinados como en libres.

2.1.4 HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología es una rama de las ciencias geológicas, que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su circulación, sus condicionamientos geológicos y su captación, así su definición dice: La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación.¹

2.1.5 AGUA SUBTERRÁNEA

Las aguas subterráneas son las aguas situadas por debajo de la superficie del suelo en los espacios porosos de este y en las fracturas de las formaciones rocosas. Una unidad de roca o un depósito no consolidado se denomina Acuífero cuando se puede producir una cantidad de agua utilizable. La fuente de aporte principal es el agua de lluvia, mediante el proceso de infiltración.

La profundidad a la que los espacios de los poros del suelo o las fracturas y los vacíos en la roca están completamente saturados de agua se llama: capa freática. Las aguas subterráneas también son a menudo extraídas para usos agrícolas, municipales e industriales mediante la construcción y operación de pozos de extracción.

¹Mijailov, L. (1985). Hidrogeología. Rusia: Mir. Moscú

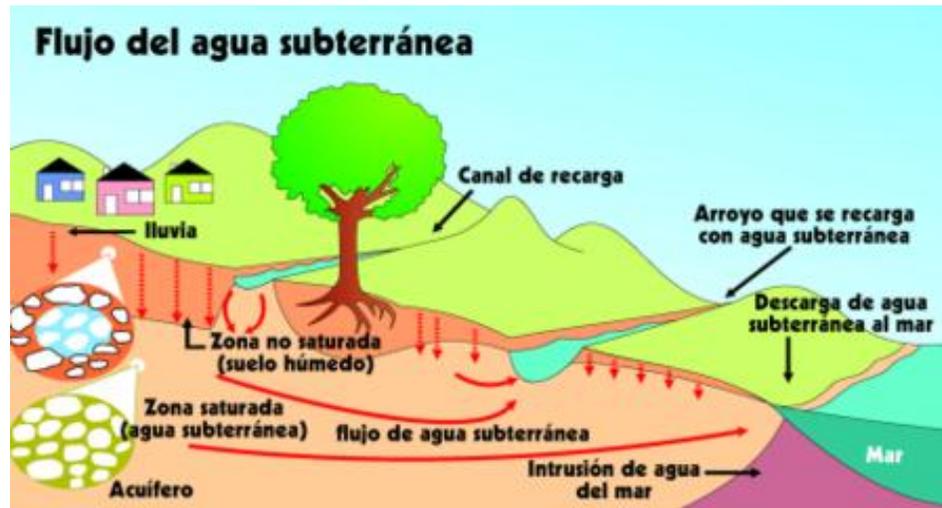


Figura 2.3. Elementos del flujo del agua subterránea.

2.1.6 CUENCA.

Una cuenca es el área de la superficie terrestre drenada por un único sistema fluvial. Sus límites están formados por las divisorias de aguas que la separan de zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales. El tamaño y forma de una cuenca viene determinado generalmente por las condiciones geológicas del terreno. El patrón y densidad de las corrientes y ríos que drenan este territorio no sólo dependen de su estructura geológica, sino también del relieve de la superficie terrestre, el clima, el tipo de suelo, la vegetación y, cada vez en mayor medida, de las repercusiones de la acción humana en el medio ambiente de la cuenca.

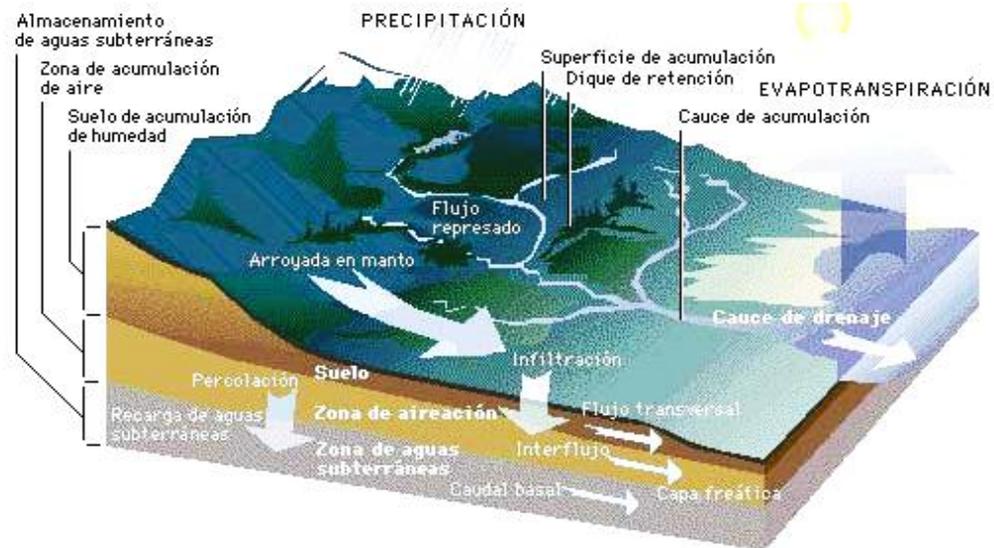


Figura 2.4. Ilustración de una cuenca.

2.1.7 CUENCA HIDROGRÁFICA.

Una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

2.1.8 CUENCA HIDROLÓGICA.

Es la zona de la superficie terrestre en la cual, todas las gotas de agua procedentes de una precipitación que caen sobre ella se van a dirigir hacia el mismo punto de salida (punto que generalmente es el de menor cota o altitud de la cuenca).

Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; además de abarcar toda la definición de cuenca hidrográfica abarca toda la estructura hidrogeológica del acuífero.

2.1.9 EL PARTE AGUAS.

Teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja.

2.1.10 RECARGA HÍDRICA.

La zona de recarga (o área de recarga) es la parte de la cuenca hidrográfica en la cual, por las condiciones climatológicas, geológicas y topográficas, una gran parte de las precipitaciones se infiltran en el suelo, llegando a recargar los acuíferos en las partes más bajas de la cuenca.

2.1.11 PRECIPITACIÓN.

Es un fenómeno de tipo discontinuo que constituye la materia prima del ciclo hidrológico. Su distribución tanto en el espacio como en el tiempo es sumamente variable. Se define como la deposición de gotas de agua y partículas de hielo que se forman en la atmósfera y regresan a la superficie de la tierra atraídas por la fuerza gravitacional.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua.

2.1.12 INFILTRACIÓN.

Se define como la cantidad de agua que penetra desde la superficie y que pasa a formar parte de la cantidad de recurso hídrico disponible en el manto acuífero,

al igual que los demás actores involucrados en el ciclo hidrológico; las unidades de medida es milímetro/metro.

2.1.13 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

La escorrentía superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de ingeniería, y consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre.

2.1.14 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (C).

Es la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitado, en un intervalo de tiempo determinado.

2.1.15 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).

Es el tiempo en que el agua de lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una zona toma en llegar a una sección determinada de dicha corriente. El tiempo de concentración mide el tiempo que se necesita para que toda la zona contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada. Se mide en minutos u horas.

2.1.16 PERIODO DE RETORNO (T).

En varias áreas de la ingeniería, el período de retorno es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos de baja probabilidad. Por ejemplo, en ingeniería hidráulica es el tiempo medio entre dos avenidas con caudales iguales o superiores a uno determinado.

2.1.17 EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo.



Figura 2.5. Ciclo del agua de la superficie de la Tierra, que muestra los componentes individuales de la transpiración y la evaporación que componen la evapotranspiración.

2.1.18 POZO

Un pozo es un agujero, excavación o túnel vertical que perfora la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, como la reserva de agua subterránea de una capa freática.

2.1.19 POZOS DE OBSERVACIÓN

Constituyen estaciones dedicadas exclusivamente al monitoreo, y se ubican y diseñan para detectar cambios potenciales del flujo y de la calidad del agua subterránea. Sus parámetros de diseño incluyen: la profundidad de la rejilla de entrada, la frecuencia de las mediciones (en caso de no ser continuas) y los parámetros de calidad seleccionados. Con objeto de contrarrestar la presencia generalizada de variaciones de profundidad en la carga hidráulica y/o la calidad del agua, se pueden utilizar piezómetros anidados o grupos de pozos contiguos.

2.1.20 CAUDAL ESPECIFICO DE POZO

Se llama caudal específico $\left(q_{especifico} = \frac{Q_{bom}}{s_p}\right)$ de un pozo al cociente entre el caudal de agua bombeado y el descenso del nivel producido. Siendo el descenso medido en el pozo.

2.1.21 ABATIMIENTO.

En condiciones de extracción de un pozo, es la distancia vertical entre la carga hidráulica inicial en un punto en el acuífero y la posición baja de la carga hidráulica para el mismo punto.

2.1.22 CAPACIDAD ESPECÍFICA

Es la relación que existe entre el caudal que se obtiene de un pozo y el abatimiento producido y se expresa en unidades de caudal por longitud, $[L^3/T/L]$. Este valor es constante para acuíferos confinados y variables para los acuíferos libres; es un término que representa el grado de eficiencia de un pozo ya que de dos pozos perforados en una misma formación acuífera, el de menor capacidad específica tendrá menos eficiencia.

2.1.23 NIVEL ESTÁTICO

Es el nivel de agua presente en la formación acuífera antes de comenzar el bombeo. Este nivel se ve afectado por efectos meteorológicos (precipitación, infiltración) estacionales o por cargas adicionales (edificaciones), o por la descarga producida por pozos cercanos.

2.1.24 NIVEL DINÁMICO

También llamada nivel de bombeo, porque es producido cuando comienza la descarga del acuífero por el pozo. Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero. También se debe tener en cuenta la técnica desarrollada en el diseño de pozo.

2.1.25 NIVEL PIEZOMÉTRICO

Se ha definido el concepto de nivel piezométrico como la altura de la superficie libre de agua sobre el nivel del mar, en los acuíferos libres. En los confinados, es la altura que alcanzaría el agua en el interior de un sondeo hasta equilibrarse con la presión atmosférica.

2.1.26 TRANSMISIBILIDAD (T)

La transmisibilidad o transmisividad hidráulica de un acuífero es la tasa de flujo bajo un determinado gradiente hidráulico a través de una unidad de anchura de acuífero de espesor dado, y saturado. Es el producto del espesor saturado de dicho acuífero y la conductividad hidráulica (K). Se mide en una unidad de superficie dividida en una unidad de tiempo.

En otras palabras, transmisividad (T), es el volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de

un metro. Es representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua.

2.1.27 RADIO DE INFLUENCIA

Se define como la máxima distancia en la cual las reducciones pueden ser detectadas con los instrumentos de medición usuales en el campo. Debido a las herramientas numéricas, el concepto de "Radio de Influencia" es de uso limitado en la actualidad.

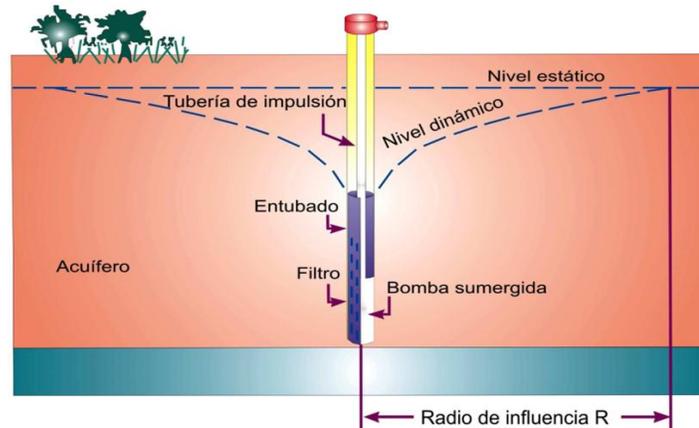


Figura 2.6. Radio de influencia.

2.1.28 BALANCE HIDRICO.

Un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 EL AGUA EN EL SALVADOR

2.2.1.1 HIDROLOGÍA DE EL SALVADOR

El Salvador posee 58 cuencas los cuales fungen el papel de recogimiento superficial del agua caída en forma de lluvia y como peculiaridad todas drenan al litoral del Océano Pacífico, entre las cuencas de mayor importancia se encuentra la del río Lempa, en cuyo cauce principal se han construido tres centrales hidroeléctricas: Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, Central Hidroeléctrica 15 de septiembre y Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, dichas estructuras han modificado notoriamente el cauce y el paisaje natural del río y consecuentemente el de la cuenca, así también, la Central Hidroeléctrica Guajoyo, drena las aguas del lago de Guija y las incorpora al cauce del río Lempa. Otra de las cuencas de importancia es la del Río Grande de San Miguel que es la cuenca hidrográfica más grande que está comprendida en su totalidad dentro del territorio salvadoreño. El Salvador comparte con Guatemala la cuenca del río Paz y la del río Lempa y con Honduras, las cuencas de los ríos Lempa y Goascorán.²

2.2.1.2 RECURSOS DEL AGUA EXISTENTE DE EL SALVADOR

El Salvador se basa profundamente en las fuentes de agua subterránea para su abastecimiento de agua, debido a que el agua superficial generalmente está severamente contaminada y por lo tanto se dificulta técnicamente como económicamente procesarla debidamente para el abastecimiento de agua y su

²http://www.zonu.com/mapas_el_salvador/Mapa_Hidrologico_El_Salvador.htm

posterior consumo. En áreas urbanas, aproximadamente el 88 por ciento de la población tiene acceso a servicios de abastecimiento de agua y el 82 por ciento a servicios de sanitización. En áreas rurales, aproximadamente 59 por ciento tiene acceso a servicios de abastecimiento y el 60 por ciento a servicios de sanitización.³

El uso de agua potable en áreas urbanas de El Salvador disminuyó entre 2007 y 2013 de 260 a 222 millones de metros cúbicos a pesar del crecimiento de la población. Basado en una población abastecida estimada a 4 millones de personas, el consumo era de 150 litros por persona por día en 2013. La producción de agua era mucho más alta que la facturación con una producción de 363 millones de metros cúbicos en 2013, lo que implica que casi 40% del agua era no contabilizada a causa de pérdidas en la red de distribución, errores de medición y consumo ilícito.⁴

2.2.1.3 CUENCAS DE EL SALVADOR

El país tiene cuatro cuencas rivereñas grandes y siete cuencas rivereñas pequeñas que drenan la Cordillera Costera del Pacífico. Las cuatro cuencas rivereñas son la cuenca del río Lempa, la cuenca del río Goascorán, la cuenca del río Grande de San Miguel y la cuenca del río Paz. Las siete cuencas más pequeñas son (1) el área costera entre el río Cara Sucia y el río Copinula; (2) el área costera entre el río Sensunapán y el río Banderas; (3) el área costera entre el río Pululuya y el río Comalapa; (4) la cuenca del río Jiboa; (5) el área costera entre el río Jalponga y el río El Guayabo; (6) el área costera entre el río el Potrero y el río El Molino; y (7) el área costera entre el río Grande de San

³Programa de Monitoreo Conjunto OMS/UNICEF para Agua Potable y Saneamiento 2015

⁴ ANDA: Memoria de Labores 2013, p.24, 30 y 35

Miguel y el río Sirama. Todos los ríos en El Salvador descargan eventualmente en el Océano Pacífico. Durante un año normal, el total de agua superficial que fluye desde El Salvador hasta el Océano Pacífico promedia 19 millones de metros cúbicos.⁵



Figura 2.7 Representación de Cuenca

2.2.1.4 RECURSOS DE AGUA SUPERFICIAL DE EL SALVADOR

El país cuenta con unos 360 ríos, cuyas áreas de recogimiento han sido agrupadas en 10 regiones hidrográficas. En la siguiente tabla se presenta la descripción.

Región Hidrográfica	Área en El Salvador (km ²)	Descripción
LEMPA	10.167,56	Es la cuenca más importante, cuya longitud es de 18.240 km ² , de los cuales 56% pertenecen a El Salvador, el resto a Guatemala (14%) y Honduras (30%).

⁵Evaluación de recursos de agua de El Salvador, cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos de América, 1998

PAZ	919,93	Es la cuenca hidrográfica binacional del río Paz, entre Guatemala y El Salvador. Su superficie total es de 2.647km ² , de los cuales el 35% corresponde a El Salvador.
CARA SUCIA	768,85	Comprende las cuencas pequeñas que drenan de las montañas de Tacuba y de los volcanes de Santa Ana hacia la costa del Océano Pacífico.
GOASCORAN	1.044,44	Cuenca del río Goascorán, que comprende las cuencas de los ríos Sirama y Goascorán. El área de drenaje es de 3.047 km ² , distribuidos de la siguiente manera: 43% en el Salvador y 57% en el territorio hondureño.
MANDINGA - COMALAPA	1.294,55	Comprende las pequeñas cuencas situadas entre la cordillera el Bálsamo y la costa del Océano Pacífico, en los departamentos de Sonsonate, San Salvador, La Libertad y La Paz.
JIBOA – ESTERO DE JALTEPEQUE	1.638,62	Constituida por la vertiente costera, desde el estero del río Guayabo, en el extremo oriental, hasta aguas divisorias de las cuencas de los ríos Comalapa y Tihuapa en el extremo occidental. La superficie incluye 224.7 km ² correspondientes al Lago de Ilopango y su cuenca.
BAHÍA DE JIQUILISCO	779,01	Se encuentra ubicada en la zona oriental de El Salvador, en el departamento de Usulután. Limita al norte con la región de la cuenca del río Lempa. Las principales poblaciones de la Región son: Usulután, Jiquilisco, El Triunfo, Ozatlán y Santiago de María
GRANDE DE SAN MIGUEL	2.389,27	Cuenca del río Grande de San Miguel, que se ubica en los departamentos de San Miguel, Morazán y Usulután
SIRAMA	1.294,55	Comprende las pequeñas subcuencas ubicadas entre las montañas del Jucuarán-Conchagua y la costa del Pacífico. Abarca los departamentos de San Miguel y La Unión.
GRANDE DE SONSONATE	778,85	El río Grande de Sonsonate se ubica en la zona occidental del país, únicamente en el departamento de Sonsonate. Esta área abarca las cuencas de los ríos Sensunapán, Banderas, San Pedro y Chimalapa

Tabla 2.1 Regiones hidrográficas de El Salvador (Elaborado por Raúl Artiga, con base en SNET (2005).

En cuanto a cuerpos superficiales, en territorio salvadoreño existen lagos, lagunas y embalses principales, como el lago de Ilopango con 70.4 km², la laguna de Güija con 44.1 km² (compartida con Guatemala), el lago Coatepeque, con 24.8 km², la laguna de Olomega, con 24.2 km² y la laguna El Jocotal con 15 km². Entre los embalses hidroeléctricos más importantes se cuentan el Cerrón Grande con 135 km², el embalse de la presa 5 de noviembre con 17 km², el embalse de la presa 15 de septiembre con 35 km² y el embalse de la presa Guajoyo con 32.5 km².⁶

2.2.1.5 CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE EL SALVADOR

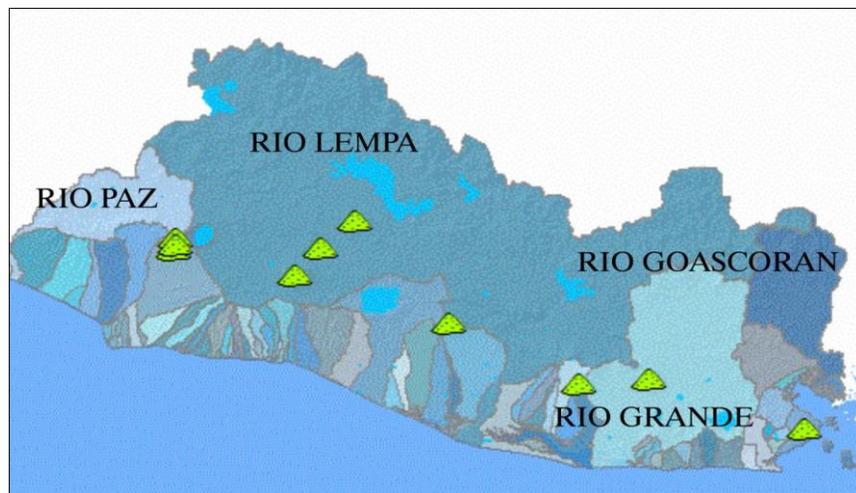


Figura 2.8 Mapa de recursos de agua superficial de El Salvador. (MARN)

Aunque el agua superficial es abundante, la contaminación biológica ocurre a lo largo de toda la nación, especialmente cerca de las áreas densamente pobladas. Excepto por algunas plantas de tratamiento primario, mayoritariamente cerca de las áreas urbanas, se estima que el 90 por ciento de

⁶Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada, asociación mundial para agua, Tegucigalpa Honduras 2011 pág. 104-105

los cuerpos superficiales de agua están contaminados. Casi toda el agua residual municipal (98 por ciento) y el 90 por ciento del agua residual industrial se descargan en los ríos y riachuelos sin ningún tratamiento. La principal fuente de contaminación del agua de superficie proviene de los desechos no tratados de desperdicios domésticos e industriales. Además, el país sufre escasez de agua durante la época seca y conflictos entre los usuarios. Se estima que los mayores esfuerzos de mitigación de la contaminación deberían realizarse en las cuencas del Río Acelhuate y del Río Sucio, una zona que produce un tercio del agua que abastece al Área Metropolitana de San Salvador. Durante los últimos 20 años, el rendimiento de una muestra de vertientes declinó en un 30 por ciento debido a la deforestación. Esto ha reducido la disponibilidad de agua para la población rural obligándola, en algunos casos, a depender de pozos más costosos que bombean agua de acuíferos cuya tabla de agua ha declinado tanto como un metro por año en algunas localidades.

2.2.1.6 RECURSOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SALVADOR

Una de las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, la constituyen las aguas subterráneas, las cuales se encuentran disponibles en la mayor parte del territorio nacional. La mayoría de los acuíferos en El Salvador están formados de los flujos de lava y piroclásticos de la era Terciaria Media a la Era Reciente, los cuales dominan el país. Los acuíferos importantes son la Formación de San Salvador y la Formación de Cuscatlán, volcánicas de mayor antigüedad que las Formaciones de San Salvador y que la Formación de Cuscatlán, y acuíferos aluviales no consolidados. En general, los mejores acuíferos volcánicos están en las capas volcánicas más jóvenes, tales como las capas más altas de la Formación de San Salvador, con los acuíferos de mayor producción y más accesibles estando localizados en los acuíferos aluviales no consolidados. En pozos de agua profundos y manantiales se confía el

abastecimiento de agua para El Salvador. Aunque la calidad de agua subterránea es generalmente buena, agua de pobre calidad es posible que se encuentre en las áreas costeras, cerca de áreas geotermales, en acuíferos de poca profundidad y cerca de áreas pobladas.

2.2.1.7 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SALVADOR

La contaminación de acuíferos de poca profundidad por patógenos debido a la disposición indebida de desperdicios animales y humanos es un problema común. Esto es en parte debido a las pocas mejoras que se dan en el diseño de sitios para disposición sanitaria. También pozos domésticos pequeños están a menudo ubicados muy cerca de letrinas. Programas amplios de alerta pública pueden mejorar esta situación. La contaminación de acuíferos de poca superficie afecta a áreas cercanas incluso a las villas más pequeñas o caseríos, el problema de la contaminación generalmente afecta las áreas que se encuentran en las partes bajas de las áreas pobladas

2.2.1.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Notable almacenamiento asociado, que hace que su cantidad y calidad estén menos afectadas por la variabilidad de la pluviometría, y sean reservas de gran valor estratégico en sequías y situaciones de emergencia.
- Regularidad de su composición química, radioquímica, biológica.
- Mayor protección temporal frente a procesos contaminantes accidentales.
- Frecuente disponibilidad en el lugar o cerca de donde se produce la demanda, con inversiones moderadas.

2.2.1.9 IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Estudios de la explotación del recurso natural agua son cada día más importantes, porque aunque el agua es un recurso natural renovable, la sobreexplotación y la contaminación del agua con sustancias nocivas son problemas graves en todo el mundo.

La responsabilidad de proteger las aguas subterráneas radica principalmente en las comunidades locales, pues las condiciones y los abastecimientos de aguas subterráneas varían de un área a otra. En realidad, poco menos de un 3% de la disponibilidad de agua dulce fluida existente en el planeta corresponde a ríos y lagos y el 97% restante se encuentra en él. No toda la cantidad de agua que se encuentra bajo la superficie de la tierra puede extraerse de las formaciones que la contienen.

Solo hay dos fuentes de agua a disposición del hombre: las de la superficie, que comprende los lagos, ríos, áreas de drenaje que envían el agua hacia los embalses y los procedimientos que permiten captar y retener el agua de lluvia y las aguas subterráneas, que incluyen a los pozos, manantiales y galerías horizontales. En realidad, las fuentes superficiales y subterráneas no siempre están separadas. Lo que en cierto lugar es agua de superficie, puede convertirse en agua subterránea en otro, pudiendo a su vez emerger de nuevo como agua superficial en un tercer sitio. Esto es posible por las interconexiones hidráulicas que existen entre las aguas superficiales y subterráneas.

Las fuentes de abastecimiento subterráneo son aguas que se filtran en el terreno proveniente de la precipitación. Generalmente las comunidades rurales son las que emplean el abastecimiento de agua proveniente de pozos, los cuales se definen como: una excavación vertical hecha en la superficie de la

tierra con el objeto de extraer agua subterránea. De acuerdo a las zonas geológicas donde se realizan y a su profundidad, los pozos se pueden clasificar en:

- **Pozos Excavados:** se hacen simplemente cavando un hoyo en el suelo y están comúnmente destinados a suelos suaves; son ampliamente usados en las zonas rurales. Por lo general no se requiere de equipo para su construcción.
- **Pozos Clavados o Hincados:** este tipo de pozo es realizado en suelos suaves y se hacen mediante la introducción de una rejilla con punta, llamada “puntera”. A medida que ésta se clava en el terreno se agregan tubos o secciones usando un mecanismo simple de golpear la parte superior de la tubería, generalmente son utilizados en la zona costera.
- **Pozos Perforados:** se considera como pozo perforado al pozo profundo, de alto rendimiento, construido mediante la utilización de equipo especial para perforación capaz de penetrar varios cientos de metros en el subsuelo. La excavación se hace mediante un sistema de percusión o de rotación. El material cortado se extrae del hueco mediante un achicador; estos pueden ser: pozo perforado a chorro (la excavación se hace con un chorro de agua a alta velocidad) y pozo perforado por percusión o rotación (se operan levantando y dejando caer con regularidad un peso en cuyo extremo inferior lleva un barreno).

2.2.1.10 PRINCIPALES USOS DEL AGUA EN EL SALVADOR

A medida que se ha ido adquiriendo mejor conocimiento sobre el comportamiento y almacenamiento del agua subterránea y las técnicas de evaluación y explotación de este recurso, ha ido en aumento la preferencia del uso de aguas subterráneas sobre las superficiales, especialmente en lo concerniente a abastecimientos de agua potable. El agua subterránea es una importante fuente de abastecimiento de agua en el mundo. Su uso en riego, industria, abastecimientos urbanos y rurales se incrementa constantemente. De ahí que su correcta evaluación cuantitativa y cualitativa, desarrollo, regularización de su explotación y protección, sea de gran importancia, a fin de asegurar la disponibilidad continua de este vital recurso.

La demanda del agua genera una importante presión por sus usos, la cual se agrava debido a la deforestación, la degradación del suelo y a la inadecuada gestión de residuos sólidos y líquidos, que a su vez inciden en la calidad y cantidad del recurso hídrico.

A continuación, se describen los principales usos del agua en El Salvador, los cuales representan un volumen de 1,843.7 mm³ anuales.⁷

Hidroelectricidad

Para su desarrollo, El Salvador se ha apoyado en el potencial hidroeléctrico. En general, todo el río Lempa, especialmente la parte alta de la cuenca, representa un recurso estratégico para generar energía eléctrica.

⁷ Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada, asociación mundial para agua, Tegucigalpa Honduras 2011 pág. 108

Riego para agricultura

El Salvador posee una superficie potencial de riego de 273.535 hectáreas, pero si se considera la disponibilidad actual de agua, esa superficie se reduce a 200.000 hectáreas. El 56% de la disponibilidad del recurso hídrico proviene de aguas superficiales y el 44%, restante, de aguas subterráneas. Desde finales de los años sesenta, se cuenta con distritos de riego. En el año 2003, se tenían registrados 531 permisos de riego, de los cuales 447 eran individuales, 38 correspondían a asociaciones de regantes y 30 a grandes empresas. (PNUD, 2006) La Dirección General de Riego y Drenaje (DGRD) del Ministerio de Agricultura (MAG), mantiene un registro de permisos de riego por el que cobra, pero se calcula que el 40% de los usuarios trabaja sin este permiso, lo que agudiza los conflictos por el uso del agua (Chavarría, 2009). Debido a que no existe información precisa disponible sobre el consumo de agua para riego, se utilizan los datos estimados por Nippon Koej (2007), los cuales son de 1.470mm³anuales.⁸

La DGRD cuenta con instrumentos normativos y económicos limitados para regular el uso del agua para riego. De acuerdo con las autoridades, hay una eficiencia del 30% de los sistemas de riego, de los cuales, 89% funcionan por gravedad, y 11%, emplean una combinación de gravedad y aspersión. Al no existir un mecanismo de control del funcionamiento de los sistemas de riego, no se conoce el volumen real utilizado. Esto da como resultado un uso ineficiente y la aparición de conflictos entre los usuarios del riego y los responsables del abastecimiento en asentamientos humanos ubicados cuenca abajo.

Uso industrial

⁸Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada, asociación mundial para agua, Tegucigalpa Honduras 2011 pág. 108

En el marco del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos, se ha promovido la producción más limpia en el sector industrial y agroindustrial. Este hecho ha dado lugar a iniciativas para reducir la cantidad de agua consumida y de agua vertida en los procesos industriales, mediante el asesoramiento de Centros de Producción Más Limpia.

Estimaciones de hace más de 10 años indicaban que únicamente entre el 2% y el 3% de las aguas residuales industriales recibían alguna clase de tratamiento (PRISMA, 2001). Sin embargo, actualmente no se cuenta con informes oficiales sobre el agua tratada, lo que reduce la capacidad del país para estimar la cantidad real de agua que es objeto de tratamiento.⁹

Uso humano

El volumen total utilizado para consumo humano es de 373,7 mm³.¹⁰

2.2.2 CUENCA HIDROGRÁFICA.

El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como una de las unidades de división funcionales con mucha más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua.

Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos).

⁹Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada, asociación mundial para agua, Tegucigalpa Honduras 2011 pág. 108

¹⁰Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada, asociación mundial para agua, Tegucigalpa Honduras 2011 pág. 108

2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Las principales características de una cuenca son:

- La curva de la cota superficie: esta característica es una indicación del potencial hidroeléctrico de la cuenca.
- El coeficiente de forma: da indicaciones preliminares de la onda de avenida que es capaz de generar.
- El coeficiente de ramificación: también da indicaciones preliminares respecto al tipo de onda de avenida.

En una cuenca se distinguen los siguientes elementos:

➤ **Divisoria de aguas**

La divisoria de aguas es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. Otro término utilizado para esta línea se denomina “parte aguas”.

La línea divisoria de vertientes, es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es la divisoria de aguas, utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas.

➤ **El río principal**

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud o mayor área de drenaje. Tanto el concepto de río principal como el de nacimiento del río son arbitrarios, como

también lo es la distinción entre río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura.

En el curso de un río se distinguen tres partes:

- **Curso superior**, ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce.
- **Curso medio**, en donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle.
- **Curso inferior**, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí, el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales

➤ **Afluentes**

Los afluentes son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca.

➤ **El relieve de la cuenca**

El relieve de una cuenca consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.

➤ **Las obras humanas**

Algunas obras construidas por el ser humano, también denominadas intervenciones antropogénicas, que se observan en la cuenca suelen ser viviendas, ciudades, campos de cultivo, obras para riego, energía y vías de comunicación. El factor humano es siempre el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota la cuenca quitándole recursos o «desnudándola» de vegetación y trayendo inundaciones en las partes bajas. Pero el mayor de los males es la construcción de viviendas, urbanizaciones y poblaciones enteras en zonas inundables, sobre todo, en las llanuras aluviales de las cuencas de muchos ríos.

2.2.2.2 PARTES DE UNA CUENCA

Una cuenca tiene tres partes:

- **Cuenca alta**, que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.
- **Cuenca media**, la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.
- **Cuenca baja**, la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

2.2.2.3 TIPOS DE CUENCAS

Existen tres tipos de cuencas:

- **Exorreicas**: drenan sus aguas al mar o al océano.

- **Endorreicas:** desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar.
- **Arreicas:** las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia.

2.2.3 ACUIFEROS

2.2.3.1 TIPOS DE ACUIFEROS

Los acuíferos se clasifican en cuanto a su estructura, su comportamiento hidráulico, su textura, su litología, y la movilidad de su agua. Atendiendo al comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas, así como a su posición estructural en el terreno, se distinguen tres tipos principales de acuíferos.

- ✚ Acuíferos libres
- ✚ Acuíferos confinados o cautivos
- ✚ Acuíferos semi-confinado

Un mismo acuífero puede ser libre, confinado y semiconfinado según sectores y el área de estudio

- ✚ **Acuíferos libres:** son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por saturación, es decir, el agua que ceden es el agua que tienen almacenada; este volumen de agua es alto en comparación con los acuíferos que se citan a continuación, y por ello tienen bastante inercia.

Los conos de bombeo suelen ser esbeltos, esto es, con elevados descensos de nivel en el pozo y corto radio de influencia.

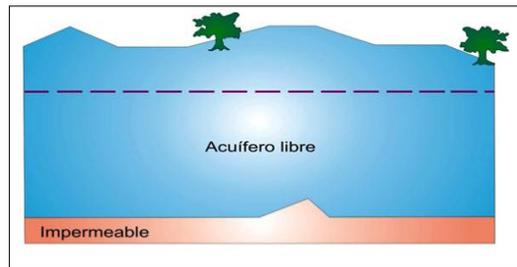


Figura 2.9 Esquema de acuífero libre.

- ✚ **Acuíferos confinados o cautivos:** son aquellos que están aislados en el subsuelo, rodeados de materiales impermeables por todos sus lados.

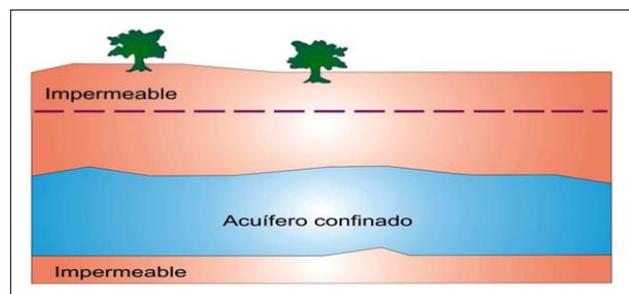


Figura 2.10 Esquema de un acuífero confinado.

- ✚ **Acuíferos semi-confinados:** los materiales que los rodean no son todos impermeables; así, el paquete superior o semi-confinante lo constituyen formaciones semipermeables, que permiten el paso del agua de otros acuíferos superiores al inferior semi-confinado.

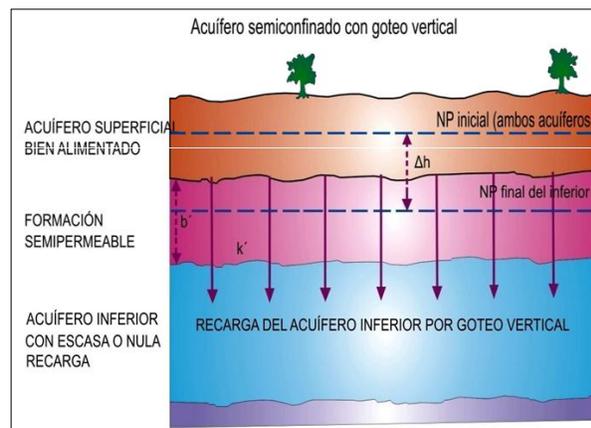


Figura 2.11 Esquema de un acuífero semi-confinado.

- ✚ **Acuíferos Colgados:** una lente menos permeable sustenta una **bolsa de agua**, que en muchos casos es especialmente limitado. Este acuífero no tiene un flujo horizontal de agua subterránea y se recarga solo por la infiltración en épocas lluviosas de zonas muy cercanas. Se vacía rápido debido a su uso.

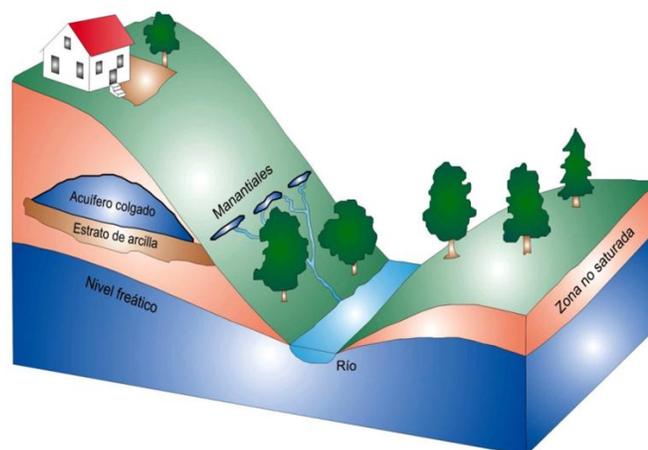


Figura 2.12 Acuífero colgado.

2.2.3.2 SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS.

El agua subterránea es todavía la principal fuente de abastecimiento de agua potable del país porque la calidad tiende a ser mejor que la de las aguas superficiales, lo cual representa menores costos de tratamiento. Sin embargo, la calidad del agua subterránea puede variar significativamente. La mejor calidad relativa favorece su extracción, lo que puede llevar a la sobreexplotación de los acuíferos, como ya ocurrió en el acuífero del sector este de San Salvador, que además sufre de una disminución de su recarga como resultado del crecimiento urbano. Otros acuíferos cercanos a núcleos urbanos también están siendo muy presionados, entre ellos los de Santa Ana, Opico-Quezaltepeque, San Salvador, Guluchapa, San Miguel y Zapotitán.

Algunos de los acuíferos más importantes del país ya se encuentran sobreexplotados; es decir, que la tasa de extracción es mucho mayor, que la tasa de recuperación por infiltración de los mismos.

Una situación preocupante es el avance de la urbanización sobre zonas de recarga acuífera. Las principales ciudades del país se ubican en unidades acuíferas de alta producción. La urbanización limita la infiltración, pero además puede proporcionar la contaminación de los mismos. La principal razón para el descenso del nivel freático es sin embargo la sobreexplotación. En algunas partes del mundo la extensión de la irrigación y de otras actividades que consumen agua se ha hecho a costa de acuíferos cuya recarga es lenta o casi nula. El resultado ha sido diverso pero siempre negativo.

Los pozos se pueden secar si el nivel freático cae por debajo de su profundidad inicial, lo que ocurre ocasionalmente en años de sequía, y por las mismas razones pueden secar los manantiales. El régimen de recarga puede alterarse

por otras causas, como la reforestación, que favorece la infiltración frente a la escorrentía, pero aún más favorece la evaporación, o por la extensión de pavimentos impermeables como ocurre en zonas urbanas e industriales.

El descenso del nivel freático medio se produce siempre que hay una extracción continuada de agua en el acuífero. Sin embargo este descenso no significa que el acuífero esté sobreexplotado. Normalmente lo que sucede es que el nivel freático busca una nueva cota de equilibrio en que se estabiliza. La sobreexplotación se produce cuando las extracciones totales de agua superan a la recarga.

2.2.3.3 MODELAMIENTO DE ACUIFEROS

El modelado de acuíferos es una técnica utilizada desde hace algunas décadas para el estudio del potencial de los acuíferos y para analizar el comportamiento de éstos a lo largo del tiempo, cuando son explotados por pozos, o se someten a procesos de recarga artificial.

Los modelos han ido evolucionando rápidamente, en paralelo con la evolución de la capacidad de los ordenadores modernos y con los rápidos avances en el campo de los procedimientos de cálculo numérico. A lo largo de los años se han utilizado sucesivamente los modelos físicos, los modelos analógicos y recientemente han ocupado un espacio cada vez mayor los denominados modelos matemáticos.

2.2.3.4 APLICACIÓN DEL SOFTWARE MODFLOW PARA MODELAR ACUIFEROS

MODFLOW es el software para modelamiento de agua subterránea desarrollado por la USGS. El software es capaz de representar condiciones relacionadas con el flujo de agua subterránea como la evapotranspiración, recarga, drenaje, interacción del río, entre otros. Su enfoque de diferencias infinitas provee la capacidad de calcular el régimen del flujo con excepcional control sobre la discrepancia del balance hídrico.

Con MODFLOW se puede contar con que el flujo que entra al modelo es el mismo que sale del modelo, desde la escala regional y en secciones transversales.

Ha sido un desarrollo continuo en los diferentes módulos y herramientas para el modelamiento del agua subterránea con MODFLOW. Nuevas capacidades como el refinamiento de la grilla local (MODFLOW LGR) y el modelamiento de la zona no saturada del flujo (MODFLOW UFZ). Como el software es modular, existen otras herramientas específicas desarrolladas en MODFLOW.

MODFLOW fue diseñado para calcular alturas piezométrico y regímenes de flujo de agua subterránea, y puede trabajar con modelo de transporte como MT3DMS. Una buena herramienta para el modelamiento del seguimiento de partículas es MODPATH, este software es capaz de calcular las líneas de flujo y tiempo relacionado a las partículas en el flujo del agua subterránea.

El último y más comprensivo software de pre-procesamiento es el MODEL MUSE, que implementa la mayoría de rasgos del MODFLOW y MT3DMS.

2.3 MARCO NORMATIVO

2.3.1 LEGISLACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL SALVADOR.

Desde el 2002, año en que se estableció la Política de Sostenibilidad del Recurso Hídrico, El Salvador no ha modificado su marco institucional y legal, relacionado con la gestión hídrica, el cual está conformado por una serie de leyes que incluyen la Constitución de la República, la Ley del Medio Ambiente y su reglamento, entre otras. Por lo tanto, este país aún no cuenta con una ley específica en materia hídrica.

Podría decirse que El Salvador es uno de los países en el continente que cuenta con legislación ambiental actualizada, pero que infortunadamente carece de los mecanismos necesarios para su aplicación y funcionamiento. Además, la dispersión del marco legal, así como las contradicciones en el funcionamiento de las actuales instituciones gubernamentales relacionadas con el manejo del agua, demuestran con claridad la necesidad de una política integradora, que refleje los principios de una gestión integral de los recursos hídricos, así como de un plan nacional para su implementación, tendientes a la integración de esfuerzos para una mayor gobernabilidad.

En El Salvador hay conflicto de roles, uso irracional e indiscriminado del agua. También se tienen conflictos de intereses entre múltiples actores; sectores del país que cuentan con acceso seguro al agua y otros donde es muy escasa, sumando a esto que el 90% de las aguas superficiales se encuentran seriamente contaminados.

Actualmente existen unas 27 instituciones públicas en el país, relacionadas con el sector de recursos hídricos, y también intervienen en alguna medida las 262 municipalidades, pero se carece de una institución reguladora o autoridad del agua que dé las concesiones de uso y aprovechamiento del recurso. Además se carece de otro factor importantísimo, como lo es un ordenamiento territorial que permita definir mejores formas de uso del agua.

De acuerdo con el Informe de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, CCAD, correspondiente a Identificación de Actores, Agendas y Procesos de la Gestión de Recursos Hídrico, fue aprobada por el gabinete presidencial, la Política Nacional Hídrica elaborada por el Ministerio del Ambiente (MARN), la cual es desconocida incluso al interior de la misma administración pública salvadoreña y realmente no corresponde a la dimensión de la problemática de la gestión del agua en el país. También debe mencionarse que se ha puesto en marcha las propuestas de modernización del Régimen Jurídico e Institucional de ANDA, MARN, MAG, que son las siguientes:

- Propuesta en proceso alrededor de la elaboración de una Ley General de Agua y Autoridad del Agua.
- Propuesta de elaboración de una Ley de Cuencas.
- Propuesta de una nueva legislación para el Subsector Agua Potable y Saneamiento.
Creación de entidad reguladora de la prestación de servicios de agua potable y aguas residuales.
- Propuesta de reforma de Ley de Riego y Drenaje.

Estas iniciativas cuentan con financiamiento BID/Unión Europea – FORGAES/ GWP diversos organismos coinciden en que para lograr una verdadera reforma

del sector hídrico, debe incorporarse elementos que favorezcan pero que al mismo tiempo regulen la inversión privada del agua, es decir, hay una insistencia cada vez mayor en introducir una visión economista de uso del agua. A continuación se muestra un esquema con los principales instrumentos legales con que cuenta el país en relación al manejo del agua, dentro de la competencia de sus instituciones:

2.3.2 ACERCA DE LA CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA:

En su Artículo 117, declara de interés social la protección, restauración, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales. La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales y del medio serán objeto de leyes especiales.

2.3.3 ACERCA DE LAS ORDENANZAS MUNICIPALES:

PROTECCION DE LOS RECURSOS HIDRICOS

Art. 21.- Se entenderá por recursos hídricos, los ríos, mantos acuíferos, aguas subterráneas y superficies.

Art. 42.- La Municipalidad en coordinación con los Ministerios de Agricultura y Ganadería, Medio Ambiente y la División del Medio Ambiente de la Policía Nacional Civil, velará por la protección y conservación de los recursos hídricos existentes dentro de su jurisdicción identificados como zonas de recarga acuíferas, asimismo, y el uso racional de los mismos.

Art. 23.- Se prohíbe el derramamiento de aguas servidas, sobre las vertientes de ríos, quebradas y manantiales, sin haber sido procesadas.

Art. 24.- Los titulares o propietarios de urbanizaciones que se desarrollen en el municipio, deberán construir su propia planta de tratamiento de aguas cloacales para poderlas reutilizar o verterlas a las vertientes naturales o lagunas artificiales.

2.3.4 ACERCA DE LEY DEL MEDIO AMBIENTE:

El Artículo 1 afirma que dicha Ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, que se refieren a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones. La autoridad competente para la aplicación de la Ley del Medio Ambiente, del Reglamento General y de los especiales, es el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Art. 48. Protección del Recurso Hídrico.

Se refiere a que el MARN promoverá el manejo integrado de cuencas, y que una ley especial regulará esa materia. Además, señala que el MARN creará un comité interinstitucional de planificación, gestión y uso sostenible de cuencas hidrográficas. Y promoverá la integración de autoridades locales de cuencas. (Rol de promotor, no de regulador). Estas autoridades, para ejercer efectivamente esa atribución, requieren contar con competencias establecidas en la Ley.

Art. 49: El Ministerio será el responsable de supervisar la disponibilidad y la calidad del agua. Un reglamento especial contendrá las normas técnicas para tal efecto, tomando en consideración los siguientes criterios básicos:

- a) Garantizar, con la participación de los usuarios, la disponibilidad, cantidad y calidad del agua para el consumo humano y otros usos, mediante los estudios y las directrices necesarias.
- b) Procurar que los habitantes, utilicen prácticas correctas en el uso y disposición del recurso hídrico.
- d) Garantizar que todos los vertidos de sustancias contaminantes, sean tratados por parte de quien los ocasionare.
- e) Vigilar que en toda actividad de reutilización de aguas residuales, se cuente con el permiso ambiental correspondiente, de acuerdo a lo establecido en esta Ley.

Art. 70: Establece que el Ministerio elaborará y propondrá al Presidente de la República, para su aprobación, los reglamentos necesarios para la gestión, uso y protección y manejo de las aguas y ecosistemas tomando en cuenta la legislación vigente y los criterios siguientes:

- a) Asegurar la cantidad y calidad de agua, mediante un sistema que regule sus diferentes usos.
- b) Se establecerá las medidas para la protección del recurso hídrico de los efectos de la contaminación.

CAPITULO III

“CARACTERIZACION

DEL AREA DE

ESTUDIO”

3. 1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO EL JUTE

Para ello se tomó como punto de partida la base de datos contenida en el Sistema de Información Geográfica (SIG) creada por Generalitat Valenciana, a través de la Cancillería de Infraestructuras y Transporte, en la cual se muestran las diferentes cuencas de El Salvador ya georeferenciadas con sus respectivos atributos, tales como:

- Nombre de la cuenca
- Límites (parte aguas)
- Área
- Perímetro

Luego de ubicar la cuenca objeto de este estudio mediante el programa gvSIG, se generó un mapa con los diferentes Cantones situados dentro de la cuenca, este mapa posteriormente se trabajó en el programa “QGIS” y con éste programa finalmente se procedió a exportar este dibujo a un archivo compatible con el programa “Google Earth” para poder así localizar los límites de la cuenca, así como también, la vista satelital de las redes viales tanto primarias como secundarias que permitieran acceder con mayor facilidad a las viviendas, centros recreativos, industrias, complejos deportivos, plantas de abastecimiento de agua potable y otros lugares con características de gran relevancia para el cumplimiento de los objetivos de la investigación, como pozos para la realización del inventario, además de las pruebas de infiltración efectuadas.

3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE

La zona alta de la cuenca está ubicada al suroeste de la ciudad de San Miguel, en ella se encuentran los cantones El Niño y Las Lomitas a una elevación de 520 msnm, la zona media está ubicada al suroeste de la Ciudad de San Miguel, comprende el cantón Monte Grande, disminuyendo considerablemente su elevación en comparación de la zona alta y la zona baja está ubicada al sureste de la ciudad de San Miguel, en una zona donde desemboca el río El Jute en el río Grande de San Miguel en el caserío El Manguito



Figura 3.1. Ubicación geográfica de la cuenca del río El Jute respecto al municipio de San Miguel.

3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE

3.3.1 CLIMATOLOGÍA

El área de la zona de estudio al igual que la ciudad de San Miguel se encuentra ubicada en la zona climática salvadoreña de sabana tropical caliente o tierra caliente, y se caracteriza por su clima cálido, propio de la altura a la que se encuentra y por el ecosistema alrededor de la ciudad. Se le considera una de las ciudades más calurosas del istmo centroamericano, alcanzando temperaturas máximas extremas en los meses de marzo, abril y mayo.

3.3.2 TEMPERATURA

Las temperaturas para el municipio de San Miguel como en todo el territorio nacional sufren grandes variaciones respecto a años anteriores, debido al calentamiento global, siendo esto un efecto de gran consideración para el análisis a desarrollar en esta investigación.

La temperatura media mensual en el área de la cuenca en los últimos 10 años oscila entre los 25.0 °C y 30 °C. Las temperaturas alcanzan un mínimo valor en los meses de diciembre y enero y un máximo valor en los meses de marzo y abril los cuales presentan temperaturas mayores a los 39 °C.

Se obtuvieron datos de temperatura de los últimos 10 años de la estación San Miguel-UES, ya que esta se encuentra dentro de la zona de estudio, los datos fueron proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Se puede observar que la temperatura mínima promedio se dio en el mes de octubre, con un valor 25.82°C, mientras que el mes más cálido fue el mes de abril, con un valor promedio de 29.02°C. La siguiente tabla muestra los resultados para el periodo de 2005-2015.

RANGO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)						
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES				ÍNDICE NACIONAL: M-24		
LATITUD: 13° 26' 20.1" N		LONGITUD: 88° 09' 32.7" W			ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.	
Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
2005	26	26.5	28.5	29.3	27.4	26.7
2006	26.3	27.2	28.5	29	28	26.3
2007	26.9	27.4	28.5	29.4	28.7	27.7
2008	26.4	27.2	28.5	28.6	27.5	26.9
2009	26.2	27	28.5	29.3	27.6	26.7
2010	26.1	27.8	28.5	29.5	28.3	26.9
2011	26.5	27.6	28.5	28.2	28.8	27
2012	26.2	27.9	28.5	27.9	27.2	26.8
2013	27.2	27.4	28.5	29.1	28.2	27
2014	26.2	27.4	28.5	29	28	27.3
2015	26.8	27.6	28.5	29.9	29.6	28.5
PROMEDIO	26.44	27.36	28.50	29.02	28.12	27.07

ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES				ÍNDICE NACIONAL: M-24		
LATITUD: 13° 26' 20.1" N		LONGITUD: 88° 09' 32.7" W		ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.		
Año	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2005	27.1	26.7	26.1	25	25.8	26.2
2006	27.3	27.2	26.6	26.6	25.8	26.6
2007	28.1	26.6	26.1	25.2	25.5	26.2
2008	26.1	26.3	26.3	25.3	25.7	25.5
2009	27.2	27.2	26.9	26.8	25.8	26.1
2010	26.3	26.3	26	26.3	25.4	27
2011	26.3	26.4	26.3	25.1	25.7	26.2
2012	28.2	26.7	26.5	25.7	26.4	25.8
2013	26.8	26.8	25.6	26.1	25.9	26
2014	28.9	27	25.7	25.7	25.9	25.6
2015	29.2	29.9	26.9	26.4	26.1	26.5
PROMEDIO	27.41	27.01	26.27	25.84	25.82	26.15

Tabla 3.1 Rangos de temperaturas mensuales para el departamento de San Miguel, proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

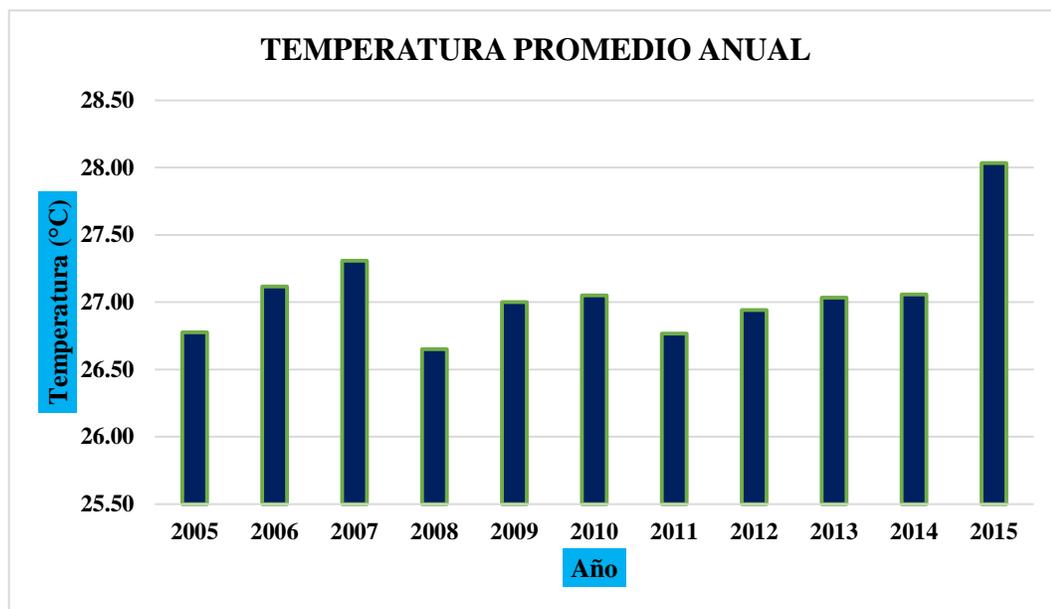


Gráfico 3.1 Tendencia de la temperatura promedio anual en el período comprendido desde el año 2005 al 2015

3.3.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación en El Salvador se describe como uno de los factores que intervienen en el clima; en el país no existe el invierno en un año normal solo existen dos estaciones las cuales son la seca y la lluviosa, la estación lluviosa comprende los meses de mayo a noviembre, se podría decir que queda dentro de la categoría de regiones de lluvias periódicas puesto que a principios del mes de mayo la temperatura tiende a aumentar por la posición de la tierra, por lo tanto el agua comienza a condensarse hacia las nubes y ocurre el fenómeno de la precipitación.

En cuanto a las precipitaciones, el mayor promedio mensual en milímetros ocurre durante los meses de junio y septiembre.

En El Salvador existen dos estaciones y dos transiciones durante el año:

- ✚ La estación seca: 14 de noviembre al 19 de abril
- ✚ La estación lluviosa: 21 de mayo al 16 de octubre
- ✚ La transición seca-lluviosa: 20 de abril al 20 de mayo
- ✚ La transición lluviosa-seca: 17 de octubre al 13 de noviembre

En el municipio de San Miguel la precipitación ayuda a disminuir los efectos de las altas temperaturas que son características del oriente del país.

En la Facultad de Oriente de la Universidad de El Salvador se encuentra ubicada una estación meteorológica del MARN la cual monitorea todas las actividades que son de interés para este estudio la cual registra los siguientes los resultados desde el año 2005 hasta el año 2015.

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (mm)							
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES				ÍNDICE NACIONAL: M-24			
LATITUD: 13° 26' 20.1" N		LONGITUD: 88° 09' 32.7" W		ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.			
Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
2005	0	0	32.6	30	382.1	152	160.7
2006	0.4	0	0.5	29	124.9	347.2	286.8
2007	0	0	0.9	3.8	107.6	49.1	117.6
2008	0.1	1	3	22.9	232.2	108.9	289
2009	0	0.1	0.4	0	325.9	231.4	179.4
2010	0	0	0.5	48.3	466.3	342.1	335.2
2011	0.4	1.5	7.4	32.4	62.9	303.4	351.5
2012	0	0	0.5	159.9	206.3	109.6	10.5
2013	0	0.6	0	6.7	131.3	297	224.9
2014	0	2.6	23.8	1.2	143.4	249.6	29.7
2015	0	0	0.6	20	57.2	158.8	29.1

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (mm)					
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES			ÍNDICE NACIONAL: M-24		
LATITUD: 13° 26' 20.1" N		LONGITUD: 88° 09' 32.7" W		ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.	
Año	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2005	359.9	351	321.7	43.1	0.3
2006	294	284.5	212	81.5	1
2007	315.6	394.4	355.6	55.1	0
2008	370.1	176.1	409.7	0.5	0
2009	221.2	251.4	95.2	159.8	106.7
2010	313.8	341.9	69.9	16.8	0
2011	360.8	218	488.1	60.1	0
2012	366.2	337	297.3	13.9	11.8
2013	182.6	292	282	87	3
2014	279.8	552.9	288.8	32.3	0
2015	13.4	354.4	399	179.9	0.4

Tabla 3.2 Datos del registro de la precipitación promedio mensual en el periodo de 2005-2015, proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

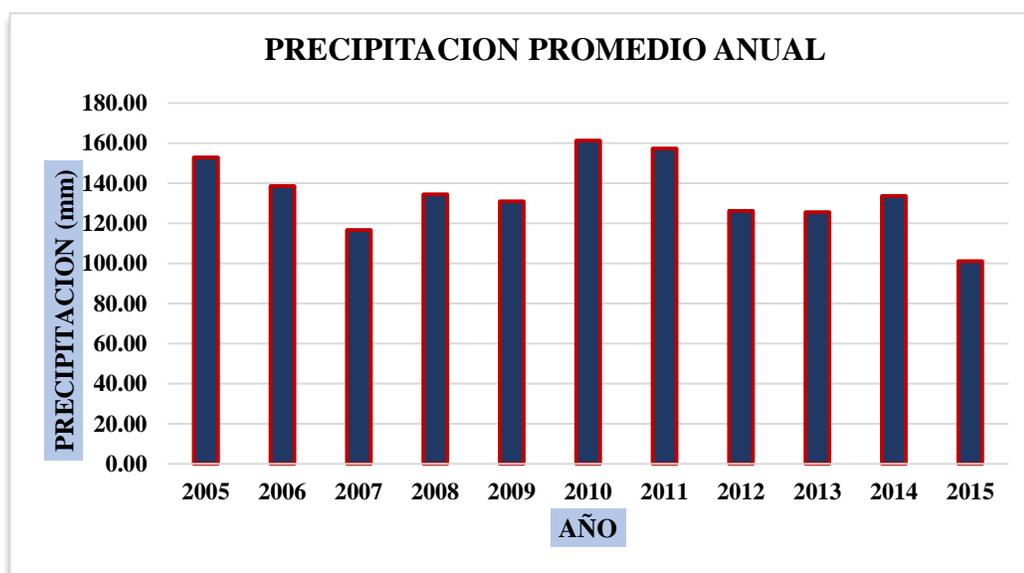


Gráfico 3.2 Tendencia de la precipitación promedio anual desde el año 2005 hasta el año 2015

3.3.4 HUMEDAD RELATIVA

Relación entre la cantidad de vapor de agua que puede tener una masa de aire y la máxima que podría tener. La humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera, el vapor procede de la evaporación de los mares y de los océanos.

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MENSUAL (%)							
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES				ÍNDICE NACIONAL: M-24			
LATITUD: 13° 26' 20.1" N		LONGITUD: 88° 09' 32.7" W			ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.		
Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
2005	58	57	70	65	80	86	81
2006	82	57	55	64	77	85	80
2007	63	62	60	66	73	75	73
2008	60	62	60	65	76	77	80
2009	61	55	54	60	75	82	80
2010	61	59	59	65	75	84	86
2011	62	58	57	69	69	81	84
2012	62	58	53	68	82	83	67
2013	58	59	53	67	73	81	80
2014	59	60	66	60	74	80	66
2015	55	57	56	59	65	71	63

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MENSUAL (%)					
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES			ÍNDICE NACIONAL: M-24		
LATITUD: 13° 26' 20.1" N		LONGITUD: 88° 09' 32.7" W		ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.	
AÑO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2005	83	85	89	74	70
2006	82	82	84	75	70
2007	83	86	87	69	67
2008	81	82	83	67	66
2009	79	83	79	77	73
2010	87	89	78	74	62
2011	85	87	86	79	67
2012	80	82	85	64	66
2013	79	90	86	81	70
2014	77	87	86	77	66
2015	61	83	88	85	76

Tabla 3.3 Humedad Relativa correspondiente a los años comprendidos entre el período 2005-2015

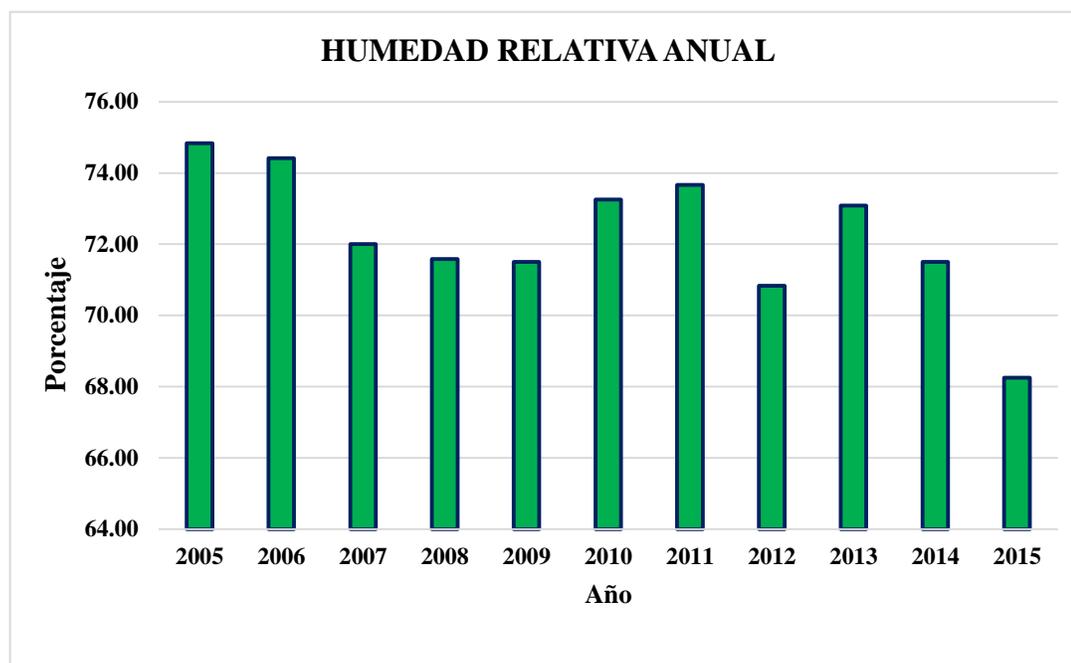


Gráfico 3.3. Tendencia de la humedad relativa anual desde el año 2005 hasta el año 2015

3.4 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.4.1 GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE

La ubicación de la cuenca del río El Jute se encuentra en la parte media de la cuenca del río Grande de San Miguel, la cual viene definida por una morfología de relieves llanos de la planicie comprendida entre el volcán San Miguel (2,130 m.s.n.m.) y los cerros El Havillal ubicado al NE de la cuenca y la loma La Montañita y parte de la loma Los Arbaiza ubicadas al SE de la cuenca del río El Jute. La zona tiene un relieve semiplano con una altura promedio de 110 msnm.

3.4.2 GEOLOGÍA PRESENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona de influencia del río Grande de San Miguel y el vulcanismo del Chaparrastique, donde se distinguen dos unidades litoestratigráficas correspondientes a diferentes miembros de la formación San Salvador (volcánicos básicos-intermedios y sedimentarios).

El miembro S2 de la formación San Salvador que se encuentra en los cantones El Niño y Santa Lucía es característico de efusivas básicas-intermedias, piroclásticas subordinadas.

El miembro S3'a de la formación San Salvador que se encuentra en los cantones Las Lomitas, El Niño y Alto del Llano es característico de piroclásticas ácidas y epiclastitos volcánicos.

El miembro Q'f de la formación San Salvador (época de El Holoceno del Período Cuaternario) que la podemos encontrar en los cantones Monte grande, El Tapezco, El Jute, y parte del cantón El Progreso.

El miembro C2, de la época geológica de El Pleistoceno, hace referencia a la formación Cuscatlán, que se encuentra en parte del cantón El Progreso, presenta efusivas ácidas e intermedias con ocurrencias aisladas.

El miembro C3 pleistoceno de la formación Cuscatlán que se encuentra en cantón El Havillal está constituido por efusivas acidas e intermedias.

El miembro S5'b de la formación San Salvador del Holoceno Cuaternario presente en parte del cantón El Havillal se caracteriza por ser conos de acumulación de escorias, toba de lapilli y cinder.

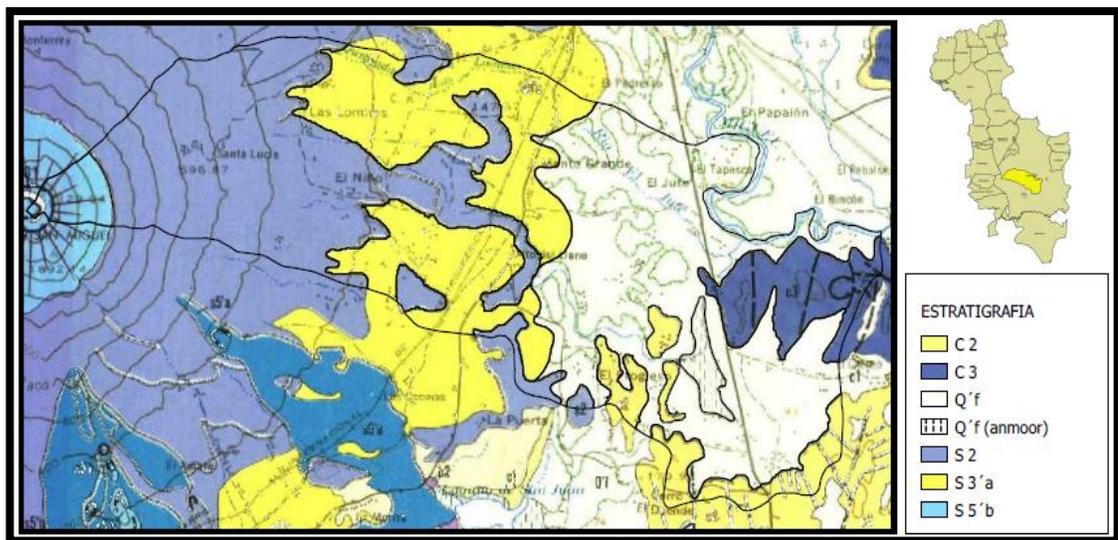


Figura 3.2. Formaciones geológicas presentes en el área de estudio

3.4.3 ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Las principales unidades geológicas que se encuentran en el área de estudio son las formaciones San Salvador y la formación Cuscatlán las cuales se caracterizan por la presencia de los diferentes materiales de orígenes volcánicos y sedimentarios.

3.4.3.1 FORMACION SAN SALVADOR

La formación San Salvador presente en la zona de la cuenca del río El Jute presenta los miembros siguientes:

1) s3'a:

Está constituido principalmente por piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas (Tobas color café) con ciertas intercalaciones de capas de escoria negra y capas de suelos desarrollados en diferentes horizontes.

2) s5'b:

Se describe como una acumulación de escorias, tobas de lapilli y cenizas.

3) Q'f:

Depósitos sedimentarios del cuaternario

4) s2

Efusivas básicas-intermedias, piroclastitas subordinadas

3.4.3.2 FORMACION CUSCATLAN

La formación Cuscatlán presente en la zona de la cuenca del río El Jute presenta los miembros siguientes:

1) c2:

Este miembro se caracteriza por tener Efusivas ácidas e intermedias-ácidas (ocurrencias aisladas en parte eventualmente = ch2)

2) c3:

Este miembro se caracteriza por tener Efusivas básicas-intermedias.

EDAD		FORMACION	MIEMBRO	LITOLOGIA
CENOZOICO	CUARTENARIO	SAN SALVADOR	s5'b	Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, cinder)
			s3'a	Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (“tobas color café”)
			Q'f	Depósitos sedimentarios del cuaternario
	PLEISTOCENO	CUSCATLAN	s2	Efusivas básicas-intermedias, piroclastitas subordinadas
			c2	Efusivas acidas e intermedias-acidas (ocurrencias aisladas en parte eventualmente = ch2)
			c3	Efusivas básicas-intermedias

Tabla 3.4 Estratigrafía de la zona de estudio.

3.5 TIPO DE SUELO

Los tipos de suelo que presenta el área de la cuenca del río el jute son los siguientes que se presentan a continuación.

a) Litosoles.

Son suelos de muy poca profundidad sobre roca pura y sus horizontes generalmente han sido truncados a causa de la severa erosión laminar, la cual ejerce un arrastre por el escurrimiento sin producir cárcavas. En algunos casos son suelos arcillosos como los Latosoles pero muy superficiales. Las texturas varían de gruesa, arenas y gravas hasta muy pedregosos sobre la roca dura. Este tipo de suelo se observa en El Volcán, parte del Cantón Las Lomitas y una pequeña parte del Cantón San Carlos

b) Andisoles.

Los suelos Andisoles son derivados de la geología volcánica reciente (formación San Salvador S4, S3, S2) y poseen por lo general un horizonte superficial entre 20 y 40 centímetros de espesor, de color oscuro, rico en materia orgánica, textura franca y estructura granular. Son muy susceptibles a los efectos del clima, exposición a la erosión y usos inadecuados del suelo; lo cual ejerce una acción que va modificando sus propiedades y estructura. El horizonte inferior lo integran capas de ceniza volcánica de color claro, de textura franco arenosa fina y sin estructura. Los suelos de mediano desarrollo tienen también un horizonte superficial oscuro, rico en materia orgánica, de textura franco limosa y de 40 o más centímetros de espesor. El estrato inferior es de color rojizo amarillento, de textura franco arcillosa hasta profundidades de uno a dos metros.

En general son suelos muy permeables y debido a ello los niveles freáticos se encuentran muy profundos en las regiones altas. Cuando estos suelos “maduran” mucho a través del tiempo y se pierden, las estructuras y propiedades de ceniza volcánica van adquiriendo condiciones propias de otros suelos más desarrollados como son los Latosoles. Este tipo de suelo se encuentra en parte del Cantón Monte Grande, parte del Cantón El Amate, la gran mayoría del Cantón Las Lomitas y en todo el Cantón El Niño y una pequeña parte de la ciudad de San Miguel.

c) Latosoles arcillo rojizos

Estos suelos se caracterizan por su textura arcillosa, frecuentemente de color café-rojizo aunque algunas veces amarillento o de color café oscuro en lomas y montañas. La coloración se debe principalmente a la presencia de minerales de hierro de distintos tipos y grados de oxidación. Son suelos bien desarrollados con estructura en forma de bloques. La textura superficial es franco arcilloso y el subsuelo arcilloso. La profundidad promedio es de un metro, aunque en algunos sitios de severa erosión puede aflorar la roca aunque en algunos sitios se observa afloración de roca debido a los procesos de erosión.

Cuando están protegidos tienen horizontes superficiales oscuros de alto contenido de materia orgánica.

En general, la topografía de estas áreas varía de alomada hasta montañosa de pendientes fuertes y quebradas profundas. Los estratos inferiores son muy variables; lavas, lodos volcánicos, tobas y aun materiales volcánicos finos (cenizas, escoria volcánica y el “lapilli”, un poco más grueso que la arena). El nivel de agua subterránea suele ser profundo. Su permeabilidad es muy buena siempre y cuando tenga una cubierta vegetal adecuada. De lo contrario la escorrentía es rápida y por lo tanto la erosión es fuerte, formándose surcos

profundos que reciben el nombre de cárcavas. Las áreas en donde la roca original es lava o lodos volcánicos son muy pedregosas.

Estos se encuentran ubicados en el Cantón La Puerta, El Progreso, Cantón el Havillal, parte del Cantón Monte Grande, El Jute y El Papalón.

d) Aluviales

Son suelos de materiales transportados o depositados en las planicies costeras y valles interiores. Son aluviones estratificados de textura variable. Son suelos recientes o de reciente deposición y carecen de modificaciones de los agentes externos (agua, clima, etc.). Se ubican en áreas ligeramente inclinadas o casi a nivel en las planicies costeras y valles interiores en donde el manto freático está cerca de la superficie y el drenaje por lo general es pobre. Son suelos de alta productividad permitiendo agricultura intensiva y mecanizada, aptos para toda clase de cultivos. Es factible el uso de riego. Este tipo de suelo e encuentra en el Cantón El Papalón.



Figura 3.3. Mapa pedológico de la cuenca del río El Jute

3.6 USO DE SUELO

Los usos del suelo en la cuenca del río El Jute se presentan en la figura 3.4. El mismo se ha elaborado en base a los usos de suelo definidos en VIGEA (visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental) elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

En la zona alta de la cuenca se podría destacar el gran uso que se le da al suelo para el cultivo de granos básicos y pastos para ganaderías, así como también áreas que presentan poca vegetación.

En la zona media de la cuenca se puede observar un gran uso de los suelos destinados al cultivo de la caña de azúcar, así como también la presencia de otros granos básicos, cultivos de pastos específicos para la crianza de ganado y presencia de comunidades rurales de los diferentes cantones ubicados en la zona.

Y en la parte baja de la cuenca se encuentra el uso para cultivo de granos básicos, grandes extensiones de área exclusivamente para el cultivo de pastos de ganado, esto debido a la presencia de haciendas en esta zona y también se encuentra presencia de asentamientos urbanos



.Figura 3.4. Mapa de uso de suelo en el área de la cuenca del río El Jute

3.7 FISIOGRAFÍA

La cuenca del río El Jute presenta una fisiografía muy variable y claramente diferenciada en cinco zonas características de pendientes que determinan su drenaje, velocidades de flujo y arrastre sedimentario.

La primera zona de presenta una pendiente mayor de 70%.

La segunda zona se encuentra entre el rango del 50% y 70%

La tercera tiene una pendiente entre el rango del 30% a 50%

La cuarta entre el rango del 15% al 30%

Y por último la quinta zona presenta una pendiente menor al 15% que cubre un área de 53.282554 km² del área total de la zona.

A continuación se presenta el mapa de rangos de pendientes de la cuenca del río El Jute, el cual se obtuvo de VIGEA.

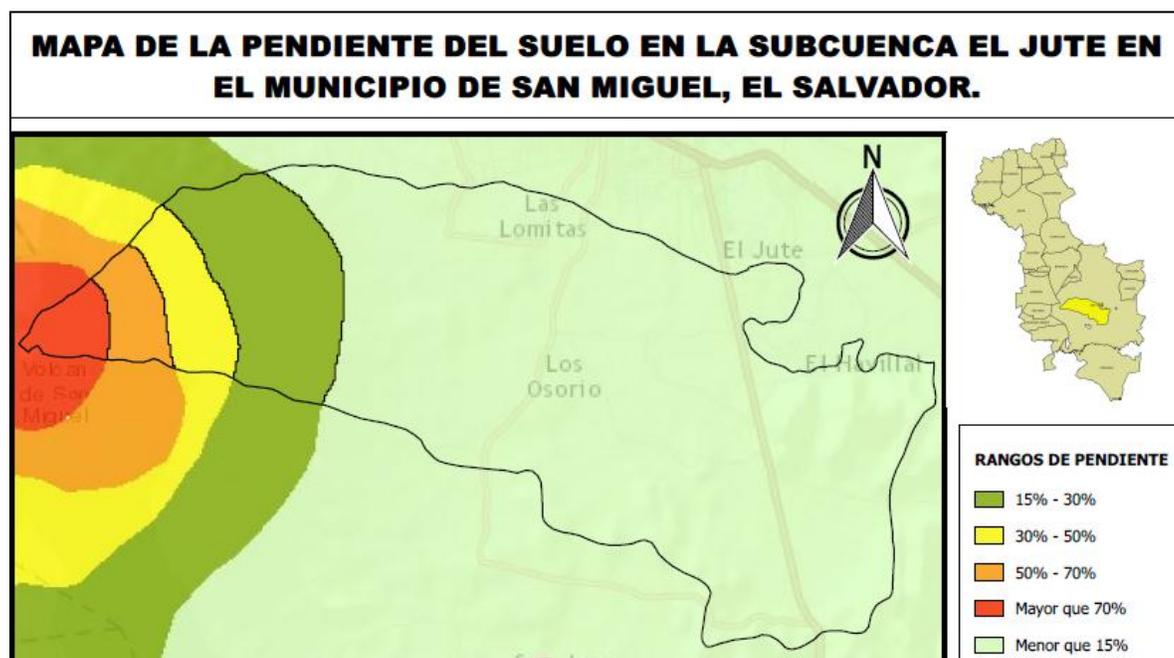


Figura 3.5. Mapa de pendientes de la cuenca del río El Jute

3.8 HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.8.1 GENERALIDADES.

La zona oriental del país en término hidrogeológicos se caracteriza por tener grandes cantidades de acuíferos subterráneos, los cuales son utilizados como la principal fuente del abastecimiento doméstico, industrial y agrícola en toda la zona oriental de El Salvador y específicamente en el municipio de San Miguel donde está ubicada el área de interés para esta investigación.

El almacenamiento de las agua subterránea depende factores que propician las condiciones necesarias para que se dé el ciclo hidrológico en cualquier parte

del mundo entre los principales están: litológicos y climatológicos, suelo, estratigrafía y el sistema de drenajes superficiales y subterráneo propios de la zona.

3.8.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En la zona de la cuenca del río El Jute existe la presencia de materiales sedimentarios y volcánicos, esto debido a la intensa actividad volcánica que ha presentado a lo largo de la historia el volcán Chaparrastique, con los diversos eventos de erupciones que este coloso ha experimentado, la zona presenta grandes acumulaciones de materiales permeables que ha favorecido a la formación de acuíferos libres importantes como lo son los acuíferos de San Esteban, San Miguel y El Jute, con transmisibilidad alta y coeficientes de almacenamiento considerables y siendo estos las principales fuentes de abastecimiento del municipio de San Miguel.

Basados en los mapas Geológicos e Hidrogeológicos de El Salvador; los cuales han sido elaborados por el MARN y la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), ha sido posible identificar y definir los patrones de drenaje local, la dinámica subterránea y las características litográficas, formaciones geológicas y tipo de suelo que permiten la formación de estos acuíferos.



Figura. 3.6: Delimitación hidrogeológica del área de estudio.

3.8.3 DRENAJE SUPERFICIAL DE LA CUENCA EL JUTE.

El proceso de drenaje superficial inicia con el agua de la precipitación que cae sobre la superficie del suelo de las partes altas y se desplaza con rumbo Sur-Este y Este de la cuenca, parte de esta agua es retenida por la cobertura vegetal y otra parte se infiltra en el suelo almacenándose en las formaciones inferiores, el volumen excedente escurre con dirección hacia el Río Grande de San Miguel.

Cuando la capacidad de infiltración del suelo de la cuenca es superada, buena parte del agua precipita se escurre en la superficie, formando escorrentías que desembocan en quebradas, ríos y luego a las zonas de arroyos, este drenaje de tipo dendrítico, escurre hacia el Este

3.8.4 DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE.

La cuenca correspondiente al acuífero El Jute es la segunda más grande del municipio de San Miguel, siendo este acuífero una de las principales fuentes que abastecen a las comunidades del Sur-Este de dicho municipio.

La zona de recarga que favorece a la infiltración del agua producto de las precipitaciones se encuentra en la parte alta de la cuenca El Jute, en las proximidades de “las faldas” del volcán Chaparrastique. Siendo más específicos, en esta zona de infiltración, están ubicados los siguientes cantones: Parte del Cantón El Amate, parte del Cantón el Volcán, Cantón Las Lomitas, parte del Cantón El Jute, parte del Cantón Monte Grande, parte del Cantón El Niño, parte del Cantón El Progreso y parte del Cantón La Puerta.

Al Sur-Este de la cuenca El Jute se encuentran grandes extensiones de cuerpos de agua subterráneas que están comprendidas en un gran porcentaje del área territorial de los cantones: El Jute, Monte Grande, El Progreso, La Puerta, El Havillal y El Papalón.

Los cuerpos de aguas superficiales que están dentro de la cuenca El Jute son: el río El Jute y los manantiales del cantón Monte Grande, el primero de estos es utilizado como fuente de abastecimiento para la Agricultura y Ganadería de la zona, y los manantiales del cantón Monte Grande unos años atrás fueron utilizados para el beneficio de los agricultores de la zona, pero hoy en día es utilizado por la población para uso de lavandería.

El área de estudio también comprende estructuras geológicas en las cuales no es posible el almacenamiento de agua y estas según la ubicación dentro del mapa de hidrogeología de ANDA están situados entre los cantones El Progreso, El Havillal y una parte de cantón El Papalón.

CAPITULO IV

“METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION”

4.1 ESQUEMA METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

Para cumplir las metas propuestas en esta investigación, se tomará como ruta metodológica la mostrada en el siguiente esquema, siendo esta la que mejor se adapta para el desarrollo de las diferentes actividades que componen esta evaluación hídrica en la cuenca del río “El Jute”.



4.2 DELIMITACION DEL ÁREA DE ESTUDIO MEDIANTE SOFTWARE

Previamente antes de utilizar el software se hizo la inspección de campo en el área de estudio para tener la referencia de los límites territoriales de la cuenca.

Para la delimitación geográfica del área de estudio se requiere la implementación de software especializados en este rubro, debido a la complejidad de uso y costos elevados de adquisición se optó por los programas QGIS y ARGIS para delimitación de la cuenca del río el Jute, los programas antes mencionados trabajan con capas “shape” de información, imágenes raster (imágenes georeferenciadas), que permitirán conocer los límites de la cuenca, atributos tales como: área, perímetro, extensión de la cuenca de interés, elevaciones, entre otros.

4.2.1 IMPLEMETACION DE QGIS

Para la delimitación de la cuenca del río El Jute se utilizó el software QGIS es un Sistema de Información Geográfica de código abierto. El proyecto nació en mayo de 2002 y se estableció como un proyecto en SourceForge en junio del mismo año.

Es uno de los principales software utilizados a nivel mundial para la creación de mapas y delimitación de superficies. La utilización de este software es esencial en la delimitación de cuencas hidrográficas a través de shape que pueden ser exportados a Google Earth para una mejor visualización de la delimitación de los parte aguas de la cuenca y de cada uno de los elementos geológicos e hidrológicos (montañas, laderas, quebradas, ríos) que pueden estar presentes en la zona de interés.

4.2.2 IMPLEMETACION DE ARCGIS

ArcGIS es un completo sistema informático en el rubro de Geográfico o SIG, que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica.

La implementación del ArcGIS es fundamental en la en la elaboración de mapas de áreas de gran extensión, realización de balance hídrica, zonificación, modelamiento y análisis de superficies raster todo ello con el objetivo de un modelaje más reales de todos la condiciones que afectan una determinada superficie terrestre o hidrográfica.

4.3 REVISIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Esta actividad conlleva la recopilación, selección y análisis de la información existente, la cual puede dividirse en diferentes categorías indispensables: geología, topografía, meteorología, hidrogeología, hidrología, hidráulica de pozos, etc. Para obtener información preliminar de la zona de interés.

4.3.1 GEOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA.

La información geológica consistió, básicamente, en la recopilación de mapas geológicos de la zona de estudio proporcionada por el MARN en su sitio web y disponible para su descarga, a escala 1.100,000, y complementada con la información topográfica mediante la utilización de los cuadrantes cartográficos recientes a escala 1:50,000, proporcionados por Centro Nacional de Registros CNR.

4.3.2 METEOROLOGÍA.

Se recopilaron datos climatológicos de la estación meteorológica UES-FMO M-24 proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) ubicada dentro de la zona de estudio. Los datos comprendieron las principales variables climatológicas como: precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y evapotranspiración potencial, etc. Con este tipo de información se pretende determinar los principales componentes para la determinación del balance hídrico específico y la obtención de la recarga hídrica potencial.

4.3.3 HIDROGEOLOGÍA.

La información hidrogeológica consistió en recopilación de mapas hidrogeológicos de la zona de estudio elaborados por ANDA en colaboración con Schweizersche Eidgenossenschaft (Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación COSUDE) y el inventario de fuentes de agua (manantiales y pozos) existentes en la zona de estudio; además de la recopilación de informes técnicos de pozos, en los que se puede detallar información como: tipo de pozo, profundidad, nivel del agua (estático). También, puede incluirse información de los principales parámetros hidráulicos de los acuíferos identificados: transmisividad y coeficiente de almacenamiento proporcionados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) en su sede Oriental.

4.4 INVESTIGACIÓN DE CAMPO.

El trabajo de campo comprendió las actividades que se realizaron in-situ y los análisis necesarios para caracterizar y conocer el comportamiento hidrogeológico de las zonas de estudio.

4.4.1 INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Este aspecto consistió en la realización del inventario tanto de pozos excavados como perforados, contando con el apoyo de la sede oriental de ANDA, quienes tienen inventariados algunos pozos que se localizaban en la zona de interés. La información que se obtuvo consistió, para el caso de los pozos, su localización (georeferenciación), elevación (msnm), profundidad, posición del nivel del agua (estático) en msnm, caudal de explotación (l/s), parámetros hidráulicos (transmisividad T, y coeficiente de almacenamiento S).

El inventario de fuentes naturales de agua y pozos se realizó de la siguiente manera:

En el caso de los manantiales presentes en el área de estudio se obtuvieron los datos de caudal de producción de la página web del Observatorio del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), donde también se encontraron los datos de algunos pozos registrados en el MARN con la limitante que la cantidad de pozos registrada en la zona de estudio es muy baja, esto llevo a la elaboración de un inventario de pozos más detallado entre los cuales se encuentran pozos destinados al uso de haciendas, industria, parques acuáticos, urbanizaciones, centros escolares, entre otros. También, puede incluirse información de los principales parámetros hidráulicos.

4.4.2 MEDICIÓN DEL NIVEL DEL AGUA.

La medición del nivel del agua determinó la información básica que permitiera cuantificar los espesores de agua que presentaba el acuífero en los diferentes pozos inventariados, algunos de estos niveles se determinaron con medición

directa y otros a los cuales no se tuvo acceso fueron proporcionados por las instituciones privadas, propietarios y operadores de los mismos.

4.4.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS.

La determinación de los parámetros hidráulicos de los acuíferos identificados en la zona de estudio, determinó información importante sobre el tipo de acuífero y su comportamiento, ya sea libre, semiconfinado o confinado (coeficiente de almacenamiento), además de la determinación de la capacidad que tiene el acuífero para transmitir el agua (transmisividad), y la posible identificación de barreras positivas (zonas de aporte de agua: ríos, lagos, etc.) o negativas (basamento o zonas impermeables).

4.4.4 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN.

La realización de las pruebas de infiltración se basó en la Guía Técnica Sanitaria Para La Instalación Y Funcionamiento De Sistemas De Tratamiento Individuales De Aguas Negras Y Grises, se seleccionó este tipo de metodología debido a su facilidad de aplicación dentro del área de estudio, el número de pruebas a realizar y la ubicación de estas se delimitó según el tipo de suelo que presenta la cuenca, la accesibilidad y seguridad social que existe dentro del área de estudio así como también los puntos donde se ubican los asentamientos rurales para poder obtener la facilidad y permisos para realizar dichas pruebas, el número de pruebas a realizar dentro de la cuenca el jute se adjudicó según el número de miembros geológicos que presenta la cuenca y que permitió obtener una clasificación de la textura de los suelos que presenta el área de estudio.

La infiltración es el proceso durante el cual el agua de la superficie del suelo penetra hacia el subsuelo. La velocidad de la infiltración depende del tipo de textura y del contenido de humedad del suelo. Por ejemplo, si el suelo se encuentra en condiciones secas antes de una precipitación, la velocidad de la infiltración será mucho mayor que la obtenida en condiciones saturadas. A medida que el suelo se satura más, la velocidad de infiltración disminuye hasta alcanzar un punto de equilibrio, cuyo valor se denomina Capacidad de Infiltración Saturada o Infiltración Básica, la cual es similar a la conductividad hidráulica (K).

Las pruebas de infiltración, corresponden a los diferentes tipos de suelos identificados (según material geológico), el cual fue el principal criterio para la designación de las áreas de investigación.

Las pruebas se realizaron bajo los siguientes criterios:

1. Características del sitio de prueba
 - a) Profundidad del pozo
 - b) Tipo de suelo
 - c) Fecha de la realización de la prueba

2. Datos de campo
 - a) Calculo de tasa de infiltración
T=tiempo de cada lectura/promedio de la diferencia

3. Cálculos
 - a) Tasa de infiltración (T) promedio del suelo

$$\sum T/n^{\circ} \text{ de pruebas}$$

4.5 DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) PARA EL AREA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE

Existen diferentes métodos para calcular la evapotranspiración potencial, entre los cuales se pueden mencionar las fórmulas de Thornthwaite, Hargreaves, Penman, por solo citar algunas. En El Salvador el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN emplea el método de Hargreaves para calcular la evapotranspiración potencial de referencia, la cual involucra los datos de temperatura, humedad relativa y radiación solar, los cuales fueron proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.

La expresión a utilizar en el cálculo de a evapotranspiración potencial (ETP) se presenta a continuación:

$$ETP = 0.0075 \times R_{sm} \times T \times n$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración Potencial (mm)

R_{sm} = Radiacion solar incidente (mm)

T = Temperatura promedio mensual (°F)

n = Numero de dias de mes correspondiente

Donde la radiación solar incidente se calcula de la siguiente manera:

$$R_{sm} = 0.075 \times R_{mm} \times S^{1/2}$$

Donde:

R_{sm} = Radiacion solar incidente (mm)

R_{mm} = Radiación extraterrestre (mm)

S = Porcentaje de brillo de sol

H_N = Humedad relativa

Donde:

$$S = 12.5 \times (100 - H_N)^{1/2}$$

De la tabla de valores de Radiación Extraterrestre de Penman¹¹ y según la latitud, se obtuvo por interpolación los correspondientes datos mensuales para la coordenada 13° 26' 20.1" N de Latitud de la estación San Miguel-UES

4.6 DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR) PARA EL AREA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE

Para la determinación de la ETR, se requirió la utilización de un software que permite el cálculo de todos los componentes del balance hídrico, que utiliza como base la metodología Thornthwaite la cual es la misma utilizada por el MARN para el cálculo de la ETR a nivel nacional, dicho programa solo requiere el ingreso de los valores de precipitación mensual (P) y ETP para el año que se desea determinar las condiciones de evapotranspiración real (ETR), reserva, variación de la reserva (AR), excedente o escorrentía (E) y el déficit hídrico anual (D).

¹¹ <https://porgalindo.files.wordpress.com/2011/04/metodo-de-george-hargreaves.pptx>

4.7 DETERMINACIÓN DE LA TRANSMISIVIDAD “MÉTODO DE JACOB C.E”

Para el cálculo de transmisividad para cada uno de los pozos se empleara el método de Jacob C.E, el cual relaciona las variables de caudal de aforo (Q) y el diferencial del pozo (Δs), utilizando valores de Δs que varíen desde 1 ft hasta 6 ft de abatimiento.

$$T = 264 \times \frac{Q}{\Delta s}$$

La aplicación de este método facilita la determinación de los valores de transmisividad para cada uno de los pozos que se inventariaron, debido a que no se cuentan con la facilidad de realizar pruebas de bombeo para cada uno de los pozos dentro del área de estudio, lo cual aumentaría los costos y el tiempo para obtener resultados más reales de los valores de transmisividad para la zona.

Aplicando el método de Jacob C.E podemos obtener resultados más aproximados del valor de transmisividad, haciendo variar los valores de Δs en un rango estimado de valores, según sea la extracción que los pozos en análisis presentan.

En esta investigación se tomaron los siguientes criterios para la aplicación de este método:

- ✚ Para pozos con extracción mayor a 50 GPM, el rango de valores para Δs se consideró de 1 ft hasta 6 ft.
- ✚ Para pozos con extracción menor o igual a 50 GPM, el rango de valores para Δs se consideró de 1 ft hasta 3 ft.

- ✚ Solo se estimó el valor de la transmisividad para pozos que su extracción se realizaba a través de equipo de bombeo.
- ✚ Los valores obtenidos son aproximaciones, ya que para determinar los valores exacto de transmisividad se quiere de ejecutar pruebas de bombeo para cada uno de los pozos las cuales tienen un alto costo y duración de 48 horas de bombeo constante.

4.8 CALCULO DEL RADIO DE INFLUENCIA

Para establecer el cálculo del radio de influencia de cada uno de los pozos inventariados se hará uso de la ecuación de Webber, por medio de la cual se obtienen valores bastantes apegados a la realidad, la ecuación es:

$$R = 3\sqrt{HK(t)/n}$$

En donde:

R = Radio de influencia del cono de depresion del pozo

H = Espesor en m del estrato de agua

k = Coeficiente de permeabilidad del suelo en m/s

t = Tiempo de abatimiento en segundos

n = Porosidad en decimal

Para el municipio de San Miguel según datos del MARN se considera un
n = 0.30

4.9 MÉTODO RAS

Es un método científico, teórico para elaborar el mapa de la recarga de agua subterránea, que sirve como una herramienta para tomar decisiones en la protección y el manejo sostenible del recurso hídrico, como también en el ordenamiento territorial.

Para El Salvador calcula el agua que se infiltra en el subsuelo, basado en los principios de Schosinsky y Losilla (2000), Requiere de coeficientes para calcular la infiltración.

Este coeficiente se multiplica por un coeficiente climático, para lo cual se realiza un balance climático (BC).

La ecuación para determinar la recarga acuífera de una zona es:

$$R = BC * C$$

R = Recarga acuífera

BC = Balance climático

C = Coeficiente de infiltración

Donde **C** = $k_{fc} + k_p + k_v$

k_{fc} = Coeficiente del tipo del suelo

k_p = Coeficiente de pendiente

k_v = Coeficiente del uso del suelo

4.9.1 BALANCE CLIMÁTICO (BC)

El balance climático permite obtener la información de la cantidad de agua que está disponible en la zona de investigación.

$$BC = P - E \text{ Treal}$$

Donde:

P = Precipitación (mm)

E Treal = Evapotranspiración real (mm)

4.9.2 CÁLCULO DEL KFC

Refleja la permeabilidad del suelo. Rocas impermeables o suelos arcillosos impiden la recarga; al contrario, suelos recientes, no compactados y arenosos facilitan la infiltración. Hay que considerar también la situación geológica tal como fallas tectónicas que facilitan la infiltración.

TIPO DE SUELO	Kfc
Suelos arcillosos, latosoles de altura, zonas urbanas, suelos o rocas compactas e impermeables.	0.10
Suelos de combinación de limo y arcilla, litosoles y regosoles de valle, zonas con fallas tectónicas.	0.15
Suelos arenosos, recientes, suelos de cause de ríos, suelos no muy compactos, zonas con muchas fallas.	0.20

Tabla 4.1. Coeficientes por tipo de suelo.

4.9.3 CÁLCULO DE Kp

Es un factor sumamente importante porque se relaciona directamente con la escorrentía de agua superficial que no llega al acuífero. A través de un mapa topográfico se asigna a cada zona de estudio un coeficiente de pendiente Kp.

PENDIENTE	Kp
Muy plano	0.40
1-15%	0.15
15-30%	0.10
30-50%	0.7
50-70%	0.05
>70%	0.01

Tabla 4.2. Coeficientes de pendiente

3.9.4 CÁLCULO DE Kv

Es un factor importante y el más cambiante en el cálculo de la recarga. En la obtención del coeficiente se inicia con la determinación de la evapotranspiración sobre los suelos con diferentes usos. Un uso inadecuado del suelo puede reducir la recarga acuífera hasta un 50%.

USO DEL SUELO	kv	USO DEL SUELO	kv
Vegetación espinosa	0.30	Hortalizas	0.15
Tejido urbano, zonas comerciales	0.30	Cultivos anuales	0.15
cultivo de piña	0.30	Bosque de coníferas	0.15
Árboles frutales	0.20	Tierras sin bosque	0.15
Bosque de galería	0.20	Zonas verdes urbana	0.15
Bosque lati foliado	0.20	Pastos cultivados	0.10

Plantaciones de bosques mono específicos	0.20	Caña de azúcar	0.10
Sistemas agroforestales	0.20	Lagos, lagunas	0.00
Vegetación arbustiva baja	0.20	Praderas pantanosas	0.05

Tabla 4.3. Coeficientes del uso de suelo.

4.10 MÉTODO G. SHOSINSKY 2000 PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO.

Para realizar el cálculo del balance hídrico se utilizó la fórmula de correlación estadística desarrollada por Gunther Shosinsky y Marcelino Losilla (1999), la cual considera a la velocidad de infiltración del suelo (capacidad de infiltración) como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse; ya que depende básicamente de las características físicas del suelo, como lo son la textura, estructura, compactación y contenido de humedad.

La cantidad de precipitación que infiltra en el subsuelo, está condicionada por el factor de coeficiente de infiltración, y la cual está sujeta a las condiciones de pendiente del terreno (K_p), vegetación existente (K_v), y tipo de suelo (K_{fc}).

El método de Shosinsky fue desarrollado para el cálculo de la infiltración a partir de las condiciones fisiográficas de los suelos y meteorológicas de la cuenca; donde las condiciones que posibilitan la infiltración (I) están en función de las condiciones de la pendiente del terreno (K_p), usos de suelos (K_v) y textura de los suelos asociada a su procedencia geológica (K_{fc}). Adicionalmente, antes de producirse la infiltración, existe una retención (Ret) dada por la vegetación o follaje existente que intercepta una parte de la precipitación (P).

Dicha retención viene dada por:

$$\text{Ret} = P \times C_{fo}$$

Donde C_{fo} es un factor que varía entre 0.12 - 0.20 en función de la cobertura existente.

Para bosques $C_{fo} = 0.2$

Para arbustos otros $C_{fo} = 0.12$

El método considera que al menos 5mm serán retenidos por la biomasa vegetal cuando la lluvia sea mayor de 5mm, y cuando la lluvia mensual sea menor de 5mm, todo lo que llueve será retenido sin que exista infiltración.

Cálculo de la lluvia potencial de infiltración

La lámina de lluvia potencial de infiltración viene dado por:

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

Para calcular la infiltración I se utilizan las siguientes formulas:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154f_c - 0.723$$

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

$$I = 0.88 * C * P$$

Dónde:

I : Infiltración mensual (mm/mes).

C : Coeficiente de infiltración.

P : Precipitación (mm/mes).

K_p : Fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno.

K_v : Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal.

K_{fc} : Fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo. (Calculado a partir de la capacidad de infiltración básica del suelo).

f_c : Infiltración básica del suelo (mm/día).

Se determinan los coeficientes de infiltración a partir de la sumatoria de cada uno de los parámetros asignados.

Los valores de precipitación mensual son evaluados de acuerdo a la ecuación $I = 0.88 * C * P$, donde se determina la cantidad de precipitación mensual que infiltra (P_i).

Los valores de humedad inicial en el suelo (H_{si}), se determina considerando que el suelo se encuentra a capacidad de campo (CC), en la zona radicular (PR) de la vegetación existente, y la densidad del suelo (DS) a partir de la siguiente ecuación:

$$H_{si} = \frac{CC * DS * PR}{100}$$

Dónde:

CC = capacidad de campo (%)

PR = Profundidad de las raíces o zona radicular de acuerdo a la vegetación

DS= densidad del suelo (gr/cm^3)

El resultado obtenido a partir de la humedad inicial, es utilizado únicamente en el mes con que se inicia el balance hídrico, en el caso analizado se ha iniciado con el mes de octubre, para tener la certeza que el suelo esté en el punto de capacidad de campo, considerando que las precipitaciones de los meses previos han provisto de suficiente humedad al suelo, para que se encuentre en

dicha condición. En los meses siguientes, la humedad inicial corresponde a la húmeda final del mes anterior al que se va a analizar.

La determinación de la humedad final del suelo se calcula considerando los factores C_1 y C_2 , los cuales se refieren al coeficiente antes de que ocurra la evapotranspiración real (ETR) y después de que ocurre la evapotranspiración real (ETR), respectivamente.

$$C_1 = \frac{H_{si} - PM + P_i}{CC - PM}$$

Donde:

PM: Punto de Marchitez

Si $C_1 > 1$, entonces $C_1 = 1$

$$C_2 = \frac{H_{si} - PM + P_i - (ETP * C_1)}{CC - PM}$$

ETP Evapotranspiración potencial proveniente de las estaciones meteorológicas

PM = Punto de Marchitez

P_i = Lámina de agua que se infiltra.

La humedad disponible está condicionada por la humedad inicial del suelo más la precipitación que infiltra menos el punto de marchitez permanente

$$HD = H_{si} - PM + P_i$$

La evapotranspiración real que ocurre durante el proceso se calcula a partir de los índices C_1 y C_2

$$ETR = \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right) ETP$$

Cálculo de humedad final:

$$Hsf = Hsi + Pi - ETR$$

Si la humedad final es mayor que la capacidad de campo, el valor que se le asigna es el de capacidad de campo, debido a que el suelo no puede retener mayor humedad, que la correspondiente a dicho punto. Por lo que la recarga potencial a los acuíferos se da cuando la humedad final es mayor a la capacidad de campo, y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Rp = Hsi - Hsf + Pi - ETR$$

La determinación de cada uno de los factores involucrados en el cálculo de la infiltración se realiza considerando:

➤ **Pendiente (Kp)**

Pendiente	Kp
0.02% - 0.3%	0.3
0.3% - 1.0%	0.2
1% - 2%	0.15
2% - 7%	0.1
Mayor de 7%	0.06

Tabla 4.4. Valores de Kp según pendiente (Fuente Schosinsky, 1999)

➤ Usos de suelo (Kv)

USO DE SUELO	Kv
Escombreras, vertederos y rellenos sanitarios	0.100
Aeropuertos	0.090
Bosques	0.200
Café	0.190
Caña de azúcar	0.100
Cultivos anuales asociados con cultivos	0.150
Granos básicos	0.100
Instalaciones deportivas y recreativas	0.100
Lagos, lagunas y lagunetas	0.000
Mosaico de cultivos y pastos	0.100
Otros cultivos irrigados	0.100
Pastos cultivados	0.100
Pastos naturales	0.100
Plantaciones de bosques monoespecificos	0.200
Playas, dunas y arenales	0.070
Praderas pantanosas	0.050
Ríos	0.000
Roqueda, lavas	0.090
Tejido urbano continuo	0.053
Tejido urbano discontinuo	0.100
Tejido urbano precario	0.090
Tejido urbano progresivo	0.100
Terrenos principalmente agrícola, pero con importante espacio de vegetación natural	0.150
Vegetación arbustiva baja	0.200
Vegetación esclerófila o espinosa	0.090
Vegetación herbácea natural	0.100
Zonas comerciales o industriales	0.090
Zonas de extracción minera	0.090
Zonas en construcción	0.090
Zonas quemadas	0.100
Zonas verdes urbanas	0.210

Tabla 4.5. Valores de Kv según el uso del suelo (Junker, 2005. Schosinsky, 1999.)

➤ **Índice de Kfc**

El mapa de índice Kfc, se determinara a partir de la zonificación realizada considerando la capacidad de infiltración de los materiales presentes en la cuenca. La zonificación con base a los índices Kfc, se realizara considerando los diferentes miembros geológicos que afloran en la zona de estudio.

Parámetros por textura del suelo		
Miembro	Fc (mm/día)	Kfc
b1	45.00	0.2864
b3	45.00	0.2864
c1	280.00	0.7384
c2	45.00	0.2864
c3	45.00	0.2864
Qf	280.00	0.7384
s1	280.00	0.7384
s2	1440.00	0.9970
s3 'a	180.00	0.6358
s4	280.00	0.7384

Tabla 4.6. Parámetros por textura del suelo (Fuente: Duarte, 1998.)

4.11 METODOLOGÍA PARA LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE

4.11.1 CLASIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS

La evaluación de los impactos ambientales consiste en la identificación, previsión, interpretación y medición de las consecuencias ambientales de los proyectos. La evaluación de los impactos debe realizarse en el marco de

procedimientos adecuados que, en forma concurrente, permitan identificar las acciones y el medio a ser impactado, establecer las posibles alteraciones y valorar las mismas. Esta última etapa está encaminada a llegar a expresar los impactos en forma cuantitativa y, cuando ello no es posible, cualitativamente.

La manifestación del efecto de las actividades humanas sobre el ambiente de ser caracterizada a través de la importancia del impacto. De acuerdo con Conesa Fernández Vítora (1997), la importancia del impacto se mide “en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo tales como extensión, tipo de efecto plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, acumulación y periodicidad”.

4.11.2 ATRIBUTOS DE LOS IMPACTOS

1. **Carácter del impacto o Naturaleza.** Los impactos pueden ser beneficiosos o perjudiciales. Los primeros son caracterizados por el signo positivo, los segundos se los expresan como negativos.
2. **Efecto.** El impacto de una acción sobre el medio puede ser “directo” -es decir impactar en forma directa-, o “indirecto” –es decir se produce como consecuencia del efecto primario el que, por tanto, devendría en causal de segundo orden.

A los efectos de la ponderación del valor se considera:

- Efecto secundario.....1
- Efecto directo.....4

3. Importancia. Representa la incidencia de la acción causal sobre el factor impactado en el área en la que se produce el efecto.

Para ponderar la importancia, se considera:

➤ Baja.....	1
➤ Media baja.....	2
➤ Media alta.....	3
➤ Alta.....	4
➤ Muy alta.....	8
➤ Total.....	12

4. Extensión. A veces la incidencia del impacto está circunscrita; en otros casos se extiende disminuyendo sus efectos (contaminación atmosférica e hídrica) hasta que los mismos no son medibles. En algunos casos sus efectos pueden manifestarse más allá del área del proyecto y de la zona de localización del mismo. Por caso, los efectos secundarios sobre la atmósfera (CO₂ y su incidencia en el Efecto invernadero) y los efectos de degradación de humedales o de contaminación de cultivos (disminución de áreas reproductivas o de alimentación de aves migratorias y la mortandad directa de las aves, y sus efectos en sistemas ecológicos de otros países).

El impacto puede ser localizado (puntual) o extenderse en todo el entorno del proyecto o actividad (se lo considera total).

La extensión se valora de la siguiente manera:

➤ Impacto Puntual.....	1
------------------------	---

- Impacto parcial2
- Impacto extenso.....4
- Impacto total.....8

Existen otras consideraciones que deben efectuarse en el momento de valorar la extensión. En efecto, debe considerarse que la extensión se refiere a la zona de influencia de los efectos. Si el lugar del impacto puede ser considerado un “lugar crítico” (alteración del paisaje en zona valorada por su valor escénico, o vertido aguas arriba de una toma de agua), al valor obtenido se le adicionan cuatro (4) unidades. Si en el caso de un impacto “crítico” no se puede realizar medidas correctoras, se deberá cambiar la ubicación de la actividad que, en el marco del proyecto, da lugar al efecto considerado.

5. Momento. Se refiere al tiempo transcurrido entre la acción y la aparición del impacto. Para poder evaluar los impactos diferidos en el tiempo se necesita de modelos o de experiencia previa. Por ejemplo, en el caso de los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua, es posible disponer de modelos.

La predicción del momento de aparición del impacto, será mejor cuanto menor sea el plazo de aparición del efecto. Además, la predicción es importante en razón de las medidas de corrección de los impactos que deban realizarse.

El momento se valora de la siguiente manera:

- Inmediato.....4
- Corto plazo (menos de un año).....4
- Mediano plazo (1 a 5 años).....2
- Largo plazo (más de 5 años).....1

Si el momento de aparición del impacto fuera crítico se debe adicionar cuatro (4) unidades a las correspondientes.

6. **Persistencia.** Se refiere al tiempo que el efecto se manifiesta hasta que se retorne a la situación inicial en forma natural o a través de medidas correctoras. Un efecto considerado permanente puede ser reversible cuando finaliza la acción causal (caso de vertidos de contaminantes) o irreversible (caso de afectar el valor escénico en zonas de importancia turística o urbanas a través de la alteración de geoformas o por la tala de un bosque). En otros casos los efectos pueden ser temporales.

Los impactos se valoran de la siguiente manera:

- Fugaz.....1
- Temporal (entre 1 y 10 años).....2
- Permanente (duración mayor a 10 años).....4

7. **Reversibilidad.** La persistencia y la reversibilidad son independientes. Este atributo está referido a la posibilidad de recuperación del componente del medio o factor afectado por una determinada acción. Se considera únicamente aquella recuperación realizada en forma natural después de que la acción ha finalizado. Cuando un efecto es reversible, después de transcurrido el tiempo de permanencia, el factor retornará a la condición inicial.

Se asignan, a la Reversibilidad, los siguientes valores:

- Corto plazo (menos de un año).....1
- Mediano plazo (1 a 5 años).....2

- Irreversible (más de 10 años).....4

8. **Recuperabilidad.** Mide la posibilidad de recuperar (total o parcialmente) las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras.

La Recuperabilidad se valora de la siguiente manera:

- Si la recuperación puede ser total e inmediata.....1
- Si la recuperación puede ser total a mediano plazo.....2
- Si la recuperación puede ser parcial (mitigación).....4
- Si es irrecuperable.....8

9. **Acumulación.** Se refiere al aumento del efecto cuando persiste la causa (efecto de las sustancias tóxicas).

La asignación de valores se efectúa considerando:

- No existen efectos acumulativos.....1
- Existen efectos acumulativos.....4

10. **Periodicidad.** Este atributo hace referencia al ritmo de aparición del impacto.

Se le asigna los siguientes valores:

- a. Si los efectos son continuos.....4
- b. Si los efectos son periódicos.....2
- c. Si son discontinuos.....1

11. **Importancia del Impacto**

Expresa la “importancia del impacto” a través de:

$$I = \pm(3 \text{ Importancia} + 2 \text{ Extensión} + \text{Momento} + \text{Persistencia} \\ + \text{Reversibilidad} + \text{Sinergismo} + \text{Acumulación} + \text{Efecto} \\ + \text{Periodicidad} + \text{Recuperabilidad})$$

Los valores de Importancia del Impacto varían entre 13 y 100. Se los clasifica como:

- **Irrelevantes (o compatibles)** cuando presentan valores menores a 25.
- **Moderados** cuando presentan valores entre 25 y 50.
- **Severos** cuando presentan valores entre 50 y 75.
- **Críticos** cuando su valor es mayor de 75.

CAPITULO V

“EVALUACIÓN HÍDRICA”

5.1 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN PROMEDIO PARA LA CUENCA EL JUTE.

Para determinar la tasa de infiltración que hay en el área de la cuenca del río el jute se hicieron diferentes pruebas de infiltración con las cuales se pudo determinar un promedio de T para el área.

5.1.1 PROCEDIMIENTO DE CAMPO.

Para realizar las pruebas de infiltración se tomó en cuenta el área de la parte media de la cuenca y el área de la parte baja en donde se realizaron ocho pruebas en total para el área de la cuenca del río el Jute, se realizaron cuatro pruebas en la cuenca media y cuatro pruebas para el área de la cuenca baja.

- Se seleccionó el lugar previamente, con el criterio que el suelo en el que se realizó la prueba fuera representativo en el área de estudio.
- Se verificó mediante una prueba visual manual el tipo de suelo en donde se realizó la prueba.
- Se excavo un pozo en el suelo con medidas de 60 cm de profundidad y 60 cm por lado.
- Se rellenó el pozo excavado con agua hasta el borde superior del suelo.
- Se tomó lectura con una regla graduada cada 30 minutos para saber la altura que descendía el agua dentro del pozo.



Figura 5.1. Prueba de infiltración en campo

Para calcular el valor de T se dividió los 30 minutos que era el tiempo en el que se hacía cada lectura entre el promedio de la diferencia de lecturas, lo cual da el valor de T para la prueba realizada.

Para la primera prueba se obtuvieron los resultados siguientes,

	Hora “inicial”	Hora “final”	Lectura “I” (cm)	Lectura “F” (cm)	Diferencia (cm)
1	9:08 AM	9:38 AM	0.00	28.00	28.00
2	9:38 AM	10:08 AM	28.00	41.00	13.00
3	10:08 AM	10:38 AM	41.00	57.00	16.00
					19.00

Tabla 5.1. Resultados de la primera prueba de infiltración

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/19.00$$

(30 minutos entre lecturas y 19.00 cm de promedio)

$$T = 1.58 \text{ min/cm}$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada prueba de campo para la determinación de la tasa de infiltración del suelo en el área de la cuenca del río El Jute.

N° DE PRUEBA	TASA DE INFILTRACIÓN
1	1.58 min/cm
2	1.55 min/cm
3	2.20 min/cm
4	1.18 min/cm
5	1.61 min/cm
6	1.55 min/cm
7	1.20 min/cm
8	1.58 min/cm
Tasa de Infiltración Promedio	1.56 min/cm

Tabla 5.2 Resultados de todas las pruebas de infiltración realizadas para el área de la cuenca

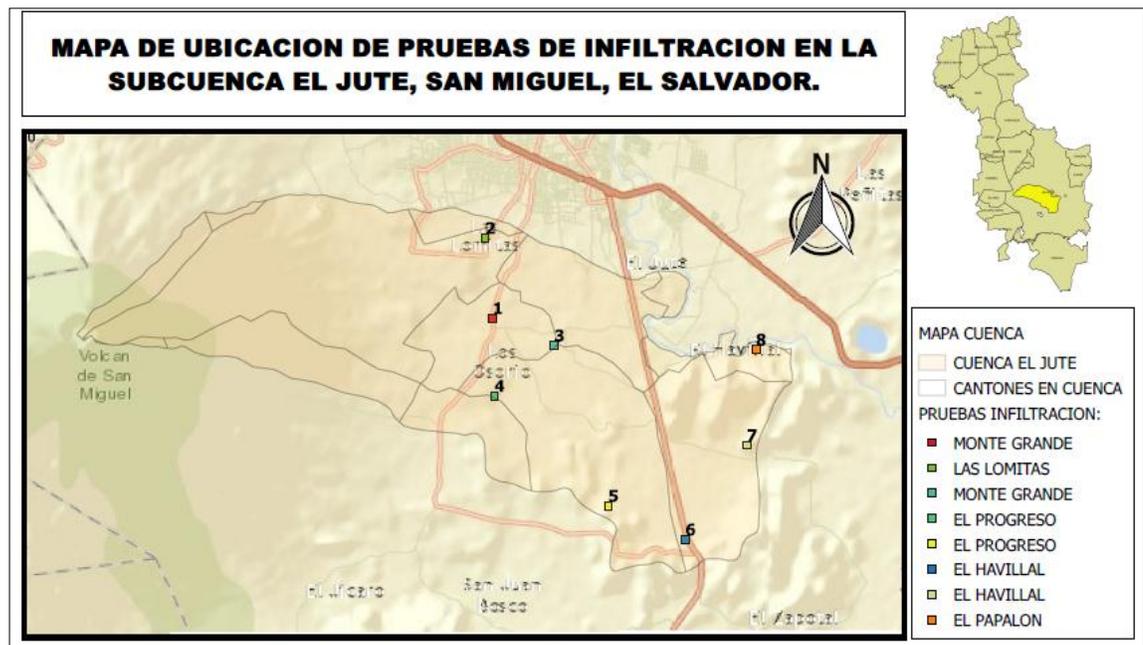


Figura 5.2. Ubicación de las pruebas de infiltración

5.2 DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), se hizo en base al método de Hargreaves y con la tabla de valores de radiación solar según la latitud y longitud, se hizo para la ubicación de la estación San Miguel-UES con coordenadas 13° 26' 20.1" N, ya que esta se encuentra dentro del área de estudio e interpolando se encontraron los valores de radiación solar (R_{mm})

RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE PARA UNA LATITUD DE 13° 26' 20.1" N											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
12.56	13.73	14.96	15.65	15.77	15.61	15.65	15.62	15.18	14.22	12.99	12.75

Tabla 5.3 Valores de radiación solar (R_{mm}) para la estación San Miguel-UES

RANGO DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°F)												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2005	78.8	79.7	83.3	84.74	81.32	80.06	80.78	80.06	78.98	77	78.44	79.16
2006	79.34	80.96	82.94	84.2	82.4	79.34	81.14	80.96	79.88	79.88	78.44	79.88
2007	80.42	81.32	85.82	84.92	83.66	81.86	82.58	79.88	78.98	77.36	77.9	79.16
2008	79.52	80.96	82.4	83.48	81.5	80.42	78.98	79.34	79.34	77.54	78.26	77.9
2009	79.16	80.6	81.68	84.74	81.68	80.06	80.96	80.96	80.42	80.24	78.44	78.98
2010	78.98	82.04	83.66	85.1	82.94	80.42	79.34	79.34	78.8	79.34	77.72	80.6
2011	79.7	81.68	82.22	82.76	83.84	80.6	79.34	79.52	79.34	77.18	78.26	79.16
2012	79.16	82.22	83.66	82.22	80.96	80.24	82.76	80.06	79.7	78.26	79.52	78.44
2013	80.96	81.32	82.94	84.38	82.76	80.6	80.24	80.24	78.08	78.98	78.62	78.8
2014	79.16	81.32	82.4	84.2	82.4	81.14	84.02	80.6	78.26	78.26	78.62	78.08
2015	80.24	81.68	84.2	85.82	85.28	83.3	84.56	85.82	80.42	79.52	78.98	79.7

Tabla 5.4. Temperatura promedio mensual °F

HUMEDAD RELATIVA (%)												
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES						ÍNDICE NACIONAL: M-24						
LATITUD: 13° 26' 20.1" N				LONGITUD: 88° 09' 32.7" W				ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.				
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2005	58	57	70	65	80	86	81	83	85	89	74	70
2006	82	57	55	64	77	85	80	82	82	84	75	70
2007	63	62	60	66	73	75	73	83	86	87	69	67
2008	60	62	60	65	76	77	80	81	82	83	67	66
2009	61	55	54	60	75	82	80	79	83	79	77	73
2010	61	59	59	65	75	84	86	87	89	78	74	62
2011	62	58	57	69	69	81	84	85	87	86	79	67
2012	62	58	53	68	82	83	67	80	82	85	64	66
2013	58	59	53	67	73	81	80	79	90	86	81	70
2014	59	60	66	60	74	80	66	77	87	86	77	66
2015	55	57	56	59	65	71	63	61	83	88	85	76

Tabla 5.5. Humedad relativa mensual media. Fuente MARN

Con los valores que se obtuvieron de temperatura (T) en grados °C y que se convirtió a grados °F ya que el método de Hargreaves ocupa la temperatura en grados °F y humedad relativa (H_N) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para la estación meteorológica San Miguel-UES, se procedió a calcular la evapotranspiración potencial (ETP).

$$ETP = 0.0075 \times R_{sm} \times T \times n$$

Para la radiación solar incidente del mes de enero del año 2005 se tiene:

$$R_{sm} = 0.075 \times R_{mm} \times S^{1/2}$$

Donde la radiación solar para el mes de enero es de $R_{mm} = 12.56$ y para el porcentaje de brillo sol se tiene $S = 12.5 \times (100 - H_N)^{1/2}$, con el valor de la humedad relativa H_N para el mes de enero del año 2005 se tiene lo siguiente:

$$S = 12.5 \times (100 - H_N)^{1/2}$$

$$S = 12.5 \times (100 - 58)^{1/2}$$

$$S = 81.00 \%$$

Entonces sustituyendo S y el valor de R_{mm} en la ecuación de la radiación solar incidente (R_{sm}) se tiene:

$$R_{sm} = 0.075 \times 12.56 \times (81)^{1/2}$$

$$R_{sm} = 8.48 \text{ mm}$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula de ETP se encuentra el valor de ETP para el mes de enero del año 2005:

$$ETP = 0.0075 \times R_{sm} \times T \times n$$

Donde:

Radiación solar incidente $R_{sm} = 8.48 \text{ mm}$

Temperatura promedio mensual (T) en °F $T = 78.8 \text{ °F}$

Número de días del mes $n = 31 \text{ días}$

$$ETP = 0.0075 \times 8.48 \text{ mm} \times 78.8 \text{ °F} \times 31$$

$$\mathbf{ETP = 155.33 \text{ mm}}$$

A continuación se muestran los valores de la evapotranspiración potencial (ETP)

Se calcula de la misma manera para los siguientes meses desde el año 2005 hasta el año 2015, a continuación se muestra los resultados de la ETP.

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL ESTIMADA						
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
2005	155.33	156.04	179.80	192.45	167.20	144.23
2006	126.54	158.51	198.12	192.58	175.44	145.42
2007	153.58	154.37	199.06	191.47	185.41	170.47
2008	154.85	159.17	191.12	189.59	175.38	164.02
2009	153.18	159.60	196.19	198.98	177.57	153.58
2010	152.83	158.72	195.25	193.27	180.31	149.79
2011	153.23	158.98	194.18	182.34	192.34	156.72
2012	152.19	165.74	202.03	182.59	162.13	151.74
2013	159.59	162.94	200.29	188.83	183.41	156.72
2014	155.11	161.94	183.51	197.72	180.90	159.81
2015	160.92	165.63	200.01	202.77	201.67	180.03
PROMEDIO	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL ESTIMADA						
AÑO	JULIO	AGOSTO	SEP	OCTUBRE	NOV	DIC
2005	162.72	156.55	140.77	122.94	137.27	145.62
2006	165.56	160.59	149.01	140.06	135.93	146.95
2007	181.62	156.20	138.36	128.78	142.46	149.14
2008	161.15	159.51	148.01	138.03	145.37	147.86
2009	165.19	166.90	147.89	150.59	133.13	141.52
2010	148.07	145.08	129.97	150.64	136.01	157.30
2011	153.10	150.70	136.44	130.88	129.84	149.14
2012	191.38	163.04	148.68	135.02	150.96	148.89
2013	163.72	165.41	125.75	133.93	127.21	144.96
2014	195.75	169.98	134.58	132.71	133.44	148.20
2015	201.22	206.53	147.89	129.75	120.46	138.66
PROMEDIO	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11

Tabla 5.6. Valores de ETP estimados para el periodo 2005-2015

5.3 DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)

Para la determinación de la evapotranspiración real en el área de la cuenca del río El Jute se utilizó el software InnerSoft ISBH v0.6, el cual se fundamenta en la metodología de Thornthwaite para el cálculo de la ETR, con el cual ingresando los datos de precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) que se obtuvieron, se obtiene la evapotranspiración real en el área, así como también los datos de reserva acuífera, variación de la reserva acuífera, el excedente o escorrentía y el déficit hídrico anual.

A continuación se muestra los resultados que se obtienen en el software ingresando los datos de P y ETP hechos para el año 2005.

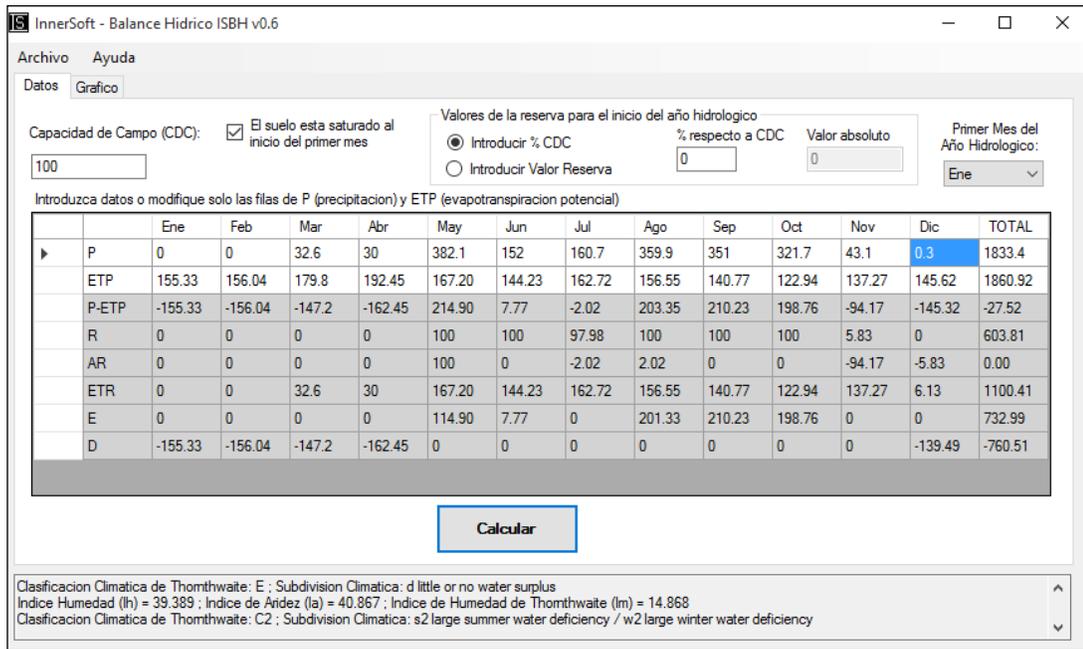


Figura 5.3. Tabla de resultados para conocer el valor de ETR en la zona de estudio

Se muestra a continuación las tablas con los resultados de los datos que arroja el software para la evapotranspiración real (ETR) en el área de la cuenca de estudio.

VALORES DE ETR ESTIMADO PARA EL AREA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE						
Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
2005	0	0	32.6	30	167.2	144.23
2006	0.4	0	0.5	29	124.9	145.42
2007	0	0	0.9	3.8	107.6	49.1
2008	0.1	1	3	22.9	175.38	164.02
2009	36.46	0.1	0.4	0	177.57	153.58
2010	0	0	0.5	48.3	180.31	149.79
2011	0.4	0.5	7.4	32.4	62.9	156.73

2012	0	0	0.5	159.9	162.13	151.54
2013	0	0.6	0	6.7	131.3	156.72
2014	0	2.6	23.8	1.12	143.4	159.81
2015	0	0	0.6	20	57.2	158.8

VALORES DE ETR ESTIMADO PARA EL AREA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE						
Año	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2005	162.72	156.55	140.77	122.94	137.27	6.13
2006	165.56	160.59	149.01	140.06	135.93	46.57
2007	117.6	156.2	138.36	128.78	142.46	12.64
2008	161.15	159.91	148.01	138.03	100.5	0
2009	165.19	166.9	147.89	150.59	133.13	141.52
2010	148.07	145.08	129.97	150.64	36.06	0
2011	153.1	150.7	136.44	130.88	129.84	30.26
2012	12.73	163.04	148.68	135.02	113.9	11.8
2013	153.72	165.41	125.55	133.93	127.21	62.79
2014	119.49	169.98	134.58	132.71	132.3	0
2015	29.1	13.4	147.89	129.75	120.46	100.4

Tabla 5.7. Valores de ETR estimados para el área de la cuenca del río El Jute

5.4 DETERMINACIÓN DE LA EXTRACCIÓN ACUÍFERA

La extracción acuífera de las diferentes Haciendas, Turicentro, Centros Educativos y Urbanizaciones ubicadas dentro del área de la cuenca el jute se determinó a partir de las dotaciones de consumo de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), esto debido a que no existe un

registro de cuanto es la extracción que estas instituciones realizan al acuífero subterráneo.

Ejemplo de estimación de dotación:

Hacienda la Ceiba:

Datos:

Número de Cabezas de Ganado: 105

$$\text{Demanda} = 105 \times 120 \text{ l/animal/día} = 12600 \text{ l/día}$$

$$\text{Demanda} = 12600 \frac{\text{l}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.79 \text{ l}} = \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} = 2.31 \text{ GPM}$$

TABLA DE ESTIMACIÓN DE EXTRACCIÓN PARA LA CUENCA EL JUTE			
Cuantificación de la Demanda para uso ganadero de la cuenca el jute			
Nombre de la Hacienda	Número de Cabezas de Ganado	Dotación (L/Animal/día)	Q estimado de extracción (GPM)
Hacienda La Ceiba	105	120	2.31
Hacienda El Mono	60	120	1.32
Hacienda El Progreso	44	120	0.97
Hacienda La Divina Providencia	79	120	1.74
Cuantificación de la Demanda para uso de riego agrícola de la cuenca el jute			
Nombre de la Hacienda	Metros Cuadrados de Área de Riego	Dotación (L/s/m²)	Q estimado de extracción (GPM)
Hacienda La Ceiba	100499.20	0.004	402.00
Hacienda El Mono	126216.31	0.004	504.87
Hacienda El Progreso	97383.00	0.004	389.53
Hacienda La Divina Providencia	147221.29	0.004	588.89
Cuantificación de la Demanda para uso de Centros Escolares			
Nombre del Centro Escolar	Número de Estudiantes para el año 2016	Dotación (L/Alumno/día)	Q estimado de extracción (GPM)

Centro Escolar Monte Grande	586	40	4.29
Centro Escolar Hacienda Divina Providencia	121	40	0.89
Cuantificación de la Demanda Para Urbanizaciones En la Cuenca El Jute			
Nombre de la Urbanización	Número de Habitantes por vivienda	Dotación (L/persona/día)	Q estimado de extracción (GPM)
Urbanización Villas Deportivas I	490	220	19.75
Cuantificación de la Demanda Para Turicentro en la Cuenca El Jute			
Nombre del Turicentro	Metros cúbicos de piscinas	Dotación (L/m ³ /hora)	Q estimado de extracción (GPM)
Turicentro "El Mono"	729.6	125	133.69

Tabla 5.8. Dotaciones estimadas

5.5 INVENTARIO DE POZOS DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO

En la siguiente tabla se presenta el inventario de los manantiales y pozos más relevantes ubicados dentro la cuenca el jute y que han sido considerados para la realización del balance hídrico.

Para la realización de este inventario se consideraron los siguientes criterios:

- ✚ Nombre del propietario
- ✚ Ubicados dentro del área de la cuenca el jute.
- ✚ Pozos de mayor demanda acuífera
- ✚ Disponibilidad de los propietarios o encargados para permitir acceso a ellos.
- ✚ Tipo de pozo (excavado, perforado, hincado y artesanal)
- ✚ Horas de bombeo del pozo

INVENTARIO DE POZOS DE USO INDUSTRIAL Y ABASTECIMIENTO DE LA CUENCA EL JUTE

N°	Propietario	Ubicación	Coordenadas		Nivel Estático (m)	Profundidad (m)	Espesor del Acuífero (m)	Horas de Explotación	Caudal Diario (GPM)	Observaciones
			Norte	Este						
1	Manantial "Monte Grande"	Cantón Monte Grande	257557	588753					772	Yacimiento natural
2	Manantial "El Borbollón"	Cantón Monte Grande	258311	589101					1,105	Yacimiento natural
3	Blanca Isabel Campos	Cantón Monte Grande	257267	588306	7.00	10.00	3.00		0.18	pozo excavado artesanalmente
4	Hacienda "Mi Ranchito"	Cantón Monte Grande	257810	588506	4.00	50.00	46.00	12	998.79	Pozo Perforado
5	Hacienda "La Ceiba"	Cantón Tecomatal	254507	592061	10.00	17.00	7.00	12	404.31	pozo excavado artesanalmente
6	Hacienda "El Mono"	Cantón El Havillal	252053	592905	7.00	30.00	23.00	12	508.50	pozo perforado
7	Hacienda "La Divina Providencia"	Cantón El Progreso	253029	591322	22.00	50.00	28.00	12	590.63	pozo perforado
8	Hacienda "El Progreso"	Cantón El Progreso	255562	588004	9.00	22.00	13.00	12	390.50	pozo excavado artesanalmente
9	Francisco Canales	Cantón Las Lomitas	259053	588121	8.00	10.00	2.00	4	0.10	pozo excavado artesanalmente
10	Polideportivo Don Bosco 1	Cantón Monte Grande	256615	589442	10.00	60.00	50.00	8	14.00	pozo perforado
11	Polideportivo Don Bosco 2	Cantón Monte Grande	256615	589567	10.00	60.00	50.00	8	14.00	pozo perforado
12	Polideportivo Don Bosco 3	Cantón Monte Grande	256615	589695	10.00	60.00	50.00	8	138.00	pozo perforado
13	Turicentro "Aventura del Mono"	Cantón El Havillal	252175	592641	7.00	21.00	14.00	8	133.69	pozo perforado
14	José Jorge Cañas	Cantón El Progreso	255235	590447	8.00	15.00	7.00	3	0.11	Pozo excavado artesanalmente
15	Comunidad la Divina Providencia	Cantón El Progreso	252999	590917	21.00	22.00	1.00		0.25	Pozo excavado artesanalmente
16	Carmen Chávez	Cantón El Progreso	252547	589413	20.00	23.00	3.00		0.14	Pozo excavado artesanalmente
17	Centro Escolar Hacienda la Divina Providencia	Cantón El Progreso	252883	591054	19.00	40.00	21.00	6	0.89	pozo perforado
18	Centro Escolar Monte Grande	Cantón Monte Grande	258023	588485	7.00	60.00	53.00	6	4.29	pozo perforado

INVENTARIO DE POZOS DE USO INDUSTRIAL Y ABASTECIMIENTO DE LA CUENCA EL JUTE										
N°	Propietario	Ubicación	Coordenadas		Nivel Estático (m)	Profundidad (m)	Espesor del Acuífero (m)	Horas de Explotación	Caudal Diario (GPM)	Observaciones
			Norte	Este						
19	María del Carmen Ochoa	Cantón El Progreso	255489	588333	7.50	10.00	2.50	3	0.10	pozo excavado artesalmante
20	Rubén Eduardo Benítez	Cantón El Papalón	256539	594244	15.00	18.00	3.00		0.16	pozo excavado artesalmante
21	María Elena Argueta Chacón	Cantón El Havillal	254366	594047	9.00	12.00	3.00		0.14	pozo excavado artesalmante
22	Estación de bombeo El Jute ANDA 1	Cantón El jute	257049	590858	12.00	159.00	147.00	20	285.00	Pozo Perforado
23	Estación de bombeo El Jute ANDA 2	Cantón El jute	257049	590858	8.00	152.00	144.00	20	349.00	Pozo Perforado
24	Pozo 1 Ingenio Chaparrastique	Cantón El Papalón	257808	591908	12.80	135.30	122.50	12	900.00	Pozo Perforado
25	Pozo 2 Ingenio Chaparrastique	Cantón El Papalón	257665	591686	10.90	139.00	128.10	12	900.00	Pozo Perforado
26	Pozo 3 Ingenio Chaparrastique	Cantón El Papalón	257940	592013	12.80	152.40	139.60	12	700.00	Pozo Perforado
27	Universidad de El Salvador FMO	Cantón El jute	257909	590881	8.84	60.96	52.12	10	50.00	Pozo Perforado
28	Universidad de El Salvador FMO 2	Cantón El jute	257510	591386	8.84	150.00	141.16	10	250.00	Pozo Perforado
29	Urbanización Villas Deportivas	Cantón Monte Grande	257397	588688	10.00	80.00	70.00	20	19.75	Pozo Perforado

Tabla 5.9 Inventario de pozos en el área de la cuenca del río El Jute

5.6 DETERMINACIÓN DE TRANSMISIVIDAD Y RADIO DE INFLUENCIA DE POZOS

5.6.1 TRANSMISIVIDAD

Para la determinación de la transmisividad no se contaban con datos de pruebas de bombeo disponibles de pozos que se hayan perforado en la cuenca del río El Jute por lo que se procedió a la determinación de esta tomando como valores del Δ_s un rango de valores de que va desde 1 ft hasta 6 ft para pozos que tienen demandas mayores a los 50 GPM, promediando los resultados se obtiene un valor estimado de transmisividad para los pozos inventariados.

Para el pozo 1 del Polideportivo Don Bosco y tomando en cuenta las siguientes consideraciones y mediante la fórmula de Jacob C.E, se obtuvo el siguiente resultado.

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Polideportivo Don Bosco
Ubicación	Cantón "Monte Grande"
Coordenada	Norte: 256615
	Este: 589442
Caudal Extraído (GPM)	14.00
Considerando valores de 1ft hasta 3 ft	

Tabla 5.10. Datos para calcular la transmisividad

$$T = 264 \times \frac{Q}{\Delta s}$$

Para $\Delta s = 1$

$$T = 264 \times \frac{14\text{GPM}}{1\text{ft}} = 3696 \text{ GPM/ft}$$

Para $\Delta s = 2$

$$T = 264 \times \frac{14\text{GPM}}{2\text{ft}} = 1848 \text{ GPM/ft}$$

Para $\Delta s = 3$

$$T = 264 \times \frac{14\text{GPM}}{3\text{ft}} = 1232 \text{ GPM/ft}$$

Haciendo un promedio de los tres valores de transmisividad calculados para este pozo se obtiene un transmisividad promedio.

$$T = \frac{3696 + 1848 + 1232}{3}$$

$$\mathbf{T = 2258.57 \text{ GPM/ft}}$$

5.6.2 RADIO DE INFLUENCIA

La determinación de los radios de influencia está fundamentada en la aplicación de la ecuación de Webber que requiere el conocimiento de factores tales como el tiempo de bombeo de cada uno de los pozos inventariados y el ancho del estrato de agua que presenta el acuífero en el pozo que se está analizando para ello en los pozos que fue posible medir su nivel estático y su profundidad, para otros en los cuales el acceso era limitado se obtuvieron estos valores a través de la administración de la institución que es responsable de la extracción acuífera de estos pozos.

Para el pozo 1 del Polideportivo Don Bosco se obtuvieron los siguientes resultados.

Considerando que las horas de bombeo diarias para este pozo son de 10, entonces $t = 10 \text{ horas} \times 3600\text{s}/1 \text{ hora}$

Para el valor del coeficiente de permeabilidad de las pruebas de infiltración se obtuvo un promedio de 1.56 min/cm

Entonces:

$$K = 1.56\text{min/cm} * 100\text{cmm}/1\text{m} * 60\text{seg}/1\text{min}$$

$$k = 0.936$$

$$R = 3\sqrt{HK(t)/n}$$

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
50	0.936	28800	0.3	6358.87

Tabla 5.11. Valores para calcular el radio de influencia

$$R = 3\sqrt{(50\text{m})(0.936\text{m/s})(28800\text{s})/0.30}$$

$$R = 6358.87 \text{ m}$$

A continuación se presenta la tabla con los resultados de los valores de transmisividad y radio de influencia para cada uno de los pozos inventariados que están dentro de la zona de estudio.

A continuación se presenta el cuadro resumen para los valores de transmisividad y radio de influencia calculados para los pozos inventariados en la cuenca el jute.

Transmisividad y Radios de influencias para pozos de la cuenca el jute.

No	Propietario	Ubicación	Coordenadas		Caudal Diario Q (GPM)	Transmisividad (GPM/ft)	Radios de influencia (m)
			Norte	Este			
1	Manantial "Monte Grande"	Cantón Monte Grande	257557	588753	772		
2	Manantial "El Borbollón"	Cantón Monte Grande	258311	589101	1,105		
3	Blanca Isabel Campos	Cantón Monte Grande	257267	588306	0.18		
4	Hacienda "Mi Ranchito"	Cantón Monte Grande	257810	588506	998.79	107669.562	6819.13
5	Hacienda "La Ceiba"	Cantón Tecomatal	254507	592061	404.31	43584.62	2660.11
6	Hacienda "El Mono"	Cantón Monte Grande	252053	592905	508.50	54816.3	4821.85
7	Hacienda "La Divina Providencia"	Cantón El Progreso	253029	591322	590.63	663669.91	5320.21
8	Hacienda "El Progreso"	Cantón El Progreso	255562	588004	390.50	42095.9	4265.66
9	Francisco Canales	Cantón Las Lomitas	259053	588121	0.10	16.13	899.28
10	Polideportivo Don Bosco 1	Cantón Monte Grande	256615	589442	14.00	2258.67	6358.87
11	Polideportivo Don Bosco 2	Cantón Monte Grande	256615	589567	14.00	2258.67	6358.87
12	Polideportivo Don Bosco 3	Cantón Monte Grande	256615	589695	138.00	18975	6358.87
13	Turicentro "Aventura del Mono"	Cantón El Havillal	252175	592641	133.69	21568.65	3364.8
14	José Jorge Cañas	Cantón El Progreso	255235	590447	0.11	17.75	1457
15	Comunidad la Divina Providencia	Cantón El Progreso	252999	590917	0.25		

Transmisividad y Radios de influencias para pozos de la cuenca el jute

No	Propietario	Ubicación	Coordenadas		Caudal Diario Q (GPM)	Transmisividad (GPM/ft)	Radios de influencia (m)
			Norte	Este			
16	Carmen Chávez	Cantón El Progreso	252547	589413	0.14		
17	Centro Escolar Hacienda la Divina Providencia	Cantón El Progreso	252883	591054	0.89	143.59	3568.91
18	Centro Escolar Monte Grande	Cantón Monte Grande	258023	588485	4.29	692.12	5669.74
19	María del Carmen Ochoa	Cantón El Progreso	255489	588333	0.10	16.13	870.72
20	Rubén Eduardo Benítez	Cantón El Papalón	256539	594244	0.16		
21	María Elena Argueta Chacón	Cantón El Havillal	254366	594047	0.14		
22	Estación de bombeo El Jute ANDA 1	Cantón El jute	257049	590858	285.00	30723	17239.45
23	Estación de bombeo El Jute ANDA 2	Cantón El jute	257049	590858	349.00	37622.2	17062.63
24	Pozo 1 Ingenio Chaparrastique	Cantón El Papalón	257808	591908	900.00	97020	15737.39
25	Pozo 2 Ingenio Chaparrastique	Cantón El Papalón	257665	591686	900.00	97020	16093.09
26	Pozo 3 Ingenio Chaparrastique	Cantón El Papalón	257940	592013	700.00	75460	16799.93
27	Universidad de El Salvador FMO	Cantón El jute	257909	590881	50.00	5390	7258.59
28	Universidad de El Salvador FMO 2	Cantón El jute	257510	591386	250.00	26950	11945.54
29	Urbanización Villas Deportivas	Cantón Monte Grande	257397	588688	19.75	2129.05	8411.99

Tabla 5.12. Valores de transmisividad y radio de influencia para los pozos inventariados dentro del área de la cuenca del río El Jute

5.7 DETERMINACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA MEDIANTE EL MÉTODO RAS.

5.7.1 CALCULO DEL BALANCE CLIMÁTICO

Para el cálculo del balance climático mediante el método RAS los datos que se necesitaron fueron los de Precipitación (P) y Evapotranspiración Real (ETR) del área de la cuenca del río El Jute, para así poder determinar la cantidad de precipitación disponible tanto como para la recarga acuífera y la escorrentía superficial.

$$BC = P - E \text{ Treal}$$

Para el año 2005 los datos de precipitación son $P = 1833.40$ y para la evapotranspiración real $E \text{ Treal} = 1100.41$

$$BC = 1833.40 - 1100.41$$

$$BC = 732.99$$

A continuación se muestra la tabla con los datos del balance climático desde el año 2005 hasta el año 2015

AÑO	PRECIPITACIÓN (mm)	ETR (mm)	BC = P – ETR (mm/año)
2005	1833.40	1100.41	732.99
2006	1661.80	1097.94	563.86
2007	1399.70	857.44	542.26
2008	1613.50	1074.00	539.50
2009	1571.50	1273.33	298.17
2010	1934.80	988.72	946.08

2011	1886.50	991.55	894.95
2012	1513.00	1059.24	453.76
2013	1507.10	1063.93	443.17
2014	1604.10	1019.79	584.31
2015	1212.80	777.60	435.20

Tabla 5.13. Cálculo de balance climático

5.7.2 CÁLCULO DE LA RECARGA ACUÍFERA

Para el cálculo de la recarga acuífera se necesitaron los datos del BC y los datos de los coeficientes del tipo de suelo (K_{fc}), coeficiente de pendiente (K_p) y el coeficiente del uso del suelo (K_v).

$$R = BC * C$$

R = Recarga acuífera

BC = Balance climático

C = Coeficiente de infiltración

Donde $C = k_{fc} + k_p + k_v$

5.7.2.1 COEFICIENTE DEL TIPO DE SUELO (K_{fc})

Este se calculó en base al tipo de suelo presente en la zona de estudio, según el mapa pedológico que se encuentra en el portal de VIGEA (visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental) elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y los datos de coeficiente del suelo dados por el método RAS.

TIPO DE SUELO	Kfc
Suelos arcillosos, latosoles de altura, zonas urbanas, suelos o rocas compactas e impermeables.	0.10
Suelos de combinación de limo y arcilla, litosoles y regosoles de valle, zonas con fallas tectónicas.	0.15
Suelos arenosos, recientes, suelos de cause de ríos, suelos no muy compactos, zonas con muchas fallas.	0.20

Tabla 5.14. Coeficientes por tipo de suelo

Tomando en cuenta el tipo de suelo presente en el área se le asignó un valor según las características del suelo.

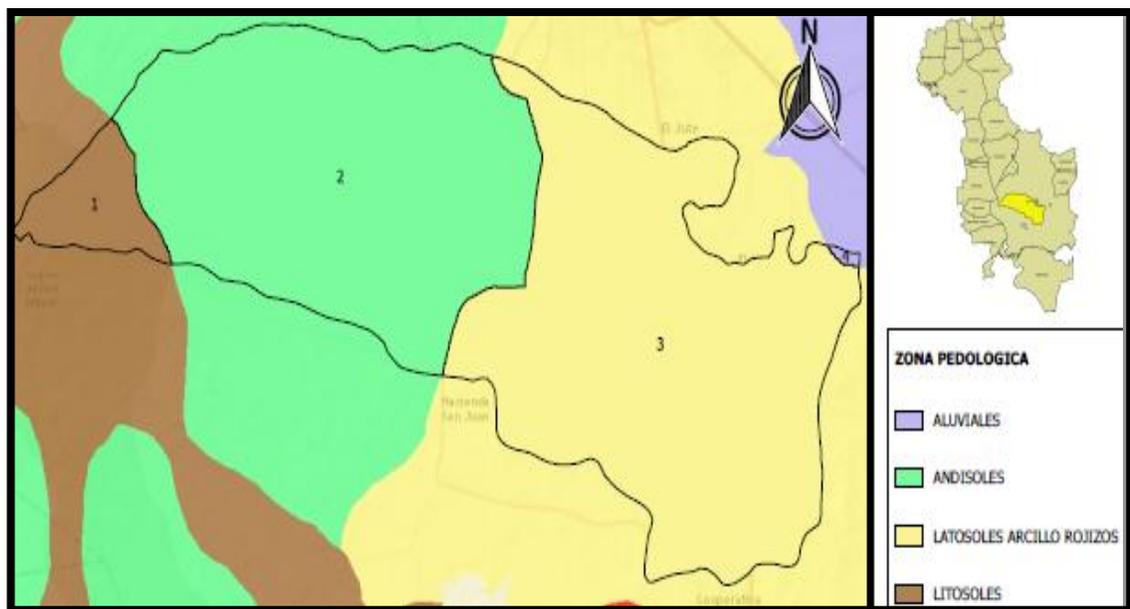


Figura 5.4. Mapa pedológico en la zona de estudio

Valor del coeficiente Kfc	
Tipo de Suelo	Coeficiente de Kfc
Litsoles	0.15
Andisoles	0.15
Latsoles arcillo rojizos	0.1
Aluviales	0.2

Tabla 5.15. Valores de Kfc para el tipo de suelo de la cuenca

Del mapa pedológico se obtuvieron las áreas para cada tipo de suelo en la zona de estudio y se obtuvo un Kfc representativo para toda el área de la cuenca del río El Jute.

DETERMINACIÓN DEL KFC PARA LA CUENCA DEL RIO "EL JUTE"			
Tipo de Suelo	Área (km ²)	Coeficiente de Kfc	(Área × Kfc)
Litsoles	3.287758028	0.15	0.49
Andisoles	29.85520235	0.15	4.48
Latsoles arcillo rojizos	34.28193492	0.1	3.43
Aluviales	0.10205061	0.2	0.02
A_T = 67.52694591			∑ 8.42

Tabla 5.16. Valor de Kfc para la zona de estudio

$$kf_c = \frac{\sum \text{Área} \times Kfc}{A_T}$$

$$kf_c = \frac{8.42}{67.52694591}$$

$$kf_c = 0.12$$

5.7.2.2 COEFICIENTE DE PENDIENTE (Kp)

Al igual que para el tipo de suelo se utilizó el mapa de rangos de pendiente en El Salvador que se encuentra en el portal de VIGEA (visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental) elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), se delimito solamente para el área de la cuenca como se muestra en el siguiente mapa.

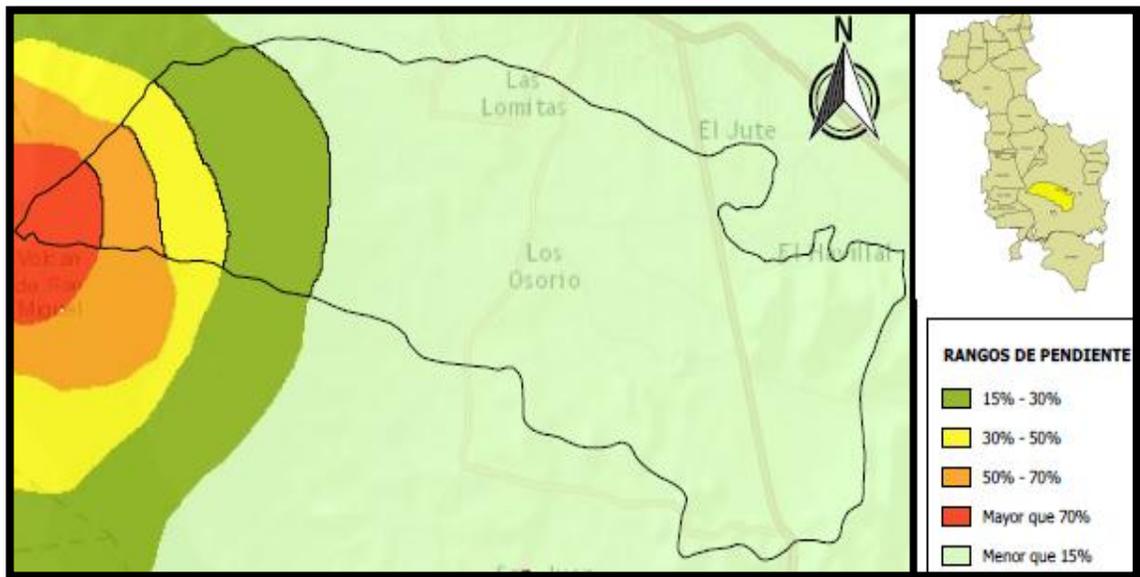


Figura 5.5. Mapa de rango de pendientes en el área de la cuenca del río El Jute

Los valores de pendiente proporcionados por el método RAS son los siguientes.

PENDIENTE	Kp
Menor de 15%	0.4
15-30%	0.15
30-50%	0.7
50-70%	0.05
>70%	0.01

Tabla 5.17 Valores del coeficiente Kp según el rango de pendiente

Con las áreas delimitadas según el rango de pendiente

Rango de pendiente	Kp	Área ((km ²))	Área*Kp
Menor de 15%	0.4	53.282554	21.3130216
15-30%	0.15	7.867351	1.18010265
30-50	0.7	3.030976	2.1216832
mayor de 70	0.01	3.337047	0.03337047
		$A_T = 67.52694591$	$\sum 24.65$
$K_p = 0.37$			

Tabla 5.18. Valor de Kp para el área de estudio

5.7.2.3 COEFICIENTE DE USO DE SUELO (Kv)

Tomando como referencia el mapa de uso de suelo que se encuentra disponible en el portal de VIGEA (visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental) elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y delimitando para la zona de estudio se obtuvo el mapa de uso de suelo y con los tabla de datos de coeficientes de Kv que nos proporciona el método RAS se obtuvo un valor promedio de coeficiente de uso de suelo para la zona de la cuenca del río El Jute.

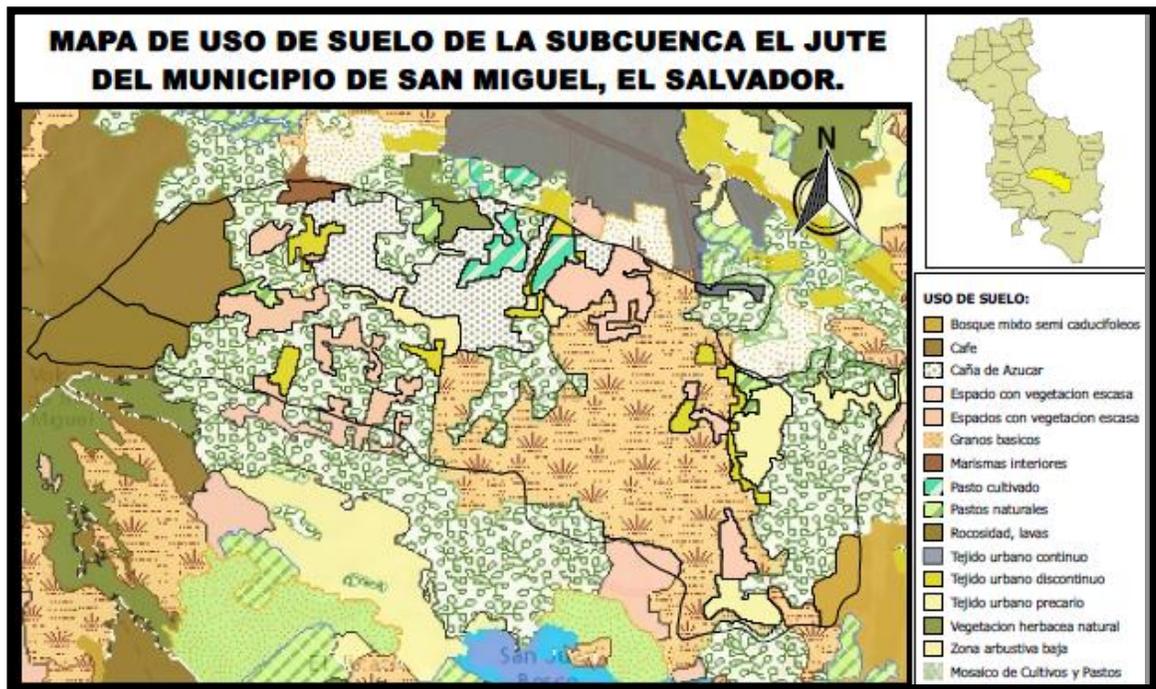


Figura 5.6. Mapa de uso de suelo para la zona de estudio

Se encontraron los diferentes usos de suelo que se dan en la zona y de la tabla de valores de coeficientes para cada uso de suelo se le asignó un valor para cada área, lo cual dio como resultado lo siguiente.

DETERMINACIÓN DEL Kv PARA LA CUENCA DEL RIO "EL JUTE"			
Uso de Suelo	Área (km ²)	Coefficiente de Kv	(Área × Kv)
Espacios con vegetación escasa	0.997802	0.2	0.20
Espacios con vegetación escasa	0.304641	0.2	0.06
Espacios con vegetación escasa	0.144757	0.2	0.03
Tejido urbano discontinuo	0.303102	0.3	0.09
Espacios con vegetación escasa	0.659408	0.2	0.13
Espacios con vegetación escasa	0.12707	0.2	0.03

Espacios con vegetación escasa	0.408071	0.2	0.08
Espacios con vegetación escasa	0.0696958	0.2	0.01
Espacios con vegetación escasa	0.0415147	0.2	0.01
Tejido urbano discontinuo	0.458147	0.3	0.14
Marismas interiores	0.377327	0.2	0.08
Pasto cultivado	0.761549	0.1	0.08
Vegetación herbácea natural	0.516489	0.2	0.10
Pastos naturales	0.276417	0.2	0.06
Zona arbustiva baja	0.739699	0.2	0.15
Caña de Azúcar	5.6133	0.1	0.56
Tejido urbano discontinuo	0.22126	0.3	0.07
Tejido urbano discontinuo	0.373686	0.3	0.11
Zona arbustiva baja	0.0520566	0.2	0.01
Zona arbustiva baja	0.146233	0.2	0.03
Pasto cultivado	0.461925	0.1	0.05
Tejido urbano discontinuo	0.0291502	0.3	0.01
Caña de Azúcar	0.316642	0.1	0.03
Espacio con vegetación escasa	0.0176108	0.2	0.00
Espacio con vegetación escasa	1.8763	0.2	0.38
Tejido urbano continuo	0.223351	0.3	0.07
Tejido urbano precario	1.28868	0.3	0.39
Tejido urbano precario	0.744096	0.3	0.22
Espacio con vegetación escasa	0.0747353	0.2	0.01
Tejido urbano discontinuo	0.209432	0.3	0.06
Tejido urbano discontinuo	0.122096	0.3	0.04
Pastos naturales	0.228996	0.2	0.05
Tejido urbano discontinuo	0.474519	0.3	0.14
Caña de Azúcar	0.0878453	0.1	0.01
Tejido urbano precario	0.713336	0.3	0.21
Espacio con vegetación escasa	0.527476	0.2	0.11
Granos básicos	0.356721	0.15	0.05

Bosque mixto semi caducifolios	0.836771	0.2	0.17
Espacio con vegetación escasa	0.187124	0.2	0.04
Granos básicos	18.5144	0.15	2.78
Espacio con vegetación escasa	0.287231	0.2	0.06
Roccosidad, lavas	2.76434	0.15	0.41
Café	3.66323	0.2	0.73
Pastos naturales	0.230827	0.2	0.05
Mosaico de cultivos y pasto	20.6709403	0.1	2.07
$A_T = 67.52694591$			$\sum 10.14$
$K_v = 0.15$			

Tabla 5.19. Valor del coeficiente K_v

Con todos los datos obtenidos se procede a calcular la recarga acuífera anual para el área de la cuenca del río El Jute

$$R = BC * C$$

BC = Balance climático

Sumando los coeficientes de infiltración:

$$C = k_{fc} + k_p + k_v$$

$$C = 0.12 + 0.37 + 0.15$$

$$C = 0.64$$

A continuación se muestra la tabla con los valores de recarga en mm/año desde el año 2005 hasta el año 2015 para la zona de estudio

BALANCE HIDRICO MEDIANTE EL METODO RAS PARA EL PERIODO DE 2005-2015, EN LA CUENCA EL JUTE, DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL						
AÑO	PRECIPITACION (mm)	BC (mm/año)	C	R (mm)	R (m ³)	ALMACENAMIENTO (m ³)
2005	1833.40	732.99	0.64	469.11	0.47	31677698.96
2006	1661.80	563.86	0.64	360.87	0.36	24368391.57
2007	1399.70	542.26	0.64	347.05	0.35	23434902.30
2008	1613.50	539.50	0.64	345.28	0.35	23315623.12
2009	1571.50	298.17	0.64	190.83	0.19	12886041.42
2010	1934.80	946.08	0.64	605.49	0.61	40886829.88
2011	1886.50	894.95	0.64	572.77	0.57	38677139.78
2012	1513.00	453.76	0.64	290.41	0.29	19610189.34
2013	1507.10	443.17	0.64	283.63	0.28	19152520.29
2014	1604.10	584.31	0.64	373.96	0.37	25252181.18
2015	1212.80	435.20	0.64	278.53	0.28	18808080.04
						25279054.35

Tabla 5.20. Resultados de la infiltración anual desde el año 2005 hasta el año 2015

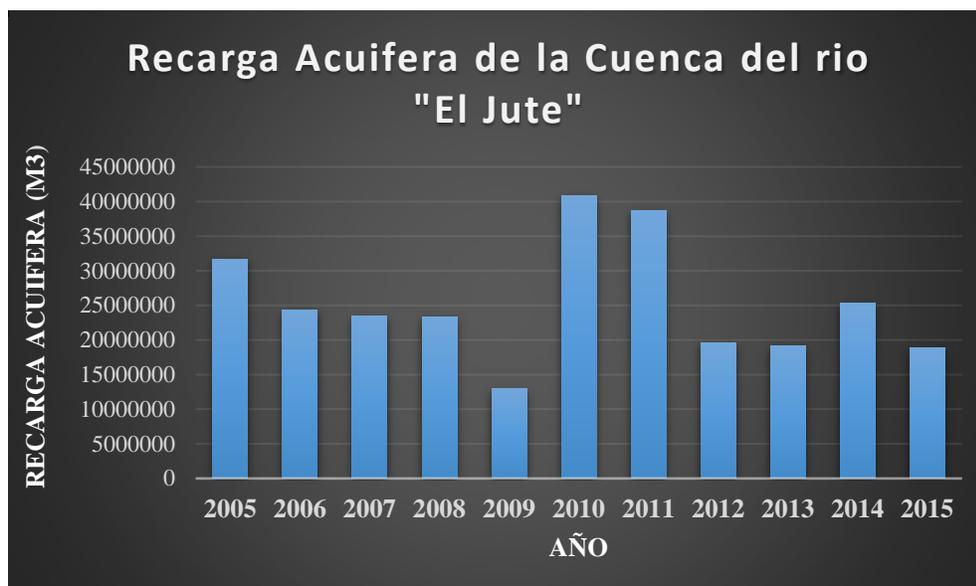


Grafico 5.1. Comportamiento de la recarga acuífera para la cuenca del río El Jute para el periodo de años 2005-2015

5. 8 CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO POR EL MÉTODO DE G. SHOSINSKY Y MARCELO LOSILLA.

5.8.1 ZONIFICACIÓN CUENCA EL JUTE

El área de estudio como las zonas circundantes de la cuenca en análisis ha sido simplificada dividiéndose en zonas, quince en particular, de manera de calcular la recarga hídrica potencial que aportan. En cada una de ellas se calculó la recarga mediante la determinación del balance hídrico. Para su división se consideró el tipo de material geológico predominante, las características de textura del suelo, y sobre todo su disposición en la zona de estudio. Sus características principales han sido las siguientes:

1. Zona I

Miembro s2. Este miembro geológico lo constituye una secuencia de rocas volcánicas básica intermedias, piroclastitas subordinadas. Su principal punto de localización es el Volcán de San Salvador, es cual es considerado como un estrato volcán compuesto, distinguiéndose la presencia de andesitas piroxénicas de estructura laminar con plagioclasas. Por otra parte, también se incluyen dentro de este miembro las coladas de lava andesíticas y basálticas de grano de fino o medio provenientes del centro de erupción del Volcán de San Salvador.

2. Zona II

Miembro s2. Al igual que la zona I la zona dos predomina el mismo miembro geológico.

3. Zona III

Miembro geológico predominante s3'a. Está constituido por epiclastitas volcánicas (tobas color café) con ciertas intercalaciones de capas de escoras negras y capas de suelos desarrollados en diferentes horizontes.

4. Zona IV

Miembro geológico predominante c2, este miembro se caracteriza por tener efusivas acidas e intermedias-acidas.

5. Zona V

Miembro geológico predominante c2, Al igual que la zona IV la zona cinco predomina el mismo miembro geológico.

6. Zona VI

Miembro geológico predominante c2, Al igual que las zonas IV y V la seis predomina el mismo miembro geológico.

7. Zona VII

Miembro geológico predominante c3, Este miembro se caracteriza por tener efusivas básicas-intermedias.

8. Zona VIII

Miembro geológico predominante c2, este miembro se caracteriza por tener efusivas acidas e intermedias-acidas.

9. Zona IX

Al igual que la zona I y II en la zona nueve predomina el mismo **miembro geológico s2.**

10. Zona X

Al igual que la zona I, II, IX en la zona diez predomina el mismo **miembro geológico s2**.

11. Zona XI

Al igual que la zona III en la zona Once predomina el mismo **miembro geológico s3'a**.

12. Zona XII

Miembro s2. Este miembro geológico lo constituye una secuencia de rocas volcánicas básica intermedias, piroclastitas subordinadas.

13. Zona XIII

Miembro Q'f. Depósitos sedimentarios del cuaternario

14. Zona XIV

Miembro s5'c. Este miembro lo constituyen una secuencia volcánica de ceniza y tobas de lapilli, que contienen en gran medida cristales menores de 0.5 mm de diámetro y el contenido de vidrio basáltico bajo, depositado por nube ardiente.

15. Zona XV

Miembro Q'f. Depósitos sedimentarios del cuaternario

La determinación de cada uno de los factores involucrados en el cálculo de la infiltración se realizó considerando:

El mapa de pendientes de la cuenca: a partir de la delimitación en el rango de pendientes y por áreas se determinó la pendiente predominante dentro de la cuenca de estudio.

Para la cuenca del río El Jute la pendiente predominante ronda valores mayores al 7% por lo que se determinó un valor de K_p para esta de 0.06 según se muestra en la tabla siguiente.

➤ **Pendiente (K_p)**

Pendiente	K_p
0.02% - 0.3%	0.3
0.3% - 1.0%	0.2
1% - 2%	0.15
2% - 7%	0.1
Mayor de 7%	0.06

Tabla 5.21. Valores de K_p según pendiente (Fuente Schosinsky, 1999)

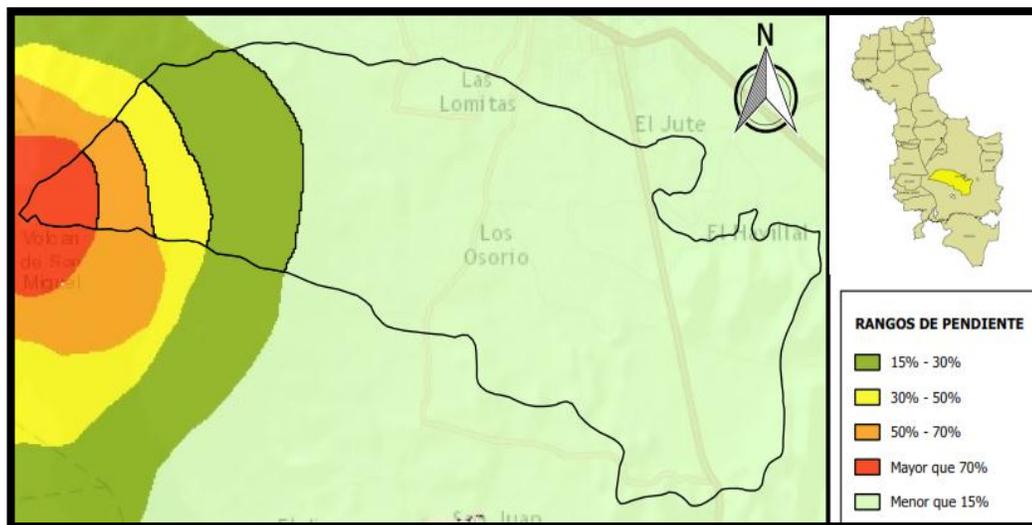


Figura 5.7 Mapa de pendientes de la cuenca el río El Jute.

➤ **Uso de suelo (K_v)**

La determinación del coeficiente de uso de suelo K_v surge a partir del mapa de uso de suelos de VIGEA, en el cual se genera una zonificación por miembros

geológicos a partir de la georeferenciación de estos en ArGIS y así poder calcular cuánto es el porcentaje de influencia de los diferentes usos que se le da al suelo dentro del área de estudio por zona ya previamente establecida y así poder cuantificar un Kv ponderado para poder llevar a cabo el balance hídrico.

En la siguiente tabla se puede apreciar cómo se cuantifico este Kv ponderado para la zona I que está constituida por un miembro geológico s2.

ZONA I (s2)			
Uso de Suelo	Kv	Área (km ²)	Kv * Área
Café	0.19	5.046711	0.95887509
Marismas interiores	0	0.377327	0
Espacio con vegetación escasa	0.2	2.23171	0.446342
Tejido urbano discontinuo	0.09	0.560428	0.05043852
Pastos naturales	0.1	0.230827	0.0230827
Caña de azúcar	0.1	1.90831	0.190831
Zona arbustiva baja	0.2	0.654632	0.1309264
Granos básicos	0.1	0.445939	0.0445939
Pastos cultivados	0.1	0.252595	0.0252595
Mosaico de cultivos y pastos	0.1	7.533002	0.7533002
	Kv		0.14

Tabla 5.22 Determinación de Kv por zonas

➤ **Tipo de suelo (Kfc)**

El mapa de índice Kfc, fue determinado a partir de la zonificación realizada considerando la capacidad de infiltración de los materiales presentes en la cuenca. La zonificación con base a los miembros geológicos facilito la determinación de los índices Kfc.

Parámetros por textura del suelo		
Miembro	Fc (mm/día)	Kfc
b1	45.00	0.2864
b3	45.00	0.2864
c1	280.00	0.7384
c2	45.00	0.2864
c3	45.00	0.2864
Q'f	280.00	0.7384
s1	280.00	0.7384
s2	1440.00	0.9970
s3'a	180.00	0.6358
s4	280.00	0.7384

Tabla 5.23. Parámetros por textura del suelo (Fuente: Duarte, 1998.)

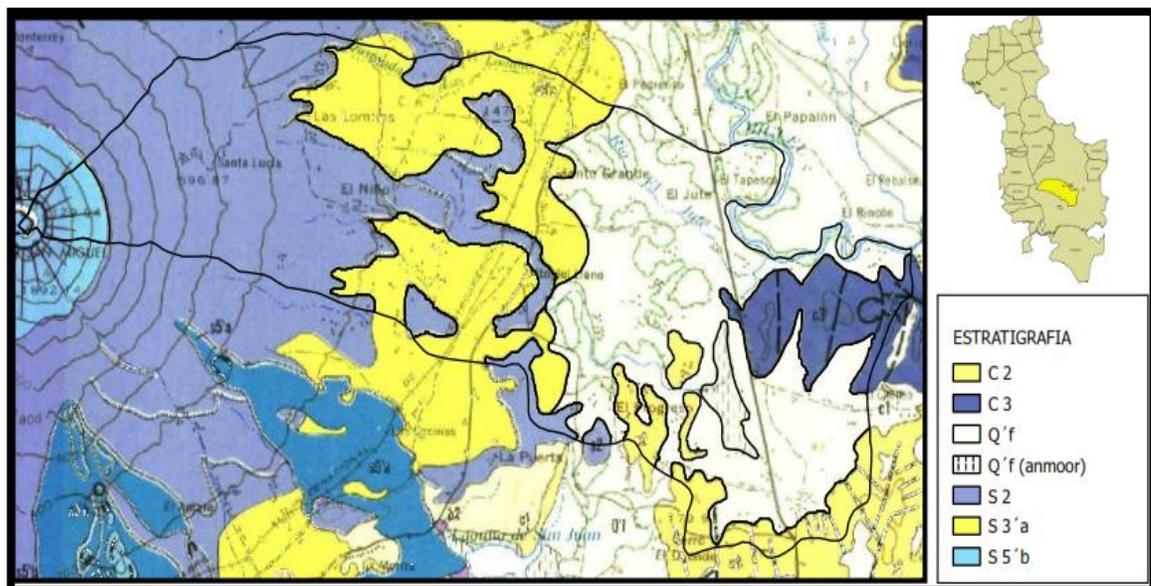


Figura 5.8 Geología presente en el área de estudio.

Una vez obtenido el valor de K_{fc} se determinó el coeficiente de infiltración “C” para cada una de las zonas establecidas para la realización del balance hídrico. La determinación “C” se realizó mediante la ecuación.

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

5.8.2 DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES (PR).

La determinación de la profundidad de la raíces se realiza a partir del mapa de uso de suelos de VIGEA, en el cual se genera una zonificación por miembros geológicos a partir de la georeferenciación de estos en ArGIS y así poder calcular cuánto es el porcentaje de influencia de los diferentes tipos de cultivos, vegetación, territorio urbano que existe dentro del área de estudio por zona ya previamente establecida y así poder cuantificar un PR ponderado.

En la siguiente tabla se puede apreciar cómo se cuantifico el PR ponderado para la zona I que está constituida por un miembro geológico s2.

ZONA I (s2)			
Uso de Suelo	Área (km ²)	PR(m)	PR * Área
Café	5.046711	0.60	3.03
Marismas interiores	0.377327	0.00	0.00
Espacio con vegetación escasa	2.23171	0.00	0.00
Tejido urbano discontinuo	0.560428	0.30	0.17
Pastos naturales	0.230827	0.60	0.14
Caña de azúcar	1.90831	1.50	2.86
Zona arbustiva baja	0.654632	0.60	0.39
Granos básicos	0.445939	0.60	0.27
Pastos cultivados	0.252595	0.60	0.15
Mosaico de cultivos y pastos	7.533002	0.60	4.52
		PR	0.6

Tabla 5.24 Determinación de la profundidad de raíces zona I

5.8.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAMPO (CC) Y PUNTO DE MARCHITEZ (PM).

Para la determinación de estas dos propiedades se utilizó los valores del cuadro siguiente, teniendo en cuenta la textura que presentaba el suelo en cada una de las diferentes zonas en las que se dividió el área de estudio.

TEXTURA	Punto de Marchitez (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Campo (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Agua Disponible (agua por pie de profundidad)		
	(%)	(Pulg)	(mm)	(%)	(Pulg)	(mm)	(%)	(Pulg)	(mm)
Arena media	1.7	0.3	7.62	6.8	1.2	30.48	5.1	0.9	22.86
Arena fina	2.3	0.4	10.16	8.5	1.5	38.1	6.2	1.1	27.94
Franco arenoso	3.4	0.6	15.24	11.3	2	50.8	7.9	1.4	35.56
Franco arenoso fino	4.5	0.8	20.32	14.7	2.6	66.04	10.2	1.8	45.72
Franco	6.8	1.2	30.48	18.1	3.2	81.28	11.3	2	50.8
Franco limoso	7.9	1.4	35.56	19.8	3.5	88.9	11.9	2.1	53.34
Franco arcilloso	10.2	1.8	45.72	21.5	3.8	96.52	11.3	2	50.8
Arcilloso	14.7	2.6	66.04	22.6	4	101.6	7.9	1.4	35.56

Tabla 5.25. Determinación de CC y PM según textura de suelo.

5.8.4 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE EN EL SUELO (DS)

Textura del suelo	Densidad Aparente (cm ³)
Litsoles (arena)	1.55 - 1.8
Andisoles (franco)	1.35 - 1.5
Latsoles arcillo rojizos (franco arcillosa)	1.3 - 1.4
Aluviales (franco arenoso)	1.4 - 1.6

Tabla 5.26 Densidad Aparente según textura de suelo.

5.8.5 APLICACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS GUNTER SCHOSINSKY.

La determinación de cada uno de los componentes que componen el balance hídrico mediante la metodología de Gunter Schosinsky se desarrolla de acuerdo a lo descrito en las ecuaciones que el autor propone para simplificar los cálculos nos apoyamos en una hoja de Excel para obtener con mayor rapidez los resultados de la recarga acuífera para la cuenca El Jute.

A continuación se presenta los resultados del balance hídrico para para la zona I.

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"					
Zona de Estudio: I			Miembro Geologico: s2		
Area: 19241481 M2					
Simbologia:					
fc: Capacidad de Infiltracion				P: Precipitacion Media Mensual	
I: Infiltracion				Pi: Precipitacion que infiltra	
CC: Capacidad de Campo				ESC: Escorrentia Superficial	
PM: Punto de Marchitez				ETP: Evapotranspiracion Portencial	
PR: Profundidad de Raices				ETR: Evapotranspiracion Real	
(CC-PM): Rango de Agua Disponible				Hsi: Humedad de Suelo Inicial	
DS: Densidad de Suelo				HD: Humedad Disponible	
C1: Factor de ETP				Hsf: Humedad de Suelo Final	
C2: Factor de ETP				DCC: Deficit de Capacidad de Campo	
Kp: Factor por pendiente				Rp: Recarga Potencial	
Kv: Factor por uso de suelo				NR: Necesidad de Riesgo	
Kfc: Factor por tipo de suelo				Ret: Retencion de Lluvia	
fc (mm/d)			1440		
Kp (%)			0.06	(%)	(mm)
Kv (%)			0.14	CC	11.3 108.48
Kfc (%)			0.997	PM	3.4 32.64
I (%)			1	CC-PM	7.9 75.84
DS (g/cm3)			1.6		
PR (mm)			600		
Hsi (mm)			108.48		
Nº de mes con que inicia Hsi			10		
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)			0.12		

Figura 5.9. Tabla con los valores para el cálculo del balance hídrico

Concepto	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.38	28.34	179.21	187.92	161.15	246.19	284.28	257.54	58.40	9.86	1414.27
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	35.36	32.63	32.63	32.06	24.87	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	907.48
C1	0.04	0.00	0.02	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.43
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	4.86
HD (mm)	2.72	0.00	1.37	27.76	171.44	263.76	236.99	322.03	360.12	333.38	134.24	76.27	1930.09
ETR (mm)	2.73	0.00	1.95	35.53	90.08	157.50	159.75	163.68	140.67	135.76	67.82	73.56	1029.01
Hsf (mm)	32.63	32.63	32.06	24.87	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	35.36	907.48
DCC (mm)	75.85	75.85	76.42	83.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.42	73.12	394.28
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	5.52	30.42	1.41	82.51	143.61	121.78	0.00	0.00	385.26
NR (mm)	225.61	236.00	268.98	240.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.24	146.68	1194.65

Tabla 5.27. Cuantificación del balance hídrico para la zona I

5.8.6 RECARGA ACUÍFERA POR EL MÉTODO DE GUNTER SCHOSINSKY

Con el procedimiento descrito anteriormente se procede al cálculo de las recargas potenciales para las zonas restantes, cuando se determinan cada una de las recargas potenciales se suman cada una de ellas para obtener la recarga potencial final de la cuenca el jute.

Recarga Potencial Acuífera Cuenca "El Jute", Mediante Método Gunter Schosinsky			
Zona	Área de la Zona (km ²)	Recarga Potencial (m ³)	Recarga Potencial * Área de la Zona (m ³)
1	19241481	0.38526	7412972.97
2	484614	0.38559	186862.3123
3	5468020	0.28095	1536240.219
4	844928	0.03391	28651.50848
5	246144	0.03483	8573.19552
6	408230	0.03483	14218.6509
7	3936936	0.18757	738451.0855
8	2232284	0.03751	83732.97284
9	145905	0.38591	56306.19855
10	561510	0.38591	216692.3241
11	9073680	0.1882	1707666.576
12	327613	0.38591	126429.1328
13	22412453	0.6136	13752281.16
14	1377120	0.0000	0.0000
15	850945	0.45864	390277.4148
		RPF Cuenca "El Jute" 26,259,355.72 m³	

Tabla 5.28. Datos de recarga potencial para todas las zonas del área de la cuenca El Jute.

5.9 DETERMINACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA MEDIANTE EL MAPA DE RECARGA ACUÍFERA DE EL SALVADOR

En el portal de VIGEA (visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental) elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), se encuentra el mapa de recarga de agua subterránea de El Salvador.

Delimitando el área de la cuenca del río El Jute se obtuvo el mapa de recarga acuífera para la cuenca. El cual muestra las diferentes zonas representadas por un color, cada color tiene asignado un rango de recarga, lo cual indica el promedio que se infiltra por zona.

El rango de infiltración que tiene asignado cada color en el mapa de recarga acuífera de El Salvador está dado en mm/año

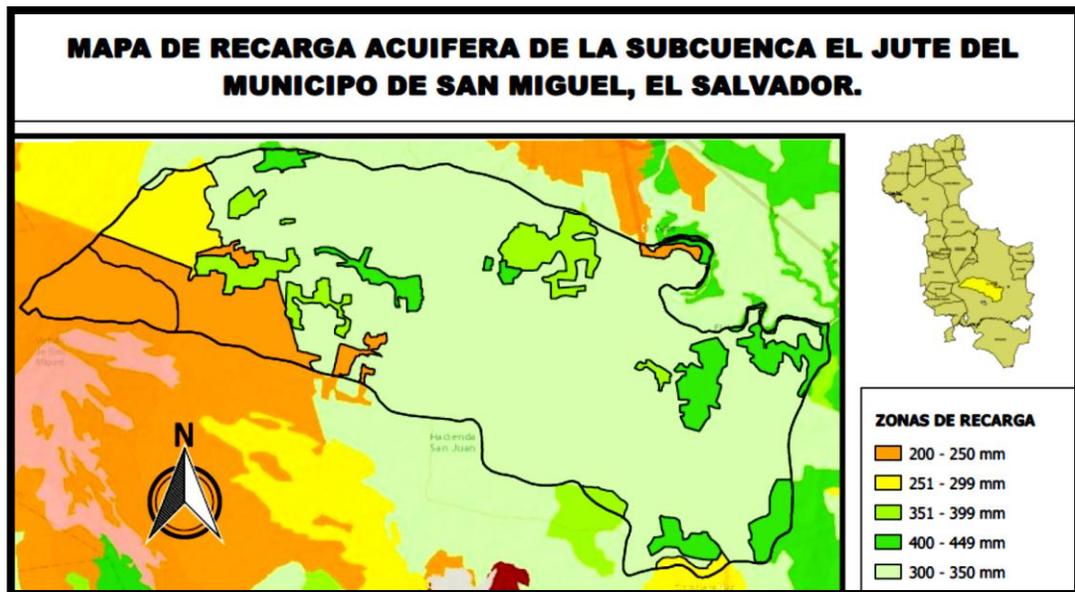


Figura 5.10 Mapa de recarga acuífera para el área de la cuenca E Jute.



Figura 5.11. Rangos de infiltración para la zona según el mapa de VIGEA

El siguiente cuadro muestra las condiciones de factor de recarga para la zona tanto la condición favorable, desfavorable y el valor medio.

Factor de Recarga Cuenca El Jute			
Color	Favorable	Desfavorable	Valor Medio
Naranja	250	200	225.00
Amarillo	299	251	275.00
Verde claro	399	351	375.00
Verde	449	400	424.50
Verde agua	350	300	325.00

Tabla 5.29. Factor de recarga para la cuenca El Jute

A continuación se muestra el cuadro con las diferentes zonas y áreas con su respectivo valor de infiltración, para este caso se presentan los valores de recarga con la condición más favorable del área de estudio

Factor Más Favorable				
Numero	Área (km ²)	Color	Promedio (mm/año)	Recarga (mm/km ² /año)
1	7.00825	naranja	250	1752.0625
2	2.81961	amarillo	299	843.06339
3	0.346158	naranja	250	86.5395
4	0.0510723	naranja	250	12.768075
5	0.556559	verde claro	399	222.067041
6	0.651688	verde	449	292.607912
7	0.899243	verde claro	399	358.797957
8	0.251058	naranja	250	62.7645
9	0.0251894	verde claro	399	10.0505706
10	0.26791	verde claro	399	106.89609
11	0.354131	verde	449	159.004819
12	1.71831	verde claro	399	685.60569
13	0.12903	verde	449	57.93447
14	0.0386281	verde	449	17.3440169
15	1.17503	verde	449	527.58847
16	0.148585	verde claro	399	59.285415
17	1.02065	verde	449	458.27185
18	0.0106897	verde	449	4.7996753
19	0.0525993	verde	449	23.6170857
20	0.81896	verde	449	367.71304
21	0.637597	verde	449	286.281053
22	0.275915	amarillo	299	82.498585
23	0.270769	verde claro	399	108.036831
24	0.226463	naranja	250	56.61575
25	0.147452	verde	449	66.205948
26	0.0333846	verde	449	14.9896854
27	47.5917806	Verde Agua	350	16657.12321

$A_T = 67.526712 \text{ km}^2$		$\sum 23380.53313$
Recarga ($\text{m}^3/\text{año}$) = 23380533.13		

Tabla 5.30. Valores de recarga acuífera condición más favorable

En el siguiente cuadro se ha considerado el valor promedio en el rango de infiltración para cada una de las zonas de recarga como se muestra a continuación.

El Factor Medio Favorable				
Numero	Área (km^2)	Color	Promedio (mm/año)	Recarga ($\text{mm}/\text{km}^2/\text{año}$)
1	7.00825	naranja	225	1576.85625
2	2.81961	amarillo	275	775.39275
3	0.346158	naranja	225	77.88555
4	0.0510723	naranja	225	11.4912675
5	0.556559	verde claro	375	208.709625
6	0.651688	verde	424.5	276.641556
7	0.899243	verde claro	375	337.216125
8	0.251058	naranja	225	56.48805
9	0.0251894	verde claro	375	9.446025
10	0.26791	verde claro	375	100.46625
11	0.354131	verde	424.5	150.3286095
12	1.71831	verde claro	375	644.36625
13	0.12903	verde	424.5	54.773235
14	0.0386281	verde	424.5	16.39762845
15	1.17503	verde	424.5	498.800235
16	0.148585	verde claro	375	55.719375
17	1.02065	verde	424.5	433.265925

18	0.0106897	verde	424.5	4.53777765
19	0.0525993	verde	424.5	22.32840285
20	0.81896	verde	424.5	347.64852
21	0.637597	verde	424.5	270.6599265
22	0.275915	amarillo	275	75.876625
23	0.270769	verde claro	424.5	114.9414405
24	0.226463	naranja	225	50.954175
25	0.147452	verde	424.5	62.593374
26	0.0333846	verde	424.5	14.1717627
27	47.5917806	Verde Agua	325	15467.3287
$A_T = 67.526712 \text{ km}^2$				$\sum 21715.28541$
Recarga ($\text{m}^3/\text{año}$) = 21715285.41				

Tabla 5.31. Valores de recarga acuífera condición más favorable

Y por último se realizó para la condición más desfavorable como se muestra a continuación.

El Factor Más Desfavorable				
Numero	Área	Color	Promedio (mm/año)	Recarga (mm/km ² /año)
1	7.00825	naranja	200	1401.65
2	2.81961	amarillo	251	707.72
3	0.346158	naranja	200	69.23
4	0.0510723	naranja	200	10.21
5	0.556559	verde claro	351	195.35
6	0.651688	verde	400	260.68
7	0.899243	verde claro	351	315.63
8	0.251058	naranja	200	50.21
9	0.0251894	verde claro	351	8.84

10	0.26791	verde claro	351	94.04
11	0.354131	verde	400	141.65
12	1.71831	verde claro	351	603.13
13	0.12903	verde	400	51.61
14	0.0386281	verde	400	15.45
15	1.17503	verde	400	470.01
16	0.148585	verde claro	351	52.15
17	1.02065	verde	400	408.26
18	0.0106897	verde	400	4.28
19	0.0525993	verde	400	21.04
20	0.81896	verde	400	327.58
21	0.637597	verde	400	255.04
22	0.275915	amarillo	251	69.25
23	0.270769	verde claro	351	95.04
24	0.226463	naranja	200	45.29
25	0.147452	verde	400	58.98
26	0.0333846	verde	400	13.35
27	47.5917806	Verde Agua	300	14277.53
$A_T = 67.526712 \text{ km}^2$			Recarga ($\text{m}^3/\text{año}$) = 20023231.55	

Tabla 5.32. Valores de recarga acuífera condición más desfavorable

5.10 EXPLOTACIÓN ACUÍFERA DE LA CUENCA EL JUTE

5.10.1 VOLUMEN DE AGUA EXTRAÍDA

En la siguiente tabla se presentan los datos de extracción acuífera estimada anual, de los pozos más representativos de uso industrial, artesanal, agrícola, recreativo y de abastecimiento domestico de la cuenca El Jute.

CÁLCULO DE VOLUMENES DE AGUA EXTRAÍDOS EN CUENCA EL JUTE					
N°	Entidad	Caudal Extraído (GPM)	Tiempo de Explotación (h/día)	Tiempo de Explotación (min/día)	Volumen Anual (Galones)
1	Manantial "Monte Grande"	772	24	1440.00	405,763,200.00
2	Manantial "El Borbollón"	1,105	24	1440.00	580,788,000.00
3	Blanca Isabel Campos	0.18	4	240.00	15,768.00
4	Francisco Canales	0.10	4	240.00	8,760.00
5	Polideportivo Don Bosco 1	14.00	8	480.00	2,452,800.00
6	Polideportivo Don Bosco 2	14.00	8	480.00	2,452,800.00
7	Polideportivo Don Bosco 3	138.00	8	480.00	24,177,600.00
8	Turicentro "Aventura del Mono"	133.69	8	480.00	23,422,488.00
9	José Jorge Cañas	0.11	3	180.00	7,227.00
10	Comunidad la Divina Providencia	0.25	4	240.00	21,900.00
11	Carmen Chávez	0.14	4	240.00	12,264.00
12	Centro Escolar Monte Grande	4.29	8	480.00	751,608.00
13	Centro Escolar Hacienda la Divina Providencia	0.89	8	480.00	155,928.00
14	María del Carmen Ochoa	0.10	3	180.00	6,570.00
15	Rubén Eduardo Benítez	0.16	4	240.00	14,016.00
16	María Elena Argueta Chacón	0.14	5	300.00	15,330.00
17	Estación de bombeo El Jute ANDA 1	285.00	20	1200.00	124,830,000.00
18	Estación de bombeo El Jute ANDA 2	349.00	20	1200.00	152,862,000.00
19	Pozo 1 Ingenio Chaparrastique	900.00	12	720.00	236,520,000.00
20	Pozo 2 Ingenio Chaparrastique	900.00	12	720.00	236,520,000.00
21	Pozo 3 Ingenio Chaparrastique	700.00	12	720.00	183,960,000.00
22	Universidad de El Salvador FMO	50.00	8	480.00	8,760,000.00
23	Universidad de El Salvador FMO 2	250.00	8	480.00	43,800,000.00
24	Urbanización Villas Deportivas	19.75	20	1200.00	8,650,500.00
25	Hacienda "La Ceiba"	404.31	8	480.00	70,835,112.00
26	Hacienda "El Mono"	508.50	8	480.00	89,089,200.00
27	Hacienda "La Divina Providencia"	590.63	8	480.00	103,478,376.00
28	Hacienda "El Progreso"	390.50	8	480.00	68,415,600.00
29	Hacienda "Mi Ranchito"	998.79	8	480.00	174,988,008.00
VOLÚMEN DE AGUA TOTAL EXTRAÍDA EN LA CUENCA DEL RIO EL JUTE (GALONES)					2,542,775,055.00
VOLÚMEN DE AGUA TOTAL EXTRAÍDA EN LA CUENCA DEL RIO EL JUTE (m³)					9,624,403.58

Tabla 5.33. Tabla con el volumen total de agua extraída en la cuenca El Jute.

5.10.2 PROYECCIÓN DE EXTRACCIÓN DE AGUA

Con el resultado obtenido de la extracción de agua en el acuífero de la cuenca El Jute que es de 9,624,403.58 m³, y tomando en cuenta que en el inventario realizado no se tomaron la mayoría de pozos de uso artesanal se le da factor de seguridad del 10% para el primer año y con esto cubrir esa extracción no considerada.

Para realizar la demanda se consideró un aumento en la demanda poblacional del 5% para la ciudad de San Miguel según DIGESTYC por año durante un periodo de 10 años y manteniendo constante la salida de caudal por parte de los manantiales existentes que se estima en unos 3,739,029.048 m³ al año en la cuenca el jute se procede a cuantificar la demanda por cada año.

PROYECCIÓN DE LA EXPLOTACIÓN	
Año	Caudal de Explotación (m ³)
2016	10586843.94
2017	10929234.68
2018	11271625.43
2019	11614016.17
2020	11956406.92
2021	12298797.66
2022	12641188.41
2023	12983579.15
2024	13325969.89
2025	13668360.64
2026	14010751.38

Tabla 5.34. Caudales proyectados de explotación

5.10.3 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA EL JUTE

Con todos los datos ya obtenidos de volumen de agua extraído y de la recarga que se da en el área se procede a realizar el balance hídrico y se realiza con los datos obtenidos de los 3 métodos de recarga como se presenta a continuación en la siguiente tabla.

Determinación del Balance Hídrico			
Método de Estimación Recarga Acuífera	Recarga Acuífera (m³)	Extracción (m³)	BH (m³)
Metodología RAS	25279054.35	14010751.38	11268303
Metodología Gunter Schosinsky	26259355.72	14010751.38	12248604.3
Recarga acuífera por área	20118696.29	14010751.38	6107944.91

Tabla 5.35. Tabla con los valores de le determinación del balance hídrico.

5.10.4 ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA EXTRACCIÓN RESPECTO A LA RECARGA ACUÍFERA.

Considerando el aumento en la extracción para un periodo de 10 años podemos calcular cuánto sería el porcentaje de influencia que esta extracción tendría en la recarga acuífera estimada, manteniendo esta constante, es decir tendríamos la misma tendencia en la condiciones climatológicas, uso de suelo y pendiente dentro de nuestro área de estudio a continuación se muestra cual sería el porcentaje de influencia para el año 2026 de la extracción en la cuenca el jute.

Metodología de Evaluación Hídrica	Almacenamiento (m ³)	Proyección de Extracción (m ³)	% De Influencia Respecto a la Recarga
RAS	25279054.35	14010751.38	55.42%
Gunter Schosinsky	26259355.72	14010751.38	53.36%
Mapa de Recarga Acuífera de El Salvador	20023231.55	14010751.38	69.97%

Tabla 5.36, Proyección de la influencia de la extracción respecto a la recarga acuífera para el año 2026.

5.11 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS GENERADOS EN LA CUENCA EL JUTE POR MEDIO DE UNA MATRIZ

La matriz de evaluación de impacto desarrollada emplea parámetros cualitativos de actividades de producción, extracción y contaminación que se pueden apreciar en la zona de estudio, para poder estimar las condiciones de influencia que estas actividades están generando en el curso natural de la cuenca el Jute y que tienen gran influencia en la recarga del acuífero subterráneo.

El rango de asignación para calificar el impacto de una actividad dentro de la zona de interés va desde irrelevante hasta crítica, es decir, desde los niveles donde el efecto de la actividad puede ser irrelevante y reversible naturalmente hasta aquellas actividades que generan impactos severos y críticos que requieren de la intervención, ejecución y monitoreo de ciertas medidas y obras civil para su respectiva compensación, mitigación o reversión de los efectos provocados al medio natural.

En la siguiente tabla se presenta la evaluación del impacto que se genera en la cuenca del río El Jute.

IMPACTO		USO DE PESTICIDAS PARA EL CULTIVO (MAÍZ, FRIJOL, CAÑA DE AZÚCAR)	DESCARGAS DE RESIDUOS INDUSTRIALES	DEFORESTACIÓN EN LA CUENCA	USO DE LETRINA DE HOYO SECO	DESCARGAS DE AGUAS NEGRAS	IMPERMEABILIZACIÓN DE ÁREAS QUE IMPIDEN LA INFILTRACIÓN	EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO
ATRIBUTO DEL IMPACTO								
CARÁCTER DEL IMPACTO NATURALEZA		-	-	-	-	-	-	-
EFECTO	EFFECTO SECUNDARIO						1	
	EFFECTO DIRECTO	4	4	4	4	4		4
MAGNITUD/ INTENSIDAD	BAJA							
	MEDIA BAJA							
	MEDIA ALTA							
	ALTA				4		4	
	MUY ALTA		8	8		8		8
	TOTAL	12						
EXTENSIÓN	IMPACTO PUNTUAL						1	
	IMPACTO PARCIAL		2	2	2	2		
	IMPACTO EXTENSO							4
	IMPACTO TOTAL	8						
MOMENTO	INMEDIATO		4			4		4
	CORTO PLAZO	4		4				
	MEDIANO PLAZO				2		2	
	LARGO PLAZO							
PERSISTENCIA	FUGAZ							
	TEMPORAL	2	2	2	2	2		2
	PERMANENTE						4	
REVERSIBILIDAD	CORTO PLAZO							
	MEDIANO PLAZO	2	2	2	2	2		2

	IRREVERSIBLE						4	
RECUPERABILIDAD	TOTAL E INMEDIATA							
	TOTAL O A MEDIANO PLAZO				2			
	PUEDA SER PARCIAL (MITIGACIÓN)	4	4	4		4		4
	SI ES RECUPERABLE						8	
ACUMULACIÓN	NO EXISTEN				1		1	
	EXISTEN	4	4	4		4		4
PERIODICIDAD	EFFECTOS CONTINUOS	4	4	4		4	4	
	EFFECTOS PERIÓDICOS				2			2
	EFFECTOS DISCONTINUOS							

Tabla 5.37. Matriz de la evaluación de impacto en la cuenca El Jute

Importancia del Impacto

Conesa Fernández Vítora expresan la “importancia del impacto” a través de:

$I = \pm (3 \text{ Intensidad} + 2 \text{ Extensión} + \text{Momento} + \text{Persistencia} + \text{Reversibilidad} + \text{Sinergismo} + \text{Acumulación} + \text{Efecto} + \text{Periodicidad} + \text{Recuperabilidad})$.

Los valores de Importancia del Impacto varían entre 13 y 100. Se los clasifica como:

- **Irrelevantes (o compatibles)** cuando presentan valores menores a 25.
- **Moderados** cuando presentan valores entre 25 y 50.
- **Severos** cuando presentan valores entre 50 y 75.
- **Críticos** cuando su valor es mayor de 75.

De la tabla de la evaluación de impactos se clasifico la importancia del impacto desde irrelevantes, moderado, severo y crítico, a continuación se muestra un cuadro con los resultados obtenidos para cada impacto en el área de la cuenca los cuales dieron los siguientes resultados.

IMPACTO	IMPORTANCIA	CLASIFICACION DE LA IMPORTANCIA	
Uso de pesticidas para el cultivo (maíz, frijol, caña de azúcar)	72	Severa	
Descargas de residuos industriales	52	Severa	
Deforestación en la cuenca	52	Severa	
Uso de letrina de hoyo seco	31	Moderado	
descargas de aguas negras	52	Severa	
Impermeabilización de áreas que impiden la infiltración	38	Moderado	
Explotación del acuífero	54	Severo	

Tabla 5.38. Valores de los impactos encontrados en la evaluación de la matriz de impacto en la cuenca El Jute

De estos resultados obtenidos se realizó un mapa de vulnerabilidad para el área de la cuenca del río “El Jute” como se muestra a continuación:

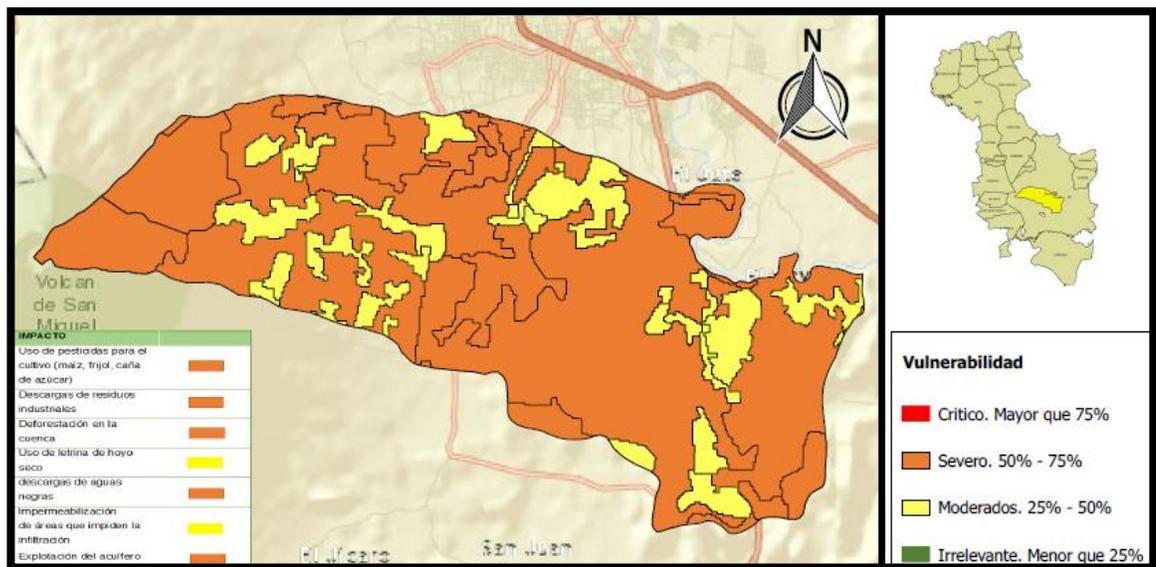
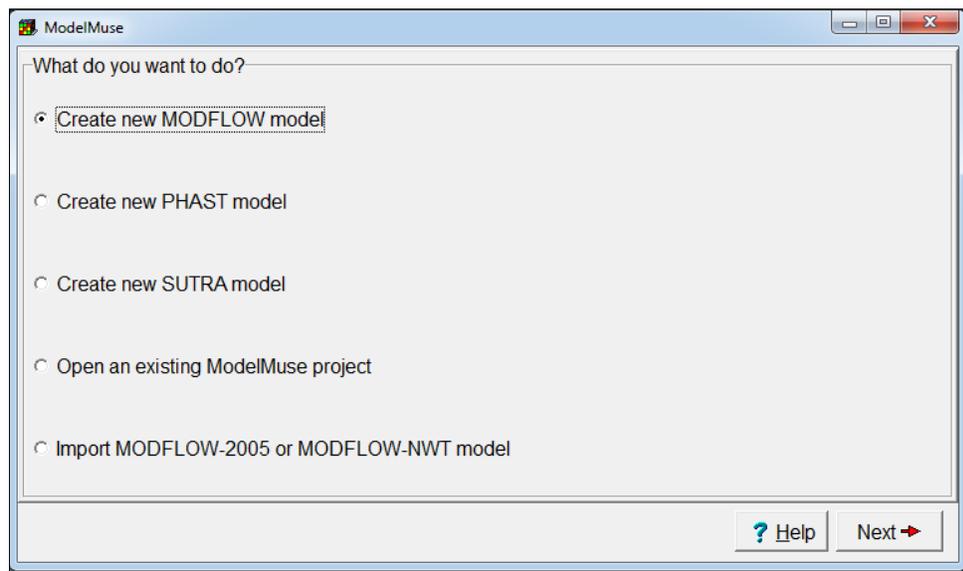


Figura 5.12. Mapa de vulnerabilidad en el área de estudio

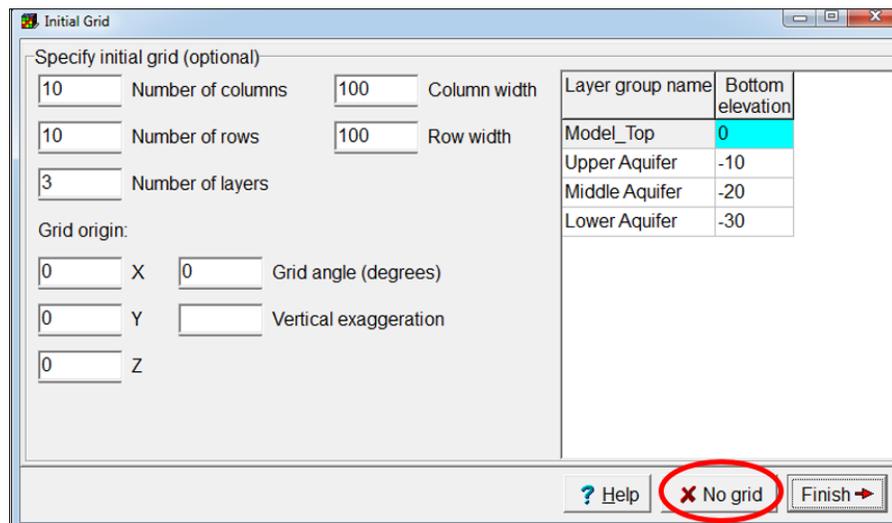
5.12 MODELAMIENTO DEL ACUÍFERO DE LA CUENCA EL JUTE

Para modelar el acuífero se utilizó el programa MODFLOW a través de su extensión MODEL MUSE, el cual se utiliza para modelar acuíferos subterráneos, además de sus extensiones MODFLOW-NWT, entre otros. Las unidades utilizadas para este programa son las del Sistema Internacional (metros y segundos), así como también se utilizan datos de precipitación y evapotranspiración anuales del área de interés, la secuencia de pasos a seguir es la siguiente:

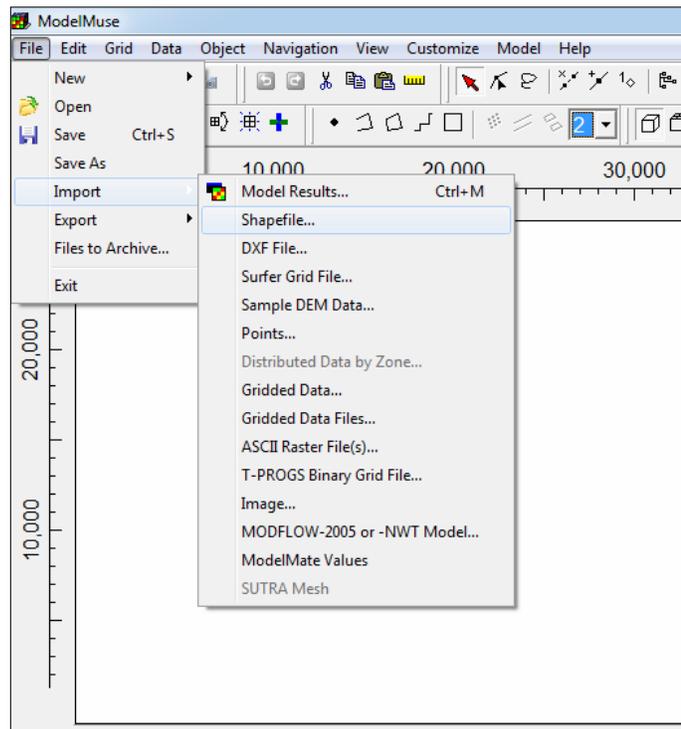
Se abre MODEL MUSE, cuando se inicia el programa se selecciona la opción “crear nuevo modelo MODFLOW”,



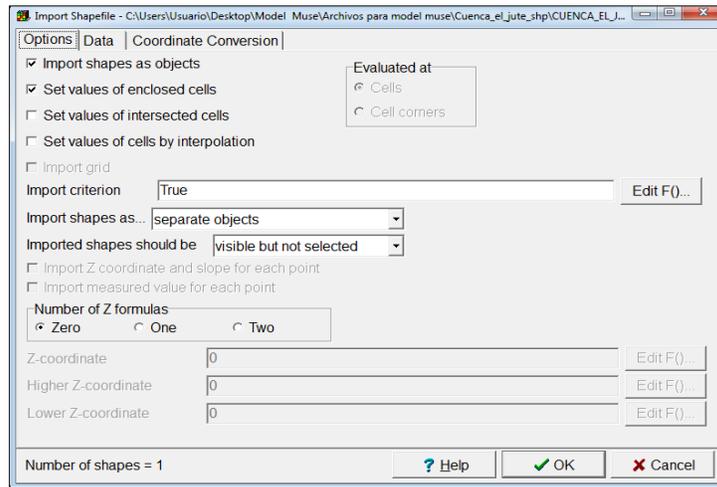
En seguida el software solicita que se ingresen datos sobre la cuadrícula como número de columnas, filas, capas y sus espesores; así como también coordenadas de origen de la cuadrícula a utilizar como referencia espacial para los objetos (drenajes, área tipográfica de interés, etc.) que se incluirán en el modelo. Para el caso mostrado en este trabajo de investigación se seleccionó la opción “Sin Cuadrícula”, puesto que estos datos se introducirán de manera diferente sobre la capa donde está situada la cuenca en estudio.



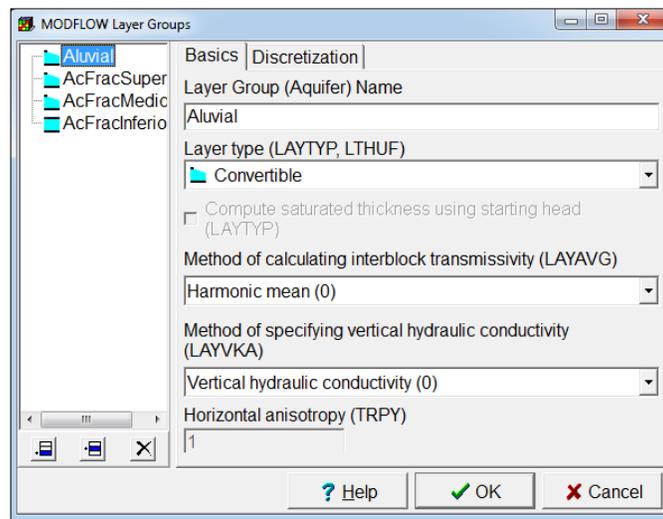
Seguidamente se procede a insertar el archivo “SHP” que contiene la cuenca, se da clic en “archivo” → “importar” → “Shapefile” en la ventana emergente se busca el archivo “SHP” correspondiente a la cuenca sobre la que se modelará el acuífero.



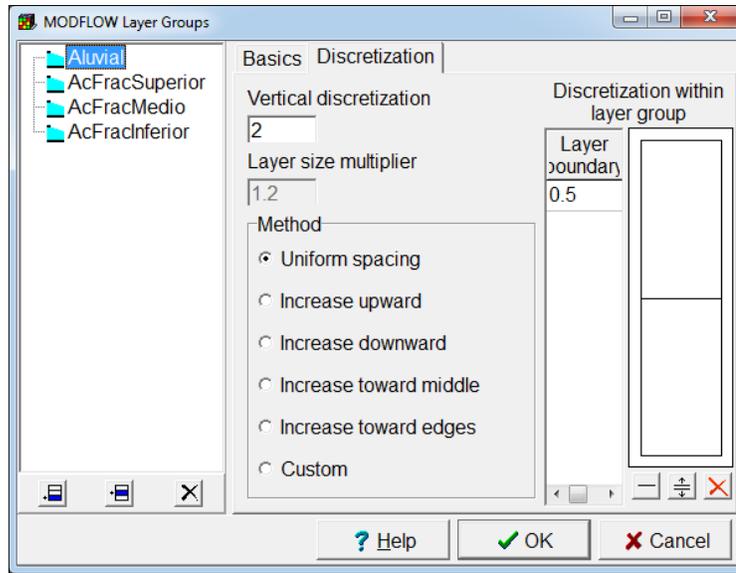
Inmediatamente se despliega un cuadro de diálogo con diversas opciones; sin embargo para este caso solo se seleccionan la opciones “Importar capas como objetos”, “Establecer valores de celdas cerradas”, “Cero fórmulas en Z”, luego de verificar dichas opciones, se da clic en “OK”.



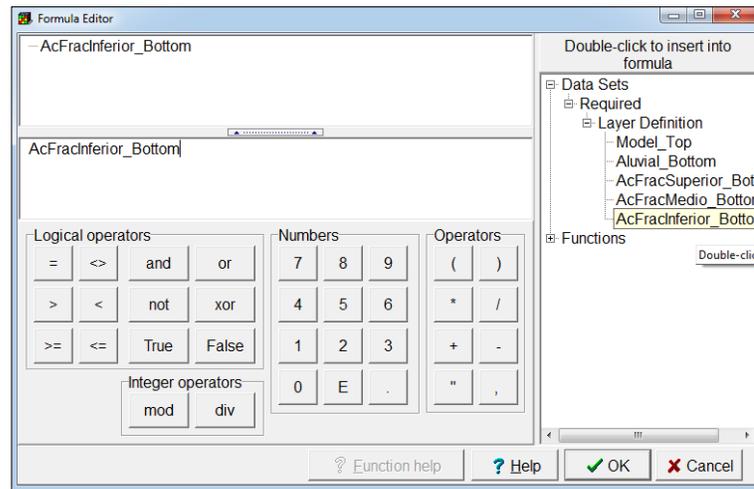
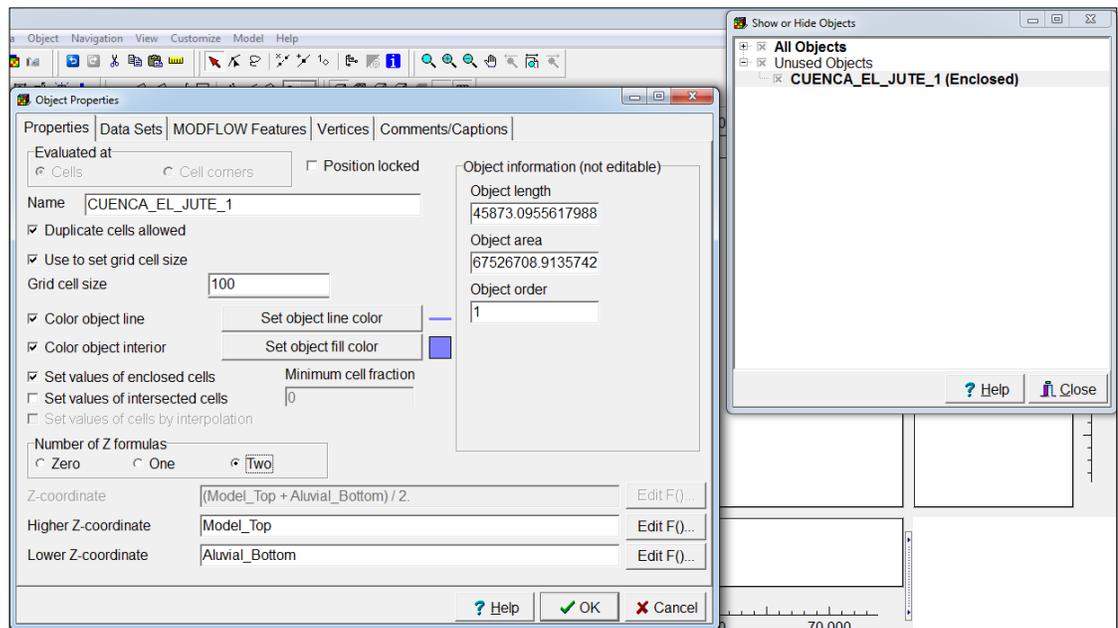
En seguida se da clic en “Modelo” y después en “MODFLOW Grupos de Capas”, en la ventana emergente se puede observar que únicamente hay tres capas en el modelo mediante el botón “agregar capa” () , esta opción será utilizada dependiendo el número de capas que tendrá el modelos, luego se cambia el nombre a cada una de ellas para identificarlas en las próximos pasos a seguir, las primeras tres capas del acuífero deben seleccionarse como “convertibles” puesto que estas capas corresponden a un acuífero libre, después se da clic en la primera capa del modelo.



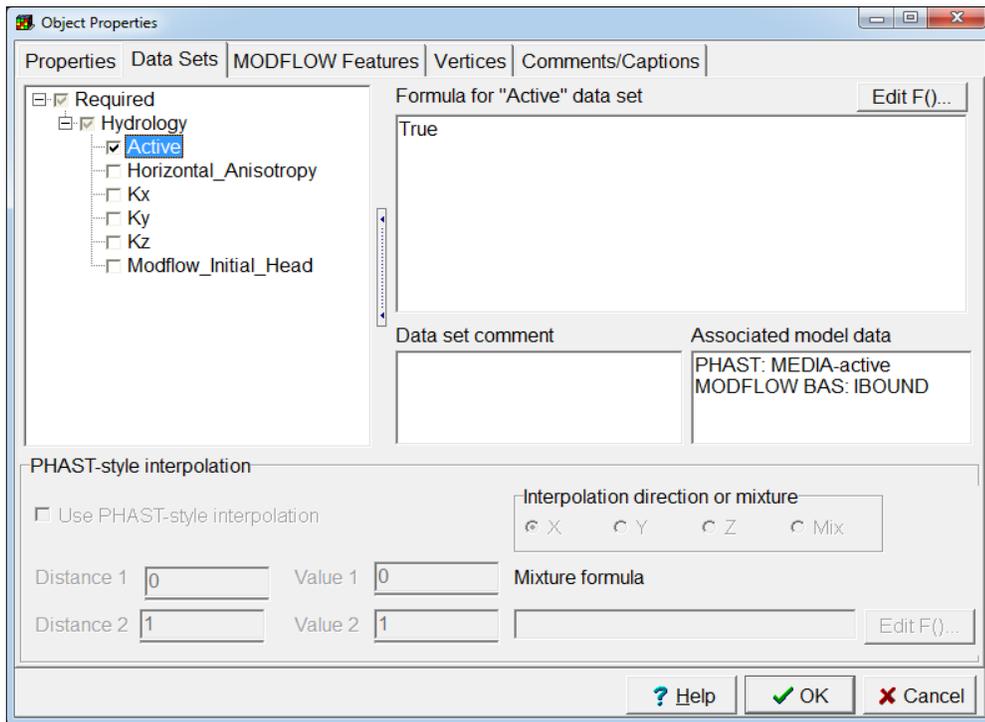
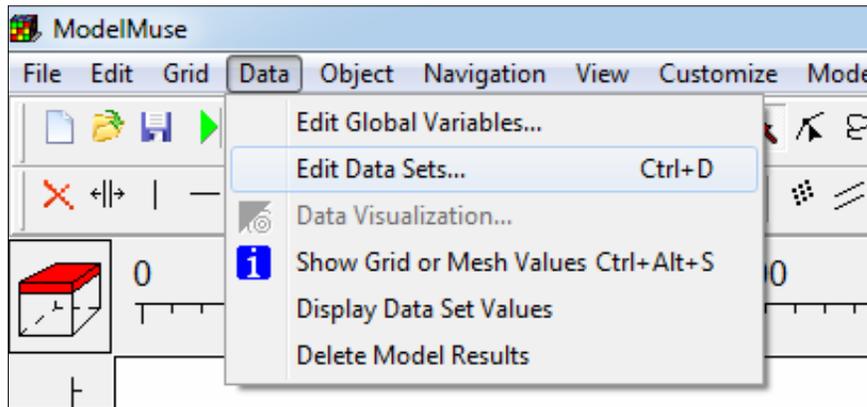
Luego dirigirse a la opción “Discretización” y seleccionar “2 capas”, finalmente para este paso solo hay que asegurarse que la capa inferior corresponda a un acuífero confinado y dar clic en “OK”.



Seguidamente, dar clic en el botón “Mostrar u ocultar objetos” (), al hacerlo se despliega una ventana, se extiende la opción “Objetos no utilizados” y se da doble clic en el nombre de la capa de la cuenca que se insertó en el primer paso, en la opción “Número de fórmulas Z” seleccionamos “Dos” y en la opción que dice “Coordenada Z más baja” dar clic en “Editar Fórmula”, a continuación emerge una ventana y se tiene que expandir “Configuraciones de Datos” → “Requerido” → “Definición de capa” y se da doble clic en el nombre de la capa inferior que anteriormente se había establecido como “confinada”, luego clic en “OK”, automáticamente regresa a “propiedades del objeto”, seleccionar “Usar configuración de tamaño de celda” esto permitirá establecer un tamaño determinado a conveniencia del usuario, además al seleccionar “Color de línea de objeto” y “Color interno del objeto” se puede asignar un color a la cuenca insertada en el modelo.

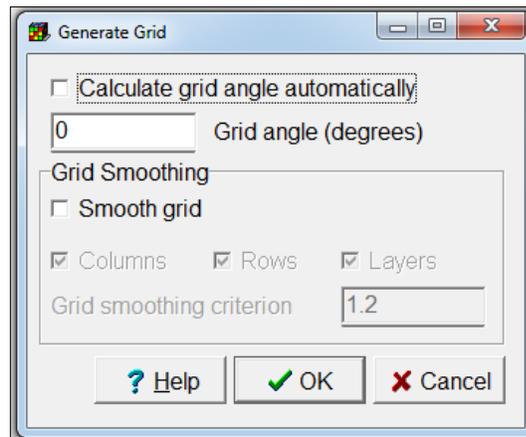


Luego de esto se debe dar clic en “Configuración de datos” expandir “Requerido” → “Hidrología” → seleccionar “Activo” y en el espacio a la derecha verificar que este situada la palabra “Verdadero”, una vez realizados estos paso se procede a dar clic en “OK”

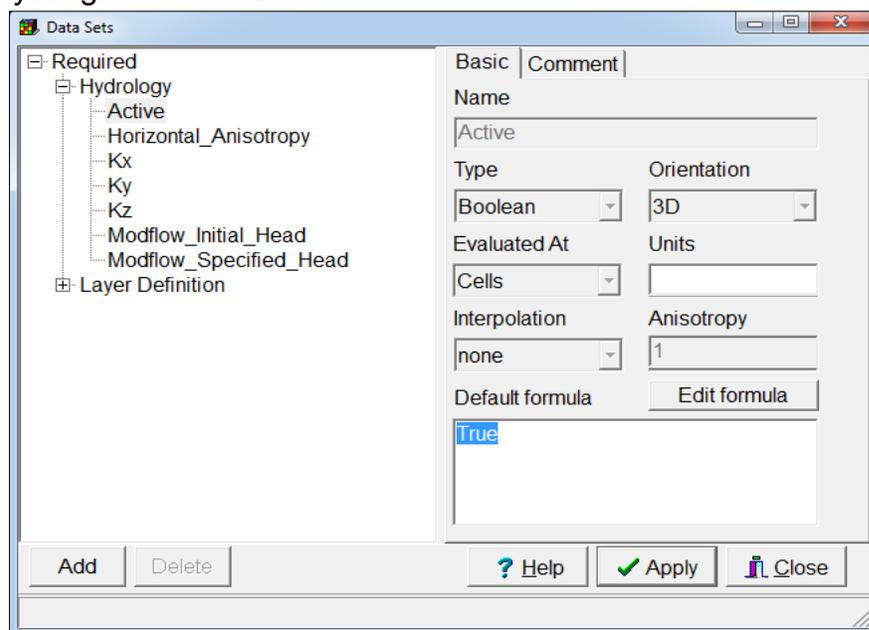


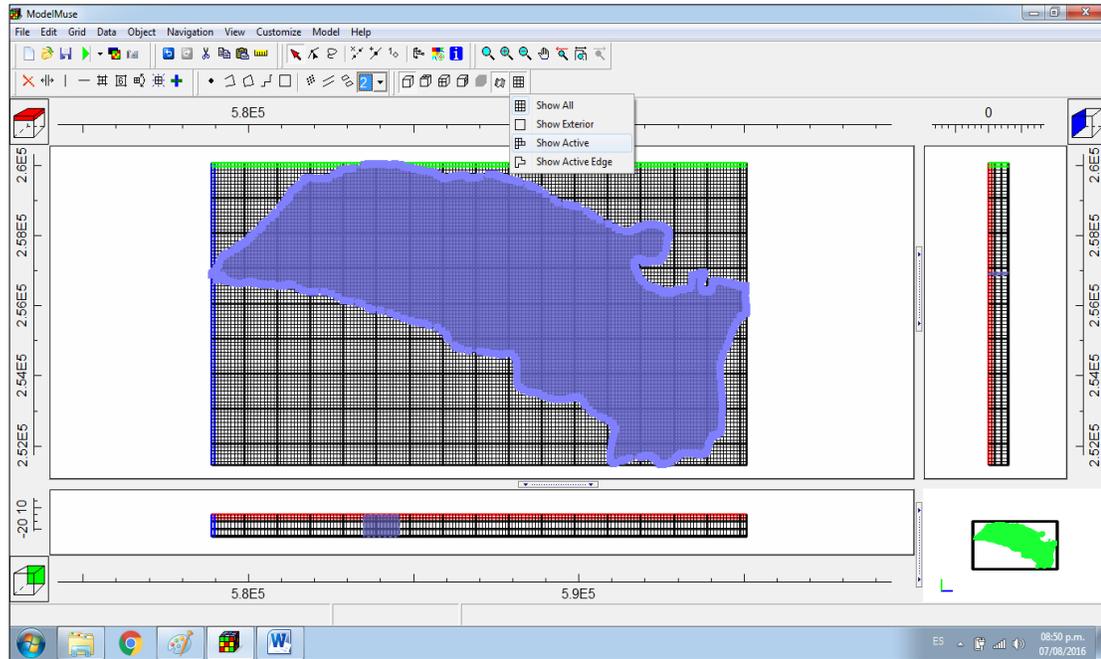
Hasta este punto la cuenca y la cuadrícula no son visibles aún, para poder visualizarlos se deberá dar clic en el botón “Generar cuadrícula” () , en la ventana emergente se tendrá que deseleccionar la opción “Calcular ángulo de

cuadrícula automáticamente”, luego dar clic en “OK”. En ese momento la cuadrícula y la cuenca serán visibles.



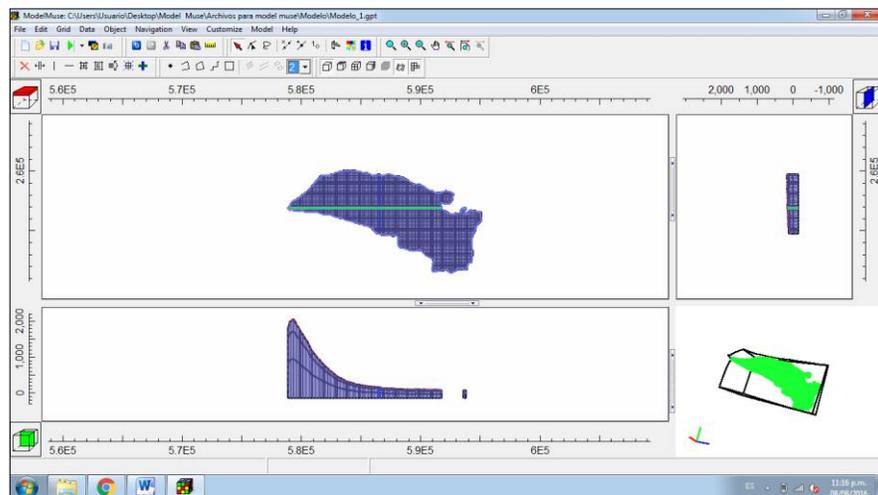
Continuando con el modelamiento del acuífero, dar clic en “Datos” → “Editar Configuración de Datos”, en la ventana “configuración de datos” se deberá extender la opción “Requerido” → “Hidrología” luego dar clic en “Activo” y en el espacio en blanco que se visualiza en la parte inferior derecha de la ventana emergente cambiar la palabra “Verdadero” por “Falso”, en seguida dar clic en “Aplicar” y luego en “Cerrar”.





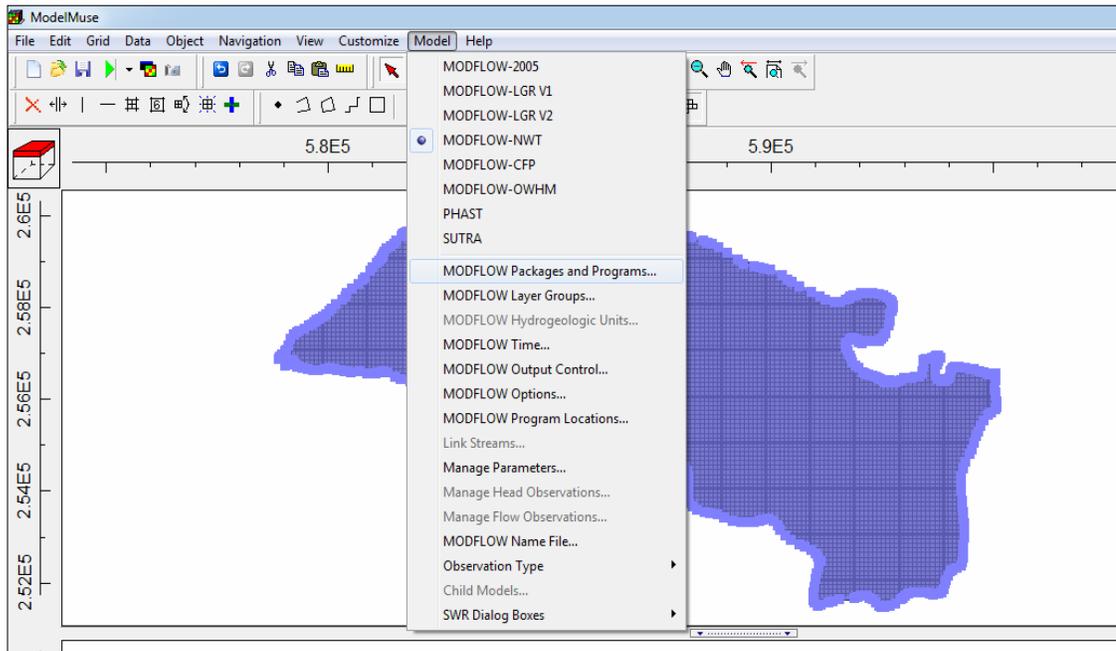
Se podrá observar que la cuadrícula sobresale de la silueta de la cuenca.

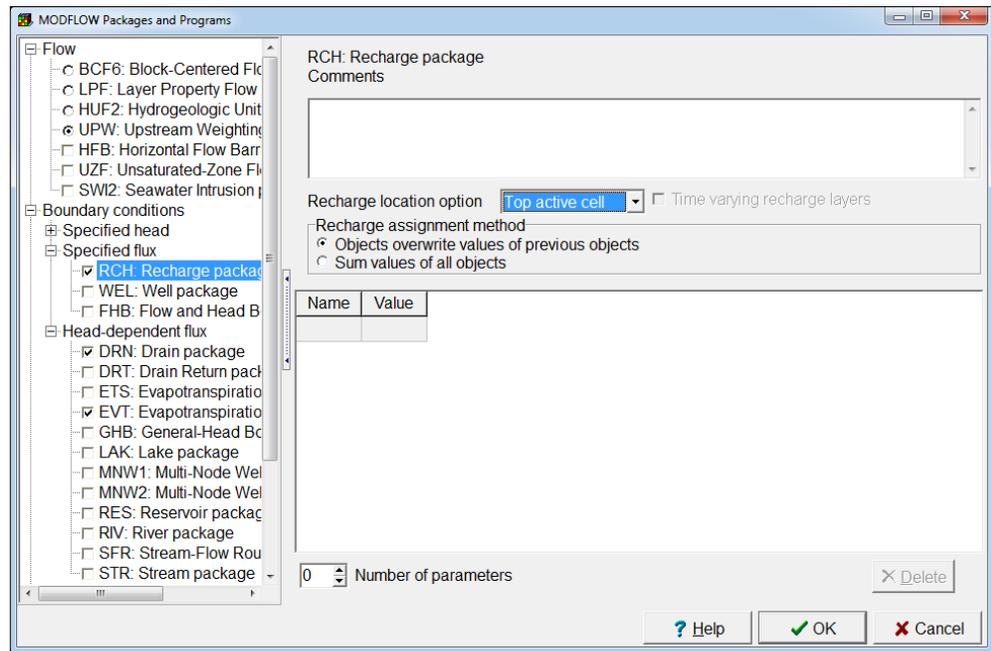
Para ajustar la cuadrícula dentro de la cuenca se deberá dar clic en el botón “Mostrar u Ocultar líneas de cuadrícula en 2D” () → “Mostrar Activos”, de inmediato la cuadrícula se visualizará únicamente dentro del perímetro de la cuenca.



A continuación, se debe dar clic en el menú “Modelo”, luego dirigirse y dar clic en la opción “MODFLOW-NWT”, enseguida se despliega un mensaje que advierte que se deberán cambiar algunos detalles en la opción “Paquetes y Programas MODFLOW”, dar clic en “OK”.

Entonces se deberá dar clic nuevamente en el menú “Modelo” → “Paquetes y Programas MODFLOW”, en el cuadro que se despliega, extender la opción “Flujo” y seleccionar la opción “UPW: Upstream Weighting Package”, seguidamente extender la opción “Condiciones de Borde” así como también “Flujo Especificado” y seleccionar “RCH: Paquete de Recarga”, en este punto también se deberá cambiar la “Opción Ubicación de la Recarga” y desplegar las opciones para seleccionar “Celdas Activas de la Parte Superior”, luego extender “Flujo Dependiente Principal” y seleccionar las opciones “DRN: Drenaje”, así como también “EVT: Evapotranspiración”, por último se deberá dar clic en el botón “OK”.

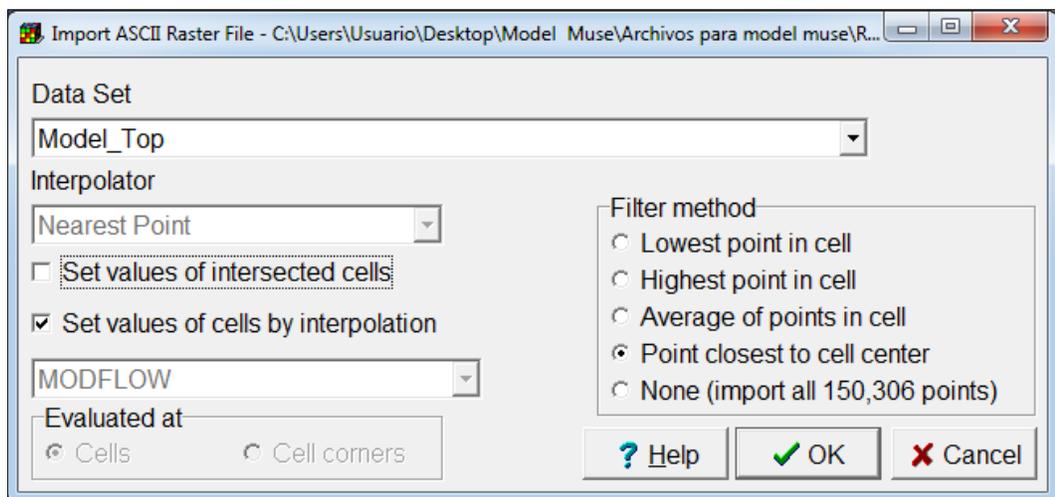
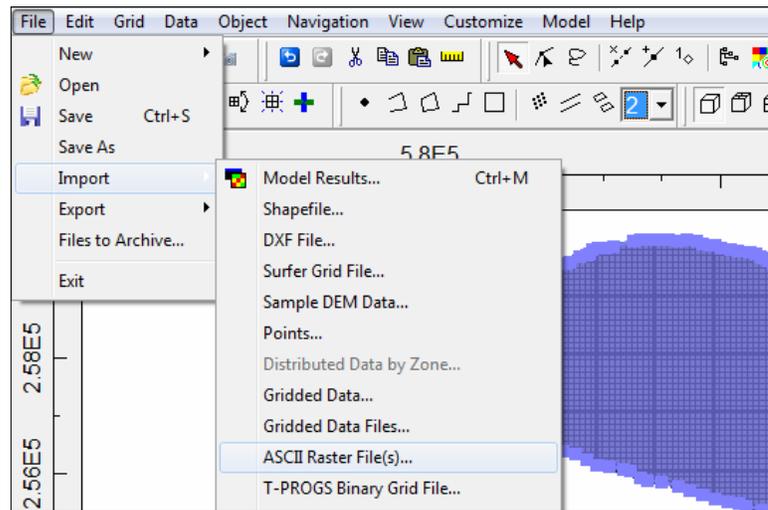




En este punto ya se tiene cargado el archivo de la cuenca con sus respectivas propiedades hidrológicas o condiciones de borde, pero realmente con esto solo podrá visualizarse en dos dimensiones, en los siguientes pasos se observará como cargar el archivo que dará las propiedades hipsométricas y permitirá el modelamiento del acuífero en tres dimensiones.

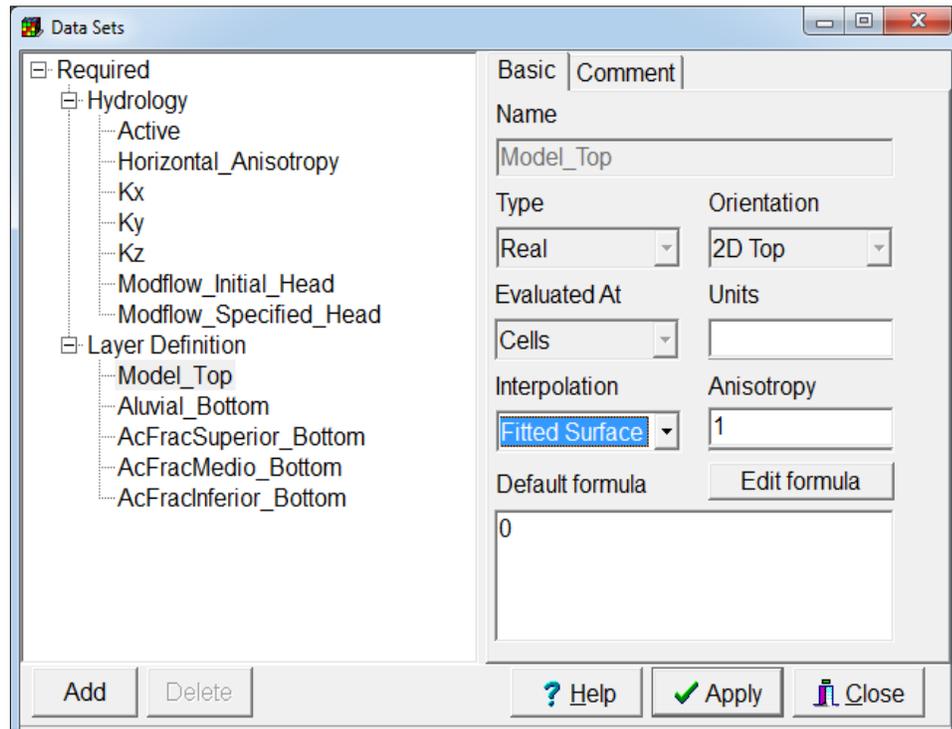
De igual manera como se insertó el archivo que contenía la cuenca se insertará el archivo “txt” o “ASC” para dar elevaciones al dibujo, primero clic en “archivo” → “importar” → “ASCII Raster file” y dirigirse donde se tiene guardado este tipo de archivo correspondiente a una imagen “DEM”, seleccionarlo y luego dar clic en “abrir”, de inmediato emergerá una ventana en la cual se deberán desplegar las opciones de “Configuración de Datos” y seleccionar “Parte Superior del Modelo”; con esto lo que se pretende es que el relieve que formará el archivo a cargar sea formado en la parte superior del modelo; en cuanto a la opción “Método de Filtro” seleccionar la opción “Puntos más cercanos al centro de la

celda”, también deberá seleccionarse “Establecer valores de celdas por interpolación”, dar clic en “OK”.



Una vez cargado el archivo “txt” o “ASC” se debe regresar a editar las propiedades de las capas dando clic en “Datos” → “Editar Configuración de Datos”, en la ventana “configuración de datos” se deberá extender la opción

“Requerido” → “Definición de capas” luego dar clic en “Parte superior del Modelo” y en la casilla “Interpolación” desplegar las opciones y seleccionar “Superficie Recortada”, luego de ello se tendrá que definir los espesores para cada estrato o capa del modelo, según se tenga conocimiento de estos datos se irán modificando cada uno de ellos dando clic a cada nombre de capa y colocar su profundidad en la parte inferior derecha del cuadro de diálogo mostrado; para finalizar esta parte de la configuración se debe dar clic en el botón “Aplicar” y después en “Cerrar”.

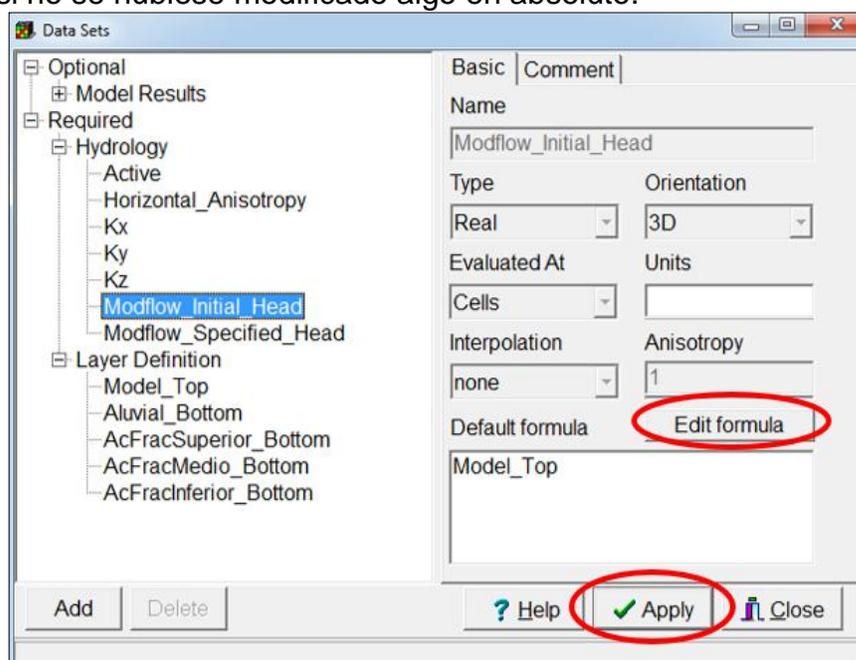


En caso que las vistas lateral como frontal se vean muy desproporcionadas o “alargadas” se podrán modificar dando clic en el menú “Ver” luego clic en “Exageración Vertical” y asignar el valor más conveniente a la vista que se requiera. También podrían no verse, en tal caso es necesario oprimir el botón

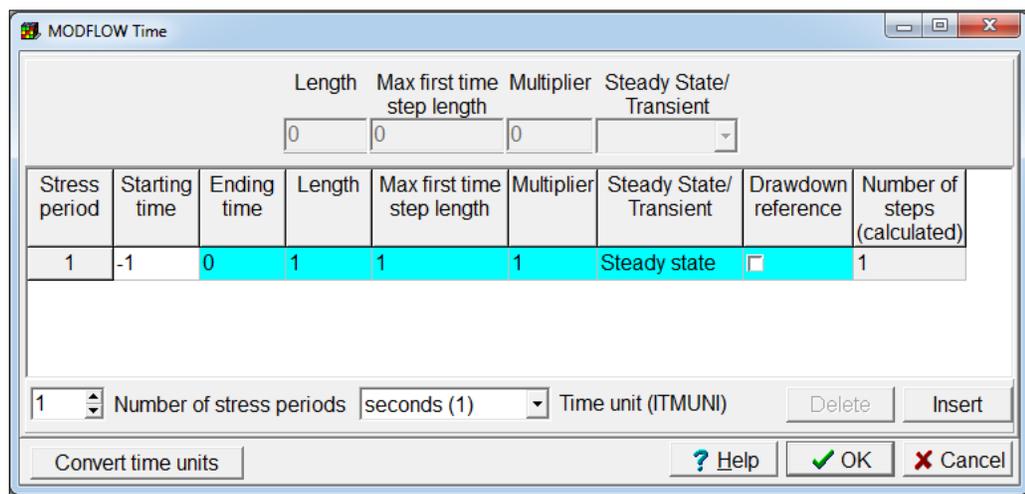
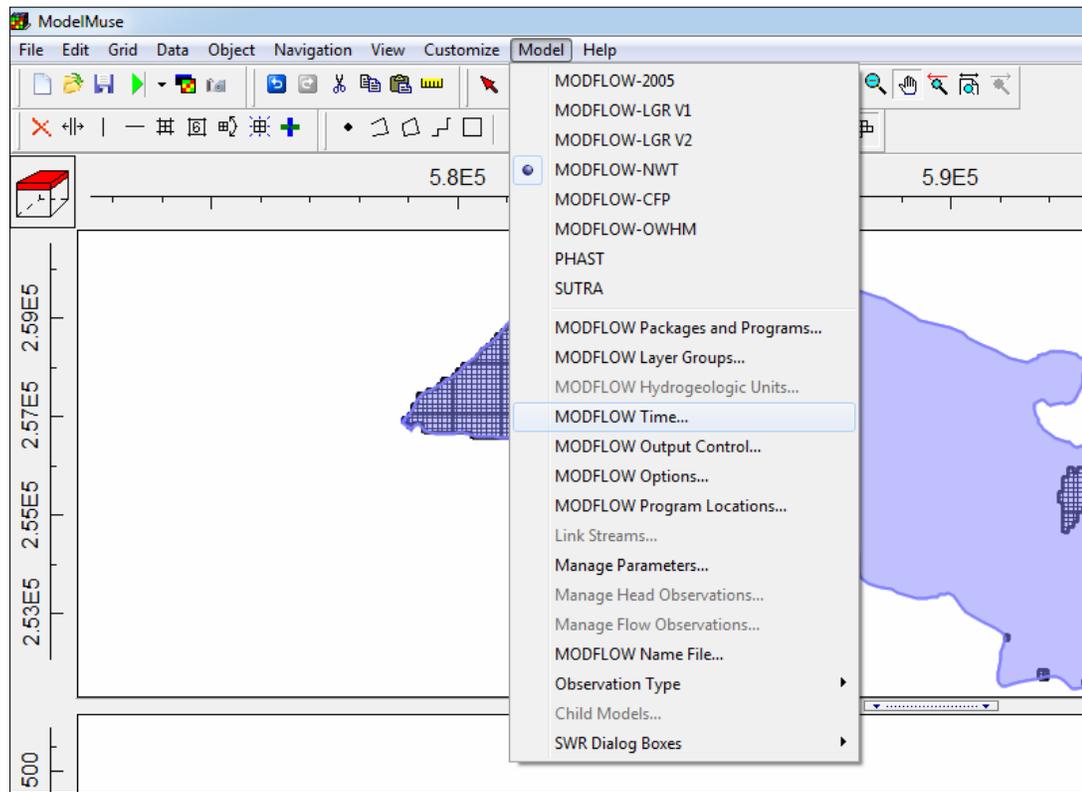
“Restaurar vista 2D por defecto” () para visualizarlos nuevamente con el zoom por defecto.

Para definir los factores hidrológicos que intervienen en el proceso de recarga del acuífero se deberán seguir los pasos siguientes:

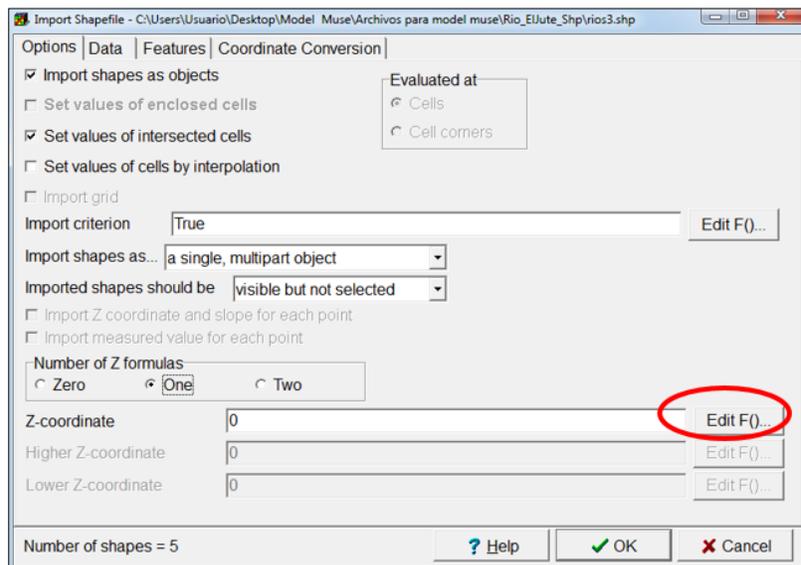
Dar clic en “Datos” → “Editar Configuración de Datos”, en la ventana “configuración de datos” se deberá extender la opción “Requerido” → “Hidrología”, luego dar clic en “Kx” (Coeficiente de almacenamiento del suelo) y de esta manera se asigna dicho valor en la parte inferior derecha de la ventana emergente o también puede asignarse una fórmula lógica, según conveniencia del usuario, después de definir este parámetro se tendrá que dar clic en “MODFLOW Initial Head”, por defecto el programa le asigna el valor de “0” pero este deberá cambiarse, puesto que si se deja con ese valor al ejecutar el modelo éste identificará que no hay agua, se cambiará dicho valor dando clic en “Editar Fórmula” y luego doble clic en “Parte Superior del Modelo”, por último se deberá dar clic en “Aplicar” y luego en “Cerrar”, se debe tener precaución de hacerlo en esa secuencia siempre, puesto que si se da clic primero en “Cerrar” es como si no se hubiese modificado algo en absoluto.

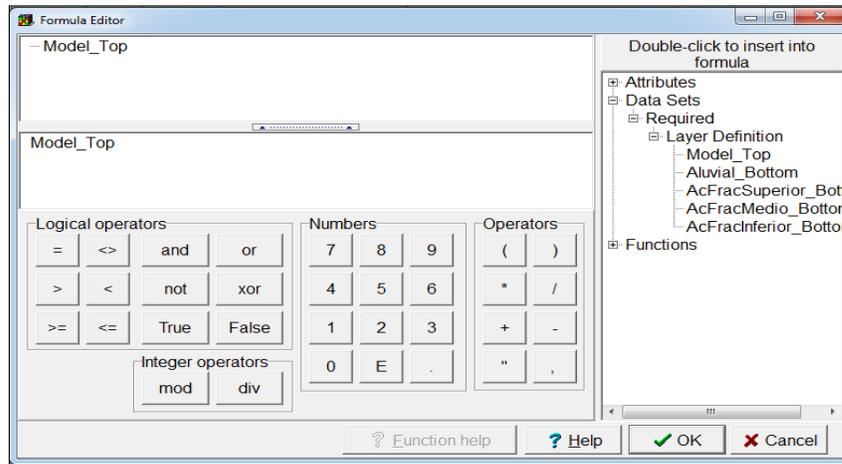


Seguidamente se debe dar clic en el menú “Modelo”, luego clic en “tiempo MODFLOW”, verificar que el “tiempo inicial” sea -1 y el “tiempo final deberá ser “0”.

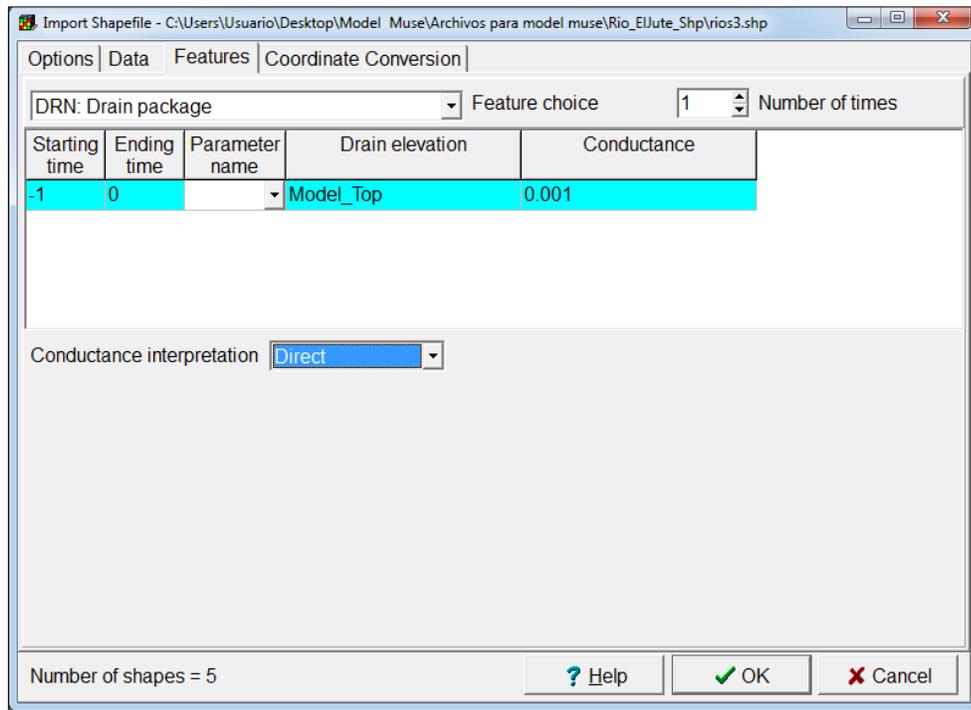


Luego de esto el modelo está listo para insertarle el archivo “SHP” que contiene los drenajes de la cuenca, que para este caso es el río El Jute, que es el principal río que sirve de drenaje de la cuenca conduciendo el agua hacia el río Grande de San Miguel donde descarga toda el agua que escurre superficialmente de la cuenca. Para ello se da clic en “archivo” → “importar” → “Shapefile” en la ventana emergente se busca el archivo “SHP” correspondiente a la red de drenaje (ríos) que se superpondrá sobre el acuífero, inmediatamente se despliega un cuadro de diálogo con diversas opciones; sin embargo para este caso solo se seleccionan las opciones “Importar capas como objetos”, “Establecer valores de celdas intersectadas”, en el espacio correspondiente a “Importar Capa como:” se tienen que desplegar las opciones y seleccionar “Uno solo, Objeto de Múltiples Partes”; además seleccionar “Una fórmula en Z”, luego en la parte derecha de la “Coordenada en Z” dar clic en “Editar Fórmula” y seleccionar “Parte Superior del Modelo” con ello se garantizará que la capa de los ríos sea colocada sobre la superficie del modelo y conserve las propiedades hipsométricas.



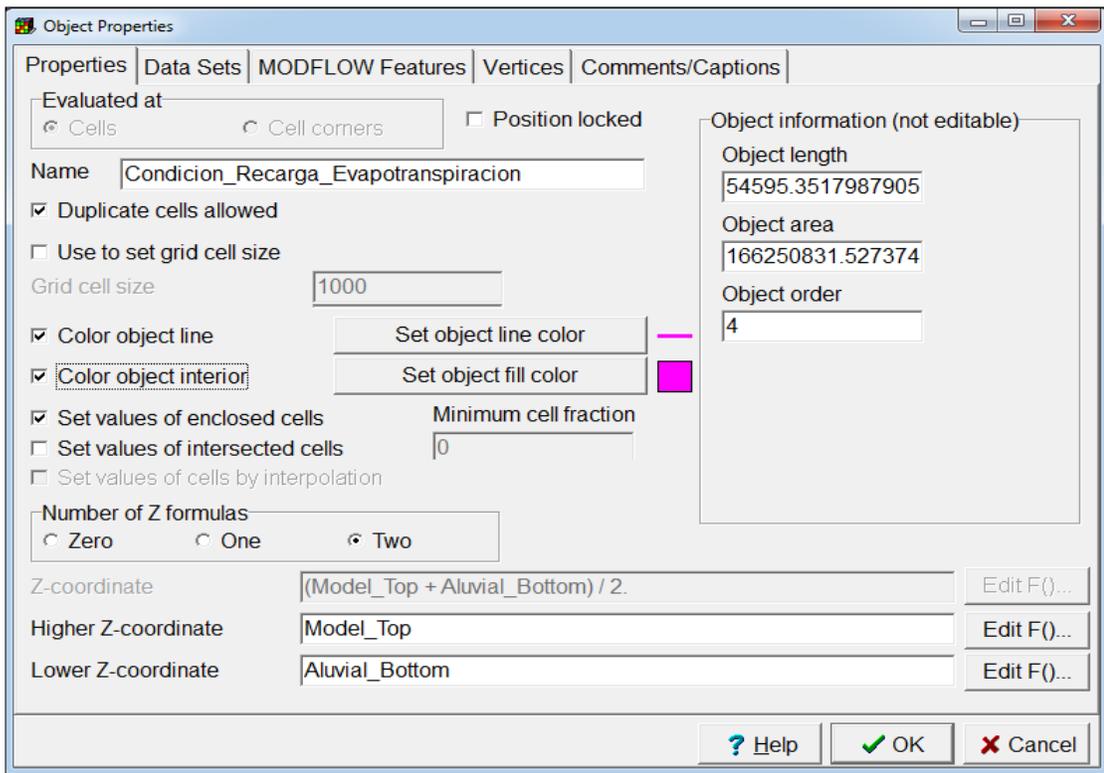


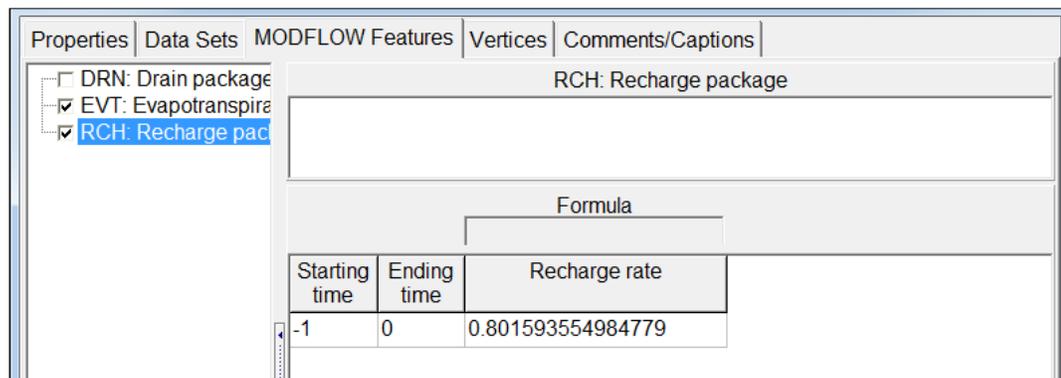
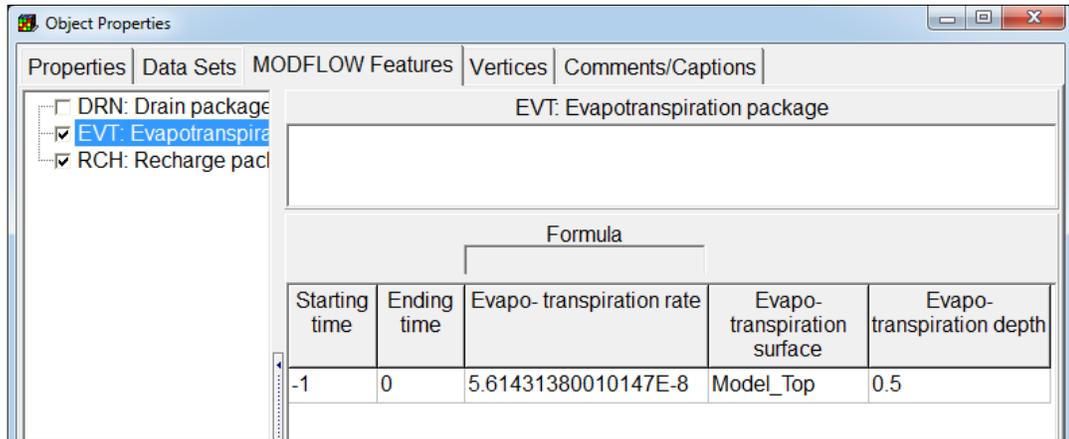
A continuación en la parte superior de la ventana emergente deberá darse clic en “Características”, seguidamente en el menú “Escoger Alternativa” desplegar las opciones y seleccionar “DRN: Paquete de Drenaje” el “tiempo inicial” será “-1”, “tiempo final” igual a “0”, en “Elevación del Drenaje” se pondrá “Parte Superior del Modelo” y para este caso el valor de la “Conductancia” se tomó como “0.001”, para el caso de la “Interpretación de la Conductancia” se asignará como “Directa”, para finalizar se da clic en “OK”.



Para introducir en el modelo las condiciones de recarga hídrica y evapotranspiración será necesario crear un polígono que abarque toda la extensión de la cuenca, para ello será necesario dar clic en el botón “Crear Objeto Rectangular” (), luego se da clic en un punto fuera de la cuenca y se despliega el rectángulo de tal manera que abarque toda la extensión del modelo, una vez se cubra toda la extensión se debe dar clic nuevamente en el punto donde finalizará el rectángulo y emergerá una ventana que contiene las propiedades de ese polígono, en ella se cambia el nombre (preferentemente sin dejar espacio o utilizar el guión bajo para sustituir los espacios entre palabras), además podrá seleccionarse un color de borde, así como de relleno para el rectángulo formado, después se da clic en el menú “Características MODFLOW” y se seleccionan los dos aspectos restantes como “EVT: Paquete de Evapotranspiración” y “RCH: Paquete de Recarga”; para el caso de la evapotranspiración, el programa pide ingresar datos como el “Tiempo Inicial”

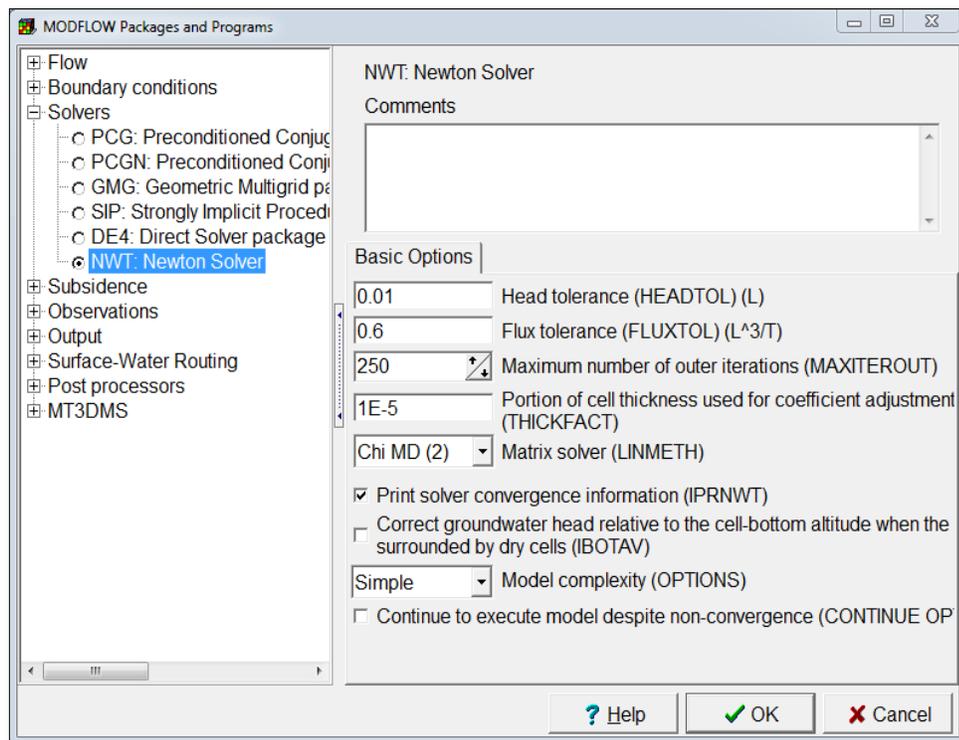
igual a “-1” y el “Tiempo final” igual a “0”, la “Capa del modelo que evapotranspira” para este caso es la “Parte Superior del Modelo”, la “Profundidad de la capa que evapotranspira” que es de “0.50m” y sin olvidar la “Tasa de Evapotranspiración”, en cuanto al “RCH: Paquete de Recarga” pide ingresar datos como “Tiempo Inicial” igual a “-1” y el “Tiempo final” igual a “0”; así como la recarga siempre en metros cúbicos como se mencionaba al principio de este manual.



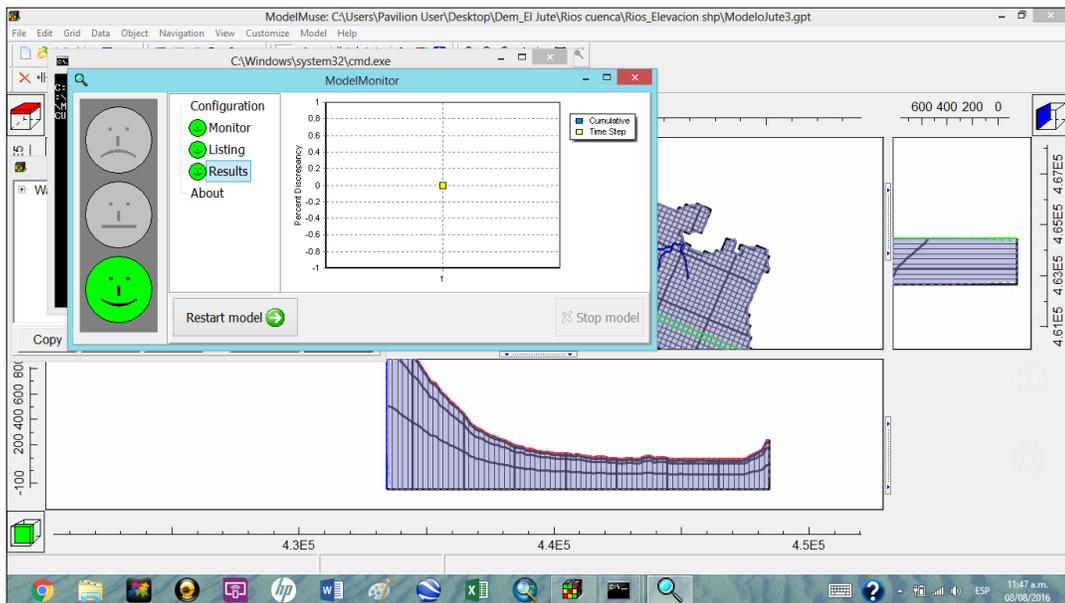


Una vez ingresados todos estos parámetros, el rectángulo insertado en el paso anterior podría estar obstruyendo la vista en planta de la cuenca en estudio, para no visualizar el rectángulo se deberá dar clic en el botón “Seleccionar Objeto” () y luego clic en el polígono que se desea ocultar, luego de esto clic derecho sobre el objeto y dar clic sobre la opción “Ocultar Objetos Seleccionados”, en seguida se podrá ver en planta y con claridad la cuenca puesto que el polígono ha sido ocultado.

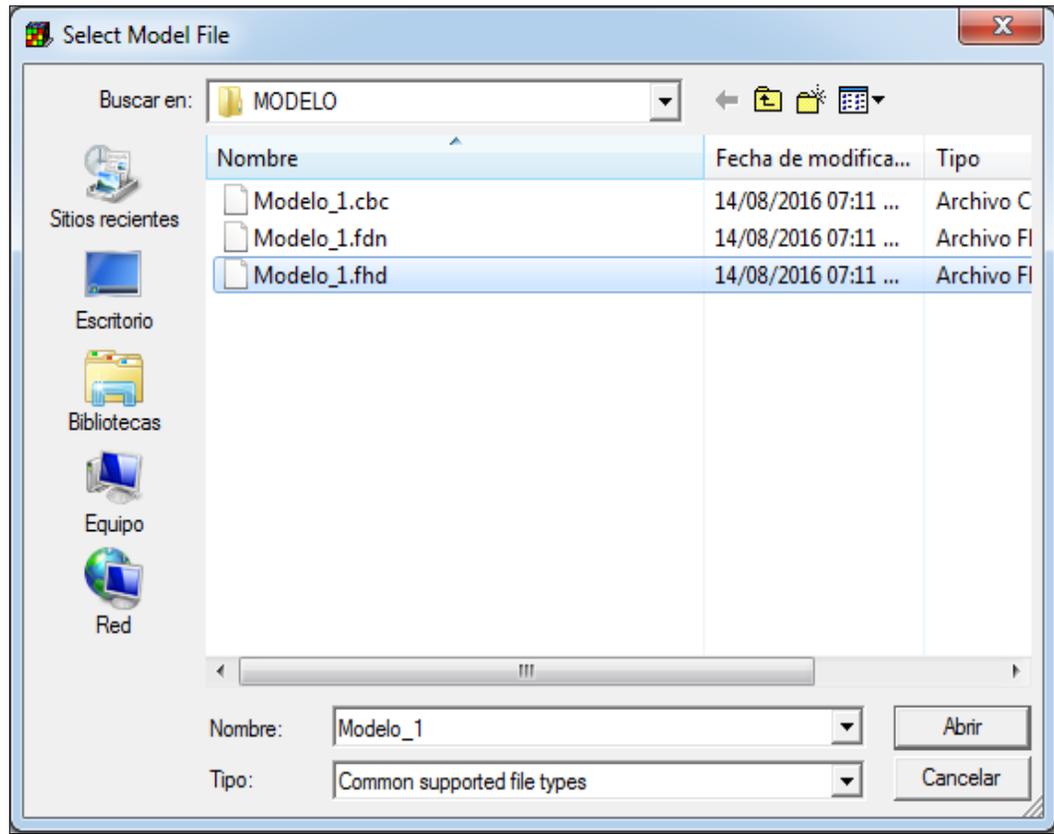
Inmediatamente después de haber ejecutado todos los pasos anteriores, es necesario guardar el proyecto como archivo “gpt” dando clic en el menú “Archivo” → “Guardar”, en un instante se visualizará una ventana en donde se asignará un nombre al proyecto y se seleccionará la carpeta de destino. A continuación se ejecutara el modelo dando clic en el botón “Correr MODFLOW-NWT” (), al hacerlo emerge una ventana que solicita ingresarle un nombre para almacenarlo, este archivo deberá guardarse en formato “nam”, al momento de ejecutar el modelo muy probablemente surjan unos errores, entre los más comunes están: el número de iteraciones que realizará el programa, tolerancia principal, tolerancia de flujo; para cambiar estos valores y aumentar el número de iteraciones que realizará el programa se deberá dirigir al menú “Modelo” → “Paquetes y Programas MODFLOW”, en la ventana emergente se asignaron los siguientes valores: “Tolerancia Principal = 0.01”, “Tolerancia de flujo = 0.60”, “Número máximo de iteraciones externas = 250”.



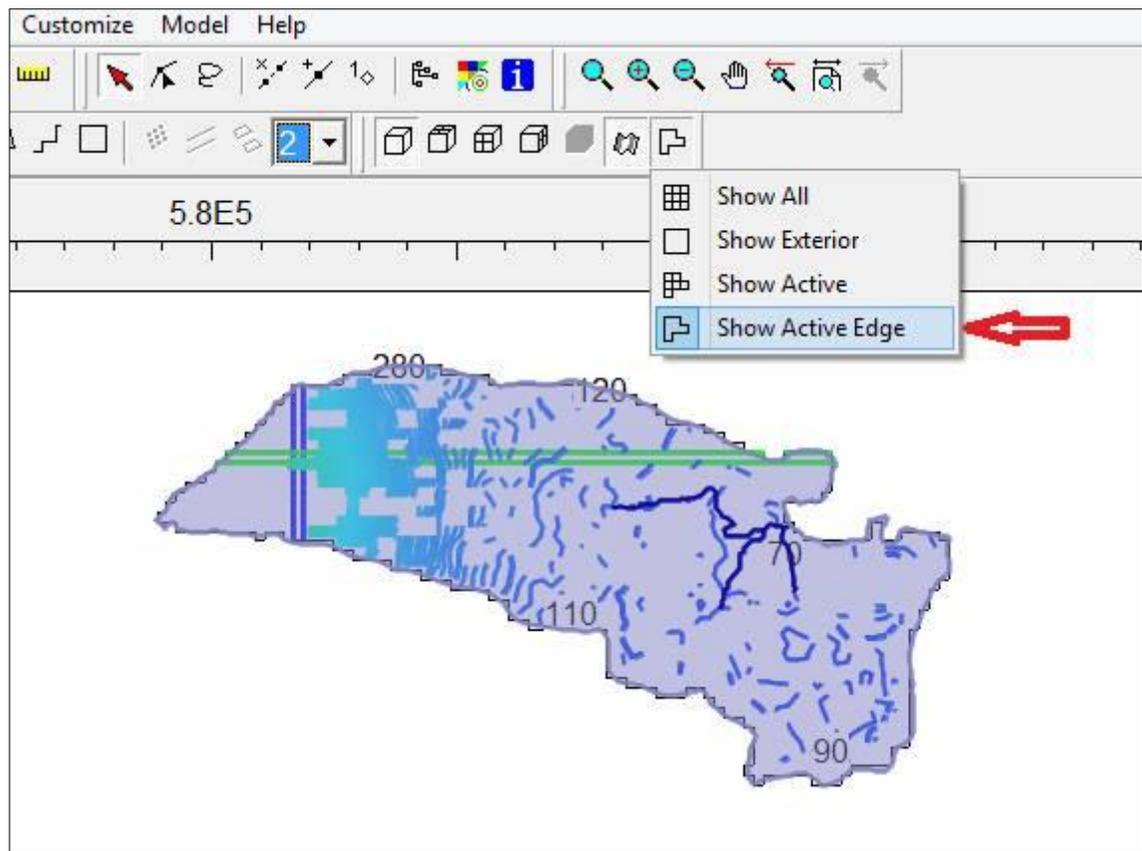
Cuando se han cambiado los valores detallados anteriormente, es necesario guardar nuevamente el proyecto que se está realizando y “correrlo” una vez más para visualizar si éste ya no arroja errores, entonces si el proyecto ya no tiene errores y ha sido ejecutado correctamente aparecerá una ventana que indicara por medio de unas caras en color verde y un punto color amarillo al centro de la gráfica que todos los parámetros introducidos son correctos.



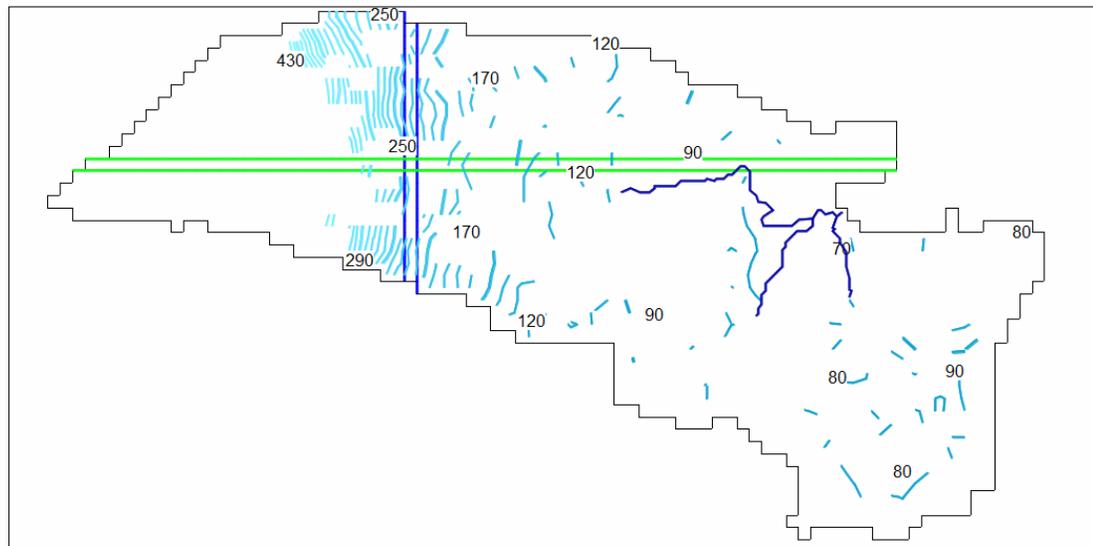
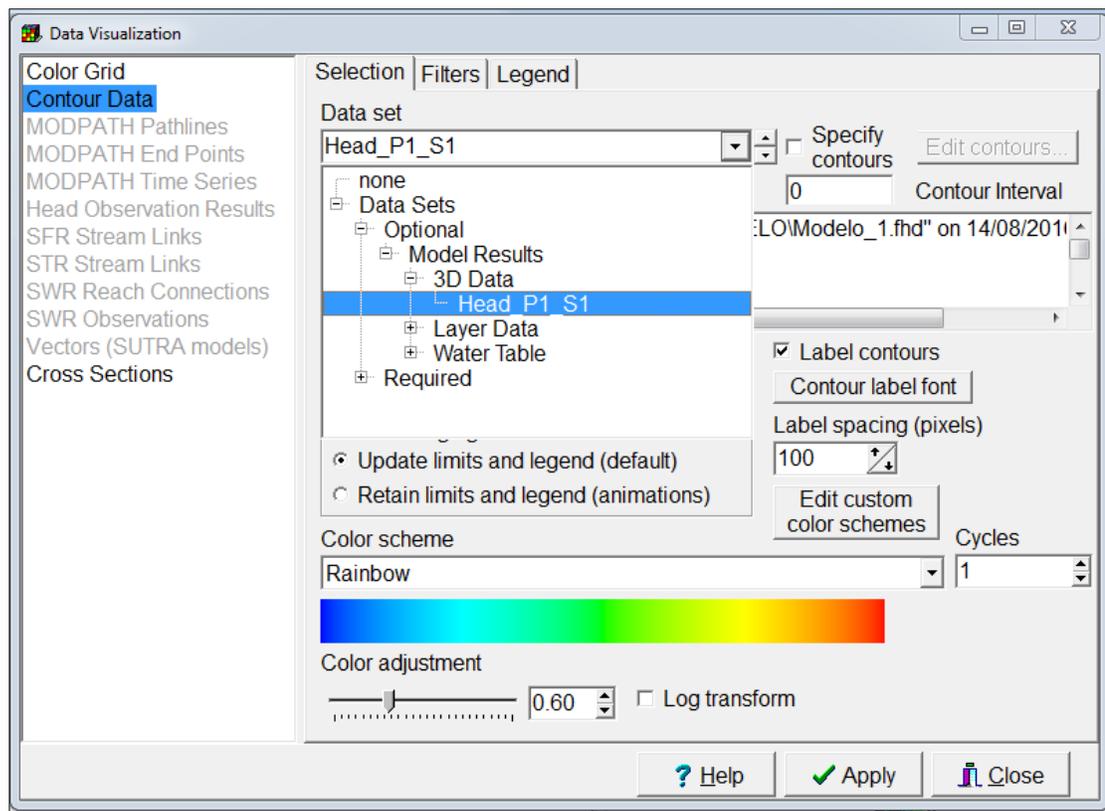
Seguidamente es necesario importar los resultados del modelo para su visualización en el proyecto dando clic en el botón “Importar y Mostrar los Resultados del Modelo” (), en la ventana emergente se podrán visualizar tres archivos con el nombre del proyecto; sin embargo, cada uno de ellos tiene un formato distinto, para este caso se dará doble clic en el archivo con formato “fhd” y luego clic en el botón “OK” de la ventana siguiente.



De inmediato se podrá observar un cambio de color en las vistas del modelo; no obstante, la grilla no permite ver con claridad las líneas de resultados que se muestran, entonces se debe dar clic en el botón “Mostrar u Ocultar Líneas de Grilla en 2D” () y luego en “Mostrar Borde Activo”.

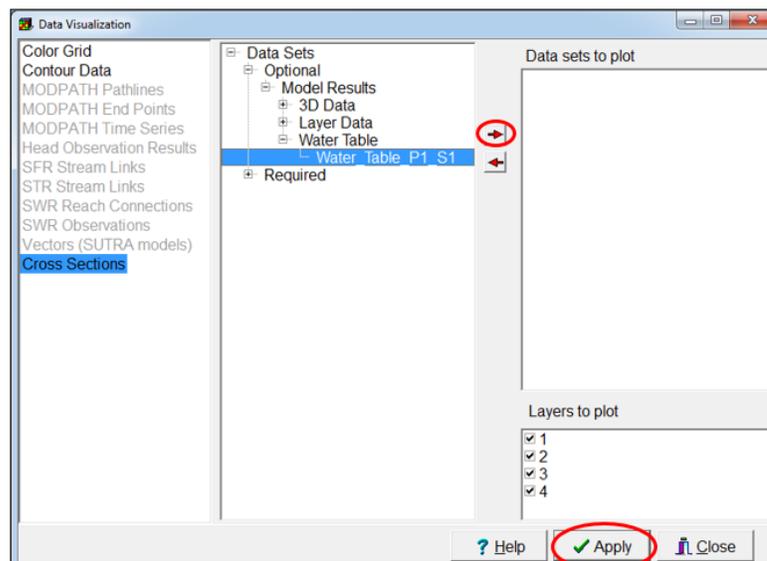


En seguida será necesario mostrar los resultados obtenidos con la ejecución del modelo, tanto la línea de la capa freática como las líneas que mostrarán las cargas hidráulicas con sus respectivas elevaciones, para ello es necesario dar clic en el botón “Visualización de datos” (), luego dar clic en “Contorno de datos” en la ventana que ha emergido, en la opción “Configuraciones de Datos” se deberá desplegar el menú y dar clic en la figura de “cruz” para extender cada una de las opciones primero expandir “Configuraciones de Datos” → “Opcional” → “Resultados del Modelo” → “Datos 3D” y dar clic en “Principal_P1_S1”, seguidamente el usuario podrá seleccionar el color a mostrar según su preferencia en la sección “Esquema de Color”, de inmediato es necesario dar clic en “Aplicar” y por último en “Cerrar”

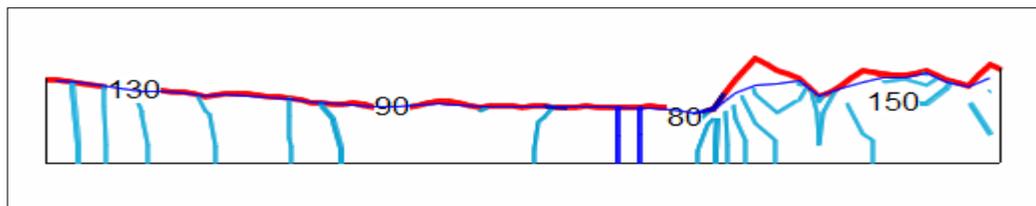
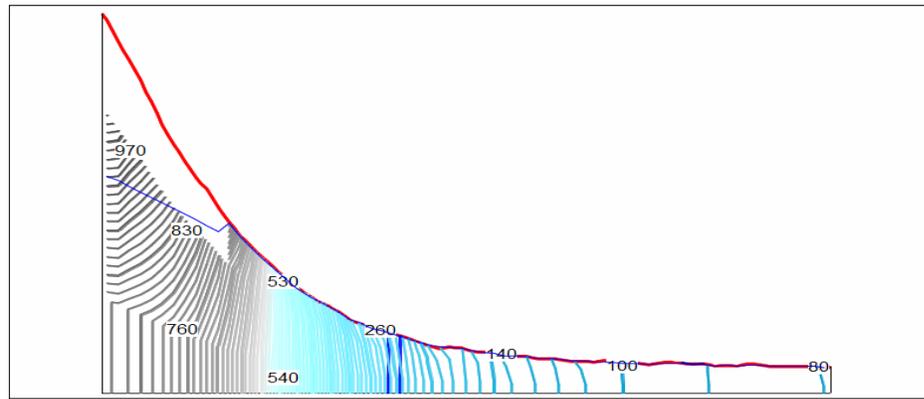


Con los pasos descritos en el párrafo anterior se ha cargado la visualización gráfica de las cargas hidráulicas, ahora bien para introducir la línea que muestra la capa freática, se seguirá la secuencia de pasos bastante similar a la anterior, de la siguiente manera:

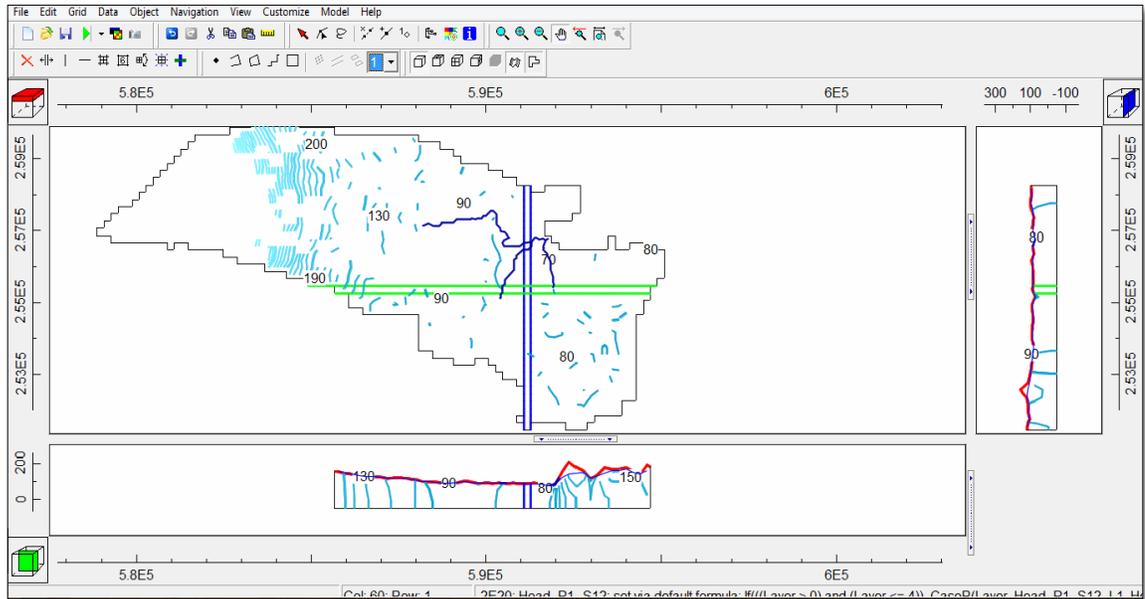
Dar clic en el botón “Visualización de datos” (), luego dar clic en “Secciones Cruzadas” en la ventana que ha emergido, dar clic en la figura de “cruz” para extender cada una de las opciones primero expandir “Configuraciones de Datos” → “Opcional” → “Resultados del Modelo” → “Tabla de agua” y dar clic en “Agua_Tabla_P1_S1”, seguidamente dar clic en la flecha roja que apunta hacia la derecha para que esta opción seleccionada aparezca en el cuadro de la derecha, en donde se le podrá asignar un color determinado a la línea que representa la capa freática en el modelo realizado y finalmente dar clic en “Aplicar” y luego en “Cerrar”.



Posterior a esto aparecerá en el modelo una línea que representara el nivel de la capa freática de la cuenca, donde se podrá visualizar la profundidad del nivel freático con respecto a la superficie de la cuenca y a los parámetros hidráulicos introducidos al modelo, el cual se vera de la siguiente manera:



Como resultado final se podrá apreciar las diferentes profundidades a las cuales se estima encontrar el nivel estático del acuífero subterráneo del área de estudio, así como también los diferentes puntos de la cuenca donde se concentra la zona de mayor recarga hidráulica, vista desde tres perspectivas diferentes como lo son la frontal, perfil y en planta. El modelaje se apreciara de la siguiente manera:



5.13 COMPENSACIÓN AMBIENTAL PARA LA CUENCA EL JUTE

5.13.1 REFORESTACIÓN.

La implementación de la reforestación sería una de las vías de aumentar la recarga hídrica en la cuenca el jute, también ayudaría con el mejoramiento del paisaje natural al repoblar la zona con árboles de diferentes especies.

Número de hectáreas a compensar y los costos correspondientes, incluyendo nombres comunes y técnicos de las especies, distanciamientos y 3 años de mantenimiento para asegurar el establecimiento de la plantación.

Para poder llevar acabo la determinación del área a reforestar necesitamos parámetros de la cuenca como Precipitación anual media que para el caso de la cuenca “El Jute” ronda los 1,612.56 mm/año y considerando una infiltración del

25% se procede a estimar el factor de conversión para la operación, dando como resultado:

$$(1612.56)25\% = 241.88 = 2418.8 \text{ m}^3/\text{ha}$$

5.13.2 MEDIDAS DE RECARGA HÍDRICA

La inversión en infraestructura que permita un aprovechamiento de las escorrentías superficiales sería fundamental en la inyección de recarga hídrica al acuífero subterráneo de la cuenca “El Jute” debido a las ventajas de absorción de la precipitación que escurre en la cuenca.

Pueden ser obras mecánicas o vegetativas para la captación e infiltración de aguas lluvias que realicen recarga hídrica ya sea en forma subsuperficial o subterránea, de tal manera que sirvan para enriquecer yacimientos de agua y mantos acuíferos

Estas obras pueden ser:

- ✚ Acequias de absorción (a nivel), para infiltración de aguas lluvias ya sea para recarga hídrica acuífera o subsuperficial.
- ✚ Pozos de absorción de aguas lluvias para recarga hídrica acuífera o subsuperficial.
- ✚ Cajuelas (similar al hecho en cafetales), para recolectar aguas lluvias y su subsiguiente infiltración para recarga hídrica acuífera o subsuperficial.
- ✚ Otra obras de captación de aguas lluvias que tengan la misma finalidad.

Pueden ser realizadas en áreas de producción agropecuaria o en otras que permitan la infiltración de aguas lluvias y la correspondiente recarga hídrica

5.13.3 AFECTACIÓN AL PAISAJE Y VIDA SILVESTRE.

Se tiene dos opciones

1. Propuesta del Titular, mediante la utilización de una metodología para su cálculo.
2. Utilizar el valor de \$ 980..00/ha (fuente: Méndez Rodríguez, Colombia, 2011).

5.13.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CUENCA EL JUTE

Proyecto / Uso	Tipo de afectación	Magnitud de la afectación	Compensación Área de Reforestación	Compensación (Recarga Hídrica)
Urbanización Villas Deportivas I	Impermeabilización del Suelo y Extracción Acuífera	32,785.395 m ³	13.55 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) <ul style="list-style-type: none"> • Pozos de absorción <ul style="list-style-type: none"> • Cajuelas • Otra obras de captación
Ingenio Chaparrastique (Elaboración de azúcar)	Extracción Acuífera	2,490,300 m ³	1029.56 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) <ul style="list-style-type: none"> • Pozos de absorción
Turicentro “El mono”	Extracción Acuífera	88,771.23 m ³	36.70 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Pozos de absorción
Polideportivo Don Bosco	Extracción Acuífera	110,225.33 m ³	45.57 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Pozos de absorción
Universidad de El Salvador F.M.O	Extracción Acuífera	145,251.75 m ³	60.05 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) <ul style="list-style-type: none"> • Pozos de absorción
Hacienda “Mi Ranchito”	Deforestación y Extracción Acuífera	994,806.8255 m ³	411.28 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) <ul style="list-style-type: none"> • Pozos de absorción

Hacienda “la Ceiba”	Deforestación y Extracción Acuífera	402,697.61 m ³	166.49 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) • Pozos de absorción
Hacienda “El Mono”	Deforestación y Extracción Acuífera	506,472.10 m ³	209.39 a	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) • Pozos de absorción
Hacienda “La Divina Providencia”	Deforestación y Extracción Acuífera	588,274.57 m ³	243.21 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) • Pozos de absorción
Hacienda “El Progreso”	Deforestación y Extracción Acuífera	388,942.69 m ³	160.80 ha	<ul style="list-style-type: none"> • Acequias de absorción (a nivel) • Pozos de absorción

Tabla 5.39. Matriz de evaluación de impacto ambiental

CAPÍTULO VI
“CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES”

6.1 CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos de la recarga hídrica mediante los tres métodos de balance hídrico, la afectación por la extracción acuífera que se está dando en la cuenca “El Jute” es perjudicial para el almacenamiento hídrico de la cuenca.
2. La extracción acuífera a la que está sometida la cuenca “El Jute” por las diversas instituciones privadas y de gobierno, se estima en un valor de 9,624,403.58 millones de metros cúbicos al año, siendo un alto porcentaje con respecto a la recarga acuífera que es de 25,279,054.35 millones de metros cúbicos al año.
3. Con base a las pruebas de infiltración, características de permeabilidad y porosidad de los suelos en la cuenca, se estima que la capacidad de infiltración de la cuenca El Jute tiene un valor de 1.56 min/cm, lo cual es un valor muy alto.
4. De acuerdo a los resultados de los diferentes métodos de balance hídricos aplicados en la cuenca “El Jute” el volumen de almacenamiento del acuífero subterráneo estaría por encima de los 25,279,054.35 millones de metros cúbicos, por lo cual este acuífero es una gran fuente de almacenamiento de agua subterránea que hay que proteger.
5. En el inventario de pozos que extraen agua del acuífero subterráneo de la cuenca “El Jute” se tomaron en cuenta únicamente los pozos de las instituciones que tuviesen mayores demandas acuíferas para el

respectivo análisis. Por lo cual existen pozos en la zona que no entran en este inventario que podrían generar un significativo aumento del volumen de extracción en el acuífero.

6. El modelamiento del acuífero subterráneo de la cuenca “El Jute” proporciona una idealización de la profundidad a la cual se encuentra el agua subterránea con respecto a cualquier punto de la superficie de la cuenca; así como también, una representación en 3D de las diferentes capas que componen este acuífero.
7. La disminución del volumen del agua debido a la extracción acuífera para un periodo de 10 años a futuro, se estima que será mayor al 50% de la recarga hídrica y considerando la afectación del cambio climático, este acuífero aumenta su grado de vulnerabilidad y riesgo por sobre explotación.

6.2 RECOMENDACIONES

1. En el desarrollo de esta investigación se contempló únicamente el impacto hídrico de la cuenca “El Jute” como una medida de la afectación en la disminución en el volumen de almacenamiento, por lo que se recomienda dirigir investigaciones para comprobar la calidad del agua subterránea y superficial de la cuenca.
2. Las medidas de mitigación para contrarrestar los efectos de la extracción acuífera y asegurar una recarga hídrica constante, deben estar orientadas a realizar proyectos de reforestación, manejo y conservación de suelos, control de agroquímicos, control de vertidos domiciliarios e industriales, entre otros.
3. La implementación de reglamentos, ordenanzas municipales, disposiciones legales de las instituciones que ayuden a la protección y preservación del acuífero deben ser implementados inmediatamente para contrarrestar efectos que ya se están generando en la cuenca estudiada.
4. En la realización del inventario de pozos de explotación acuífera se recomienda implementar a corto plazo la instalación de pozos de monitoreo en la cuenca “El Jute” y así evaluar diferentes parámetros hídricos del acuífero y evaluar su comportamiento actual y futuro.
5. Siendo este un trabajo preliminar, se recomienda dirigir investigaciones que fortalezcan la evaluación de la disponibilidad hídrica de las cuencas

del municipio de San Miguel, debido a la gran dependencia del agua subterránea del municipio.

6. La implementación del software MODFLOW simplifica la modelación de acuíferos subterráneos y superficiales; así como también, la realización de balances hídricos para cuencas y ríos del país, pero se requiere profundizar más en la aplicación de este software para el análisis de la afectación acuífera.

7. Que las autoridades correspondientes formulen plan de demarcación de ordenamiento territorial en la cuenca el jute y sus alrededores para asegurar que no se tomen áreas de profunda caracterización de recarga hídrica y así se disminuya el aporte potencial de agua a los niveles subterráneos.

FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFÍA

- ✚ MSc. Javier Saborío Bejarano, **ELABORACIÓN DEL MAPA DE PRECIPITACIÓN QUE INFILTRA, HACIA LA RECARGA HÍDRICA PARA CENTRO AMÉRICA**

- ✚ Rivera-Harrouch, S.A de C.V Ingenieros Consultores, **ESTUDIO GEO HIDROLÓGICO DE LOS ACUÍFEROS EN LA ZONA DEL INGENIO CHAPARRASTIQUE, JURISDICCIÓN DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL**

- ✚ J.R. Duarte S.A de C.V división Waters Services, **INFORME FINAL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PROYECTO SANTA ELENA ISLANDS,** Mayo 2011

- ✚ J.R. Duarte S.A de C.V división Waters Services, **INFORME FINAL MECANISMOS DE DETENCIÓN HIDRÁULICOS PARA EL PROYECTO SANTA ELENA ISLANDS,** Junio 2011

- ✚ Repuestos Industriales Servicios Hidromecánicos S.A de C.V, **ANÁLISIS HIDRÁULICO POZO ELECTROPURA (LAS PERLITAS),** 02 de Diciembre de 2015

- ✚ Julio Quiñones B, **ESTUDIO “REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO, HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE RIESGO ZONA PLANTA NIXAPA” INDUSTRIAS LA CONSTANCIA**

ILC, NEJAPA, DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR, Foro Del Agua El Salvador por, Octubre de 2013

- ✚ **TESIS BALANCE HÍDRICO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO, MUNICIPIO DE NEJAPA, DEPARTAMENTO**, Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, Agosto de 2014

- ✚ Ing. José Roberto Duarte, **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO E HIDROLÓGICO ÁREA NATURAL PROTEGIDA EL ESPINO – BOSQUE LOS PERICOS**, SalvaNATURA -Fundación Ecológica, Mayo 2012

- ✚ **TESIS “IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN EL MUNICIPIO DE DULCE NOMBRE DE MARÍA, CHALATENANGO.”** Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, Abril de 2009

- ✚ **BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINAMICO EN EL SALVADOR COMPONENTE EVALUACION DE RECURSOS HIDRICOS**, Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) – Servicio Hidrológico Nacional, San Salvador, Diciembre 2005

- ✚ MSc. Mauro Novara, **INTRODUCCIÓN AL MANEJO DE SOFTWARE LIBRE QUATUM GIS (QGIS)**, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina, Abril 2011

RECURSOS ELECTRÓNICOS

 Visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental (VIGEA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
<http://mapas.marn.gob.sv/vigea/login.aspx>

 Gidahatari (Gestión Sostenible del Agua)
<http://gidahatari.com/ih-es/aprender-modflow-model-muse>

ANEXOS

ANEXO 1

MAPAS

MAPA DE UBICACION DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



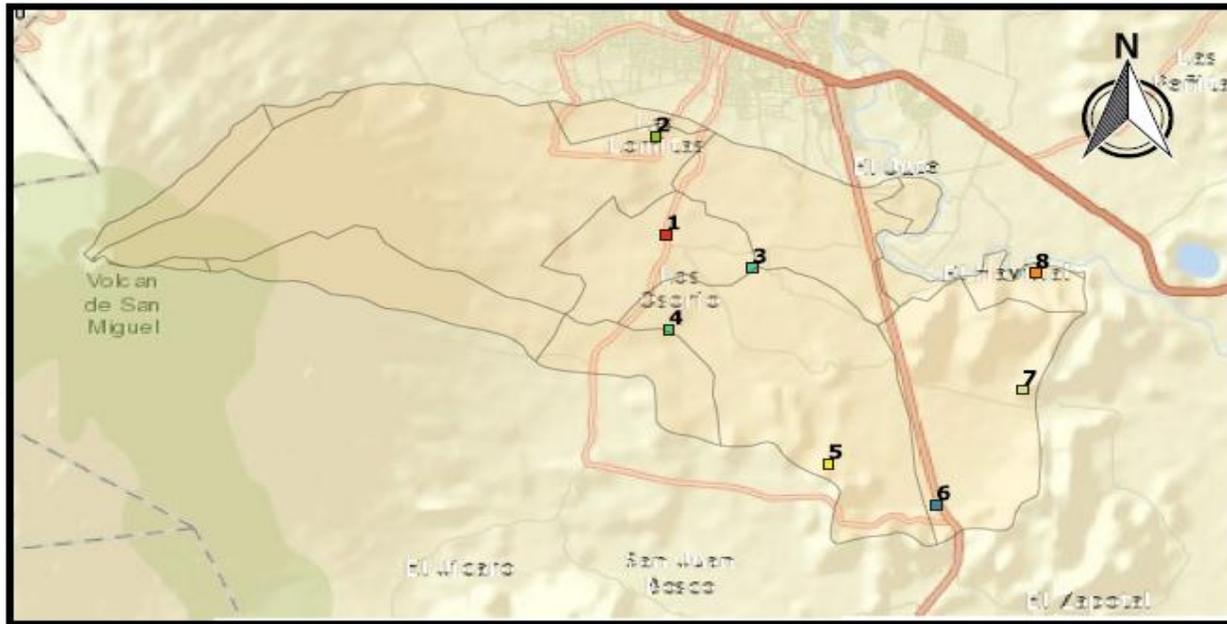
- Mapa de El Salvador
- Subcuenca El Jute
- Municipio de San Miguel
- Dpto de San Miguel

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



1/12

MAPA DE UBICACION DE PRUEBAS DE INFILTRACION EN LA SUBCUENCA EL JUTE, SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



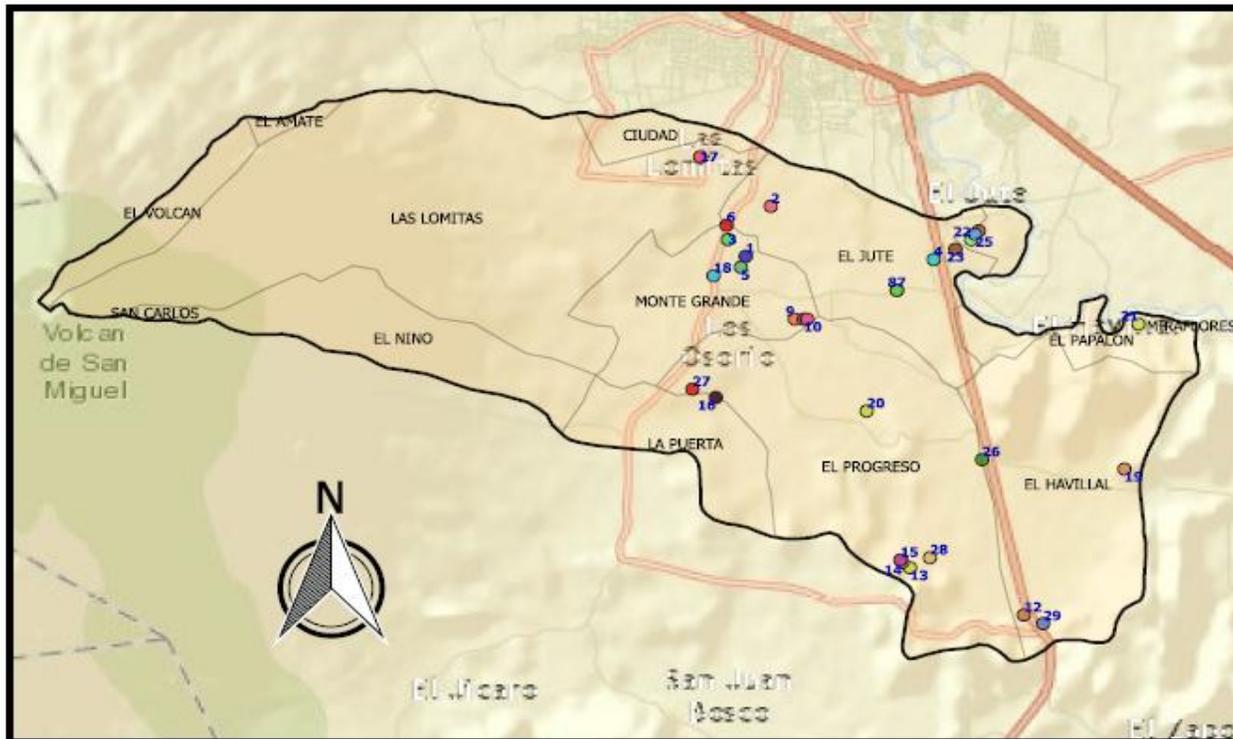
- MAPA CUENCA
- CUENCA EL JUTE
 - CANTONES EN CUENCA
- PRUEBAS INFILTRACION:
- MONTE GRANDE
 - LAS LOMITAS
 - MONTE GRANDE
 - EL PROGRESO
 - EL PROGRESO
 - EL HAVILLAL
 - EL HAVILLAL
 - EL PAPALON

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



2/12

MAPA DE UBICACION DE POZOS INVENTARIADOS EN LA SUBCUENCA EL JUTE, SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



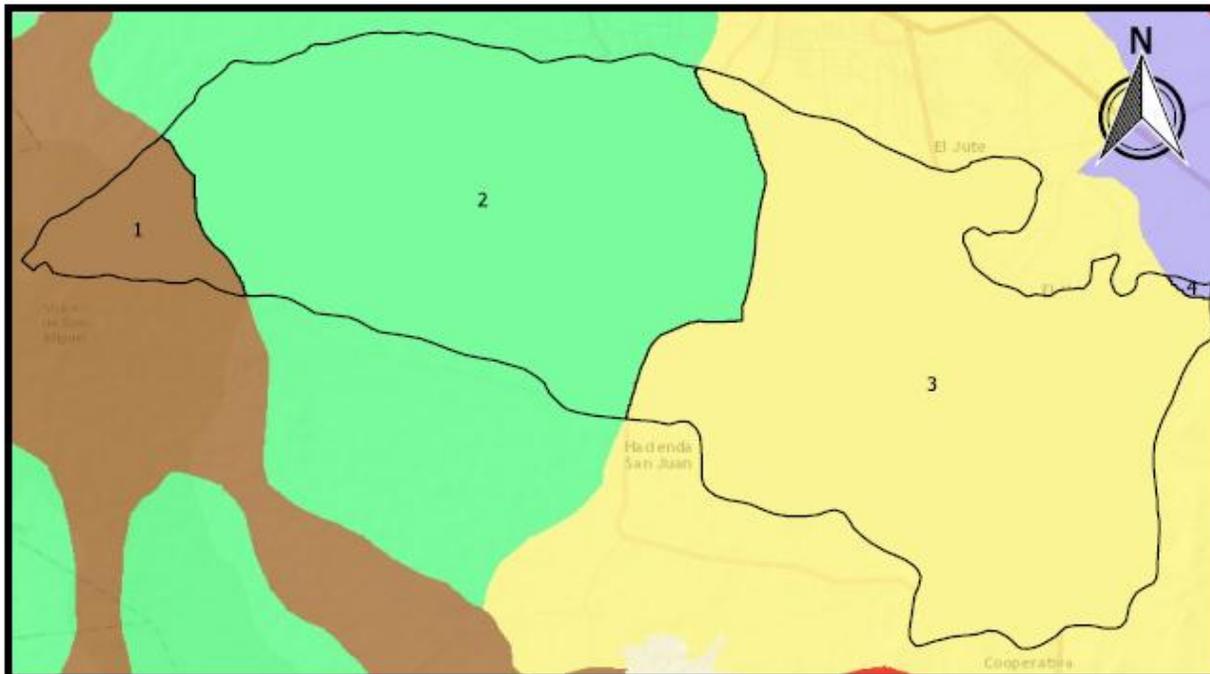
- CUENCA EL JUTE
- POZOS REGISTRADOS
- 1 CTON MONTE GRANDE
 - 2 CTON EL JUTE
 - 3 CTON MONTE GRANDE
 - 4 CTON EL JUTE
 - 5 CTON MONTE GRANDE
 - 6 CTON MONTE GRANDE
 - 7 CTON EL JUTE
 - 8 CTON EL JUTE
 - 9 CTON MONTE GRANDE
 - 10 CTON MONTE GRANDE
 - 11 CTON MONTE GRANDE
 - 12 CTON EL HAVILLAL
 - 13 CTON EL PROGRESO
 - 14 CTON EL PROGRESO
 - 15 CTON EL PROGRESO
 - 16 CTON LA PUERTA
 - 17 CTON LAS LOMITAS
 - 18 CTON MONTE GRANDE
 - 19 CTON EL HAVILLAL
 - 20 CTON EL PROGRESO
 - 21 CTON EL PAPALON
 - 22 CTON EL PAPALON
 - 23 CTON EL JUTE
 - 24 CTON EL PAPALON
 - 25 CTON EL PAPALON
 - 26 CTON EL HAVILLAL
 - 27 CTON EL PROGRESO
 - 28 CTON EL PROGRESO
 - 29 CTON EL HAVILLAL

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL



3/12

MAPA DEL TIPO DE SUELO DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



ZONA PEDOLOGICA

- ALUVIALES
- ANDISOLES
- LATOSOLES ARCILLO ROJIZOS
- LITOSOLES

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



4/12

MAPA DE USO DE SUELO DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



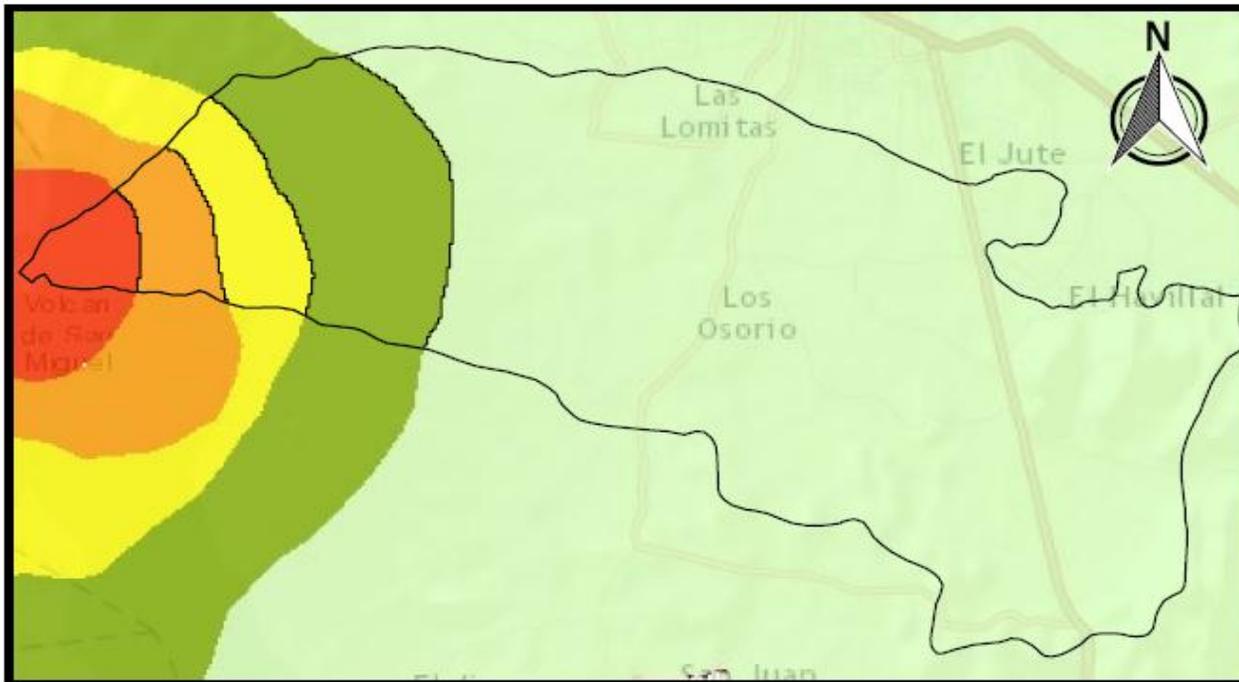
- USO DE SUELO:**
- Bosque mixto semi caducifoleos
 - Cafe
 - Caña de Azucar
 - Espacio con vegetacion escasa
 - Espacios con vegetacion escasa
 - Granos basicos
 - Marismas interiores
 - Pasto cultivado
 - Pastos naturales
 - Rocosidad, lavas
 - Tejido urbano continuo
 - Tejido urbano discontinuo
 - Tejido urbano precario
 - Vegetacion herbacea natural
 - Zona arbustiva baja
 - Mosaico de Cultivos y Pastos

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 SECCION: INGENIERIA CIVIL**



5/12

MAPA DE LA PENDIENTE DEL SUELO EN LA SUBCUENCA EL JUTE EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



RANGOS DE PENDIENTE

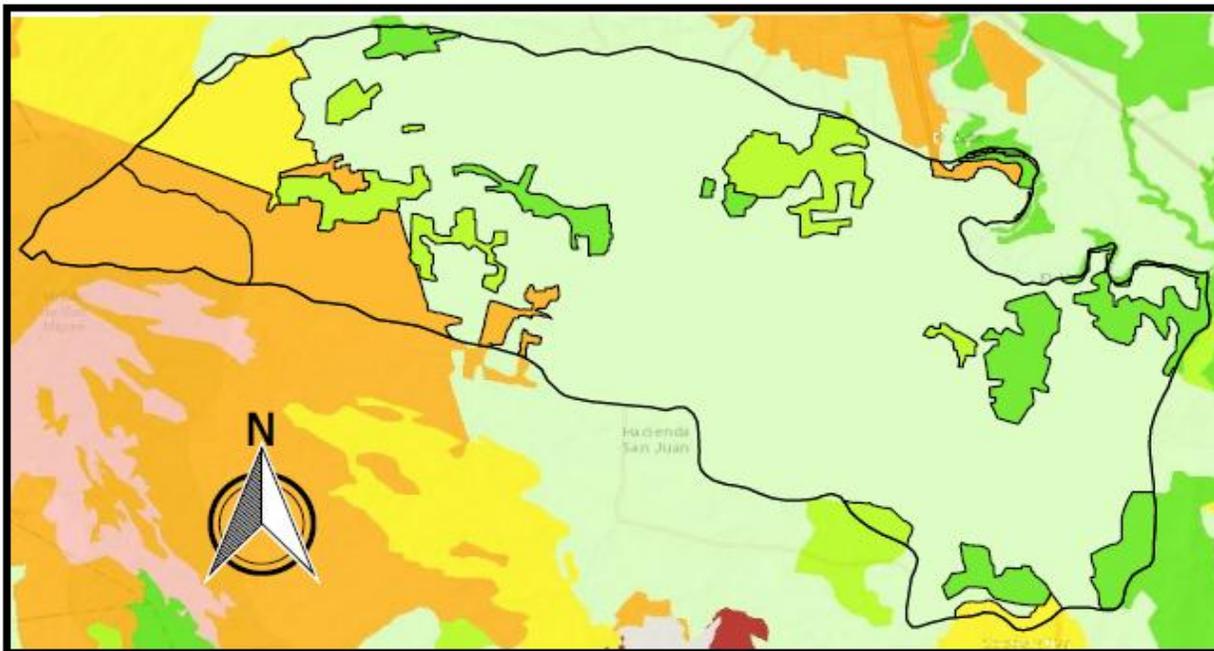
- 15% - 30%
- 30% - 50%
- 50% - 70%
- Mayor que 70%
- Menor que 15%

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCON: INGENIERIA CIVIL**



6/12

MAPA DE RECARGA ACUIFERA DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



ZONAS DE RECARGA

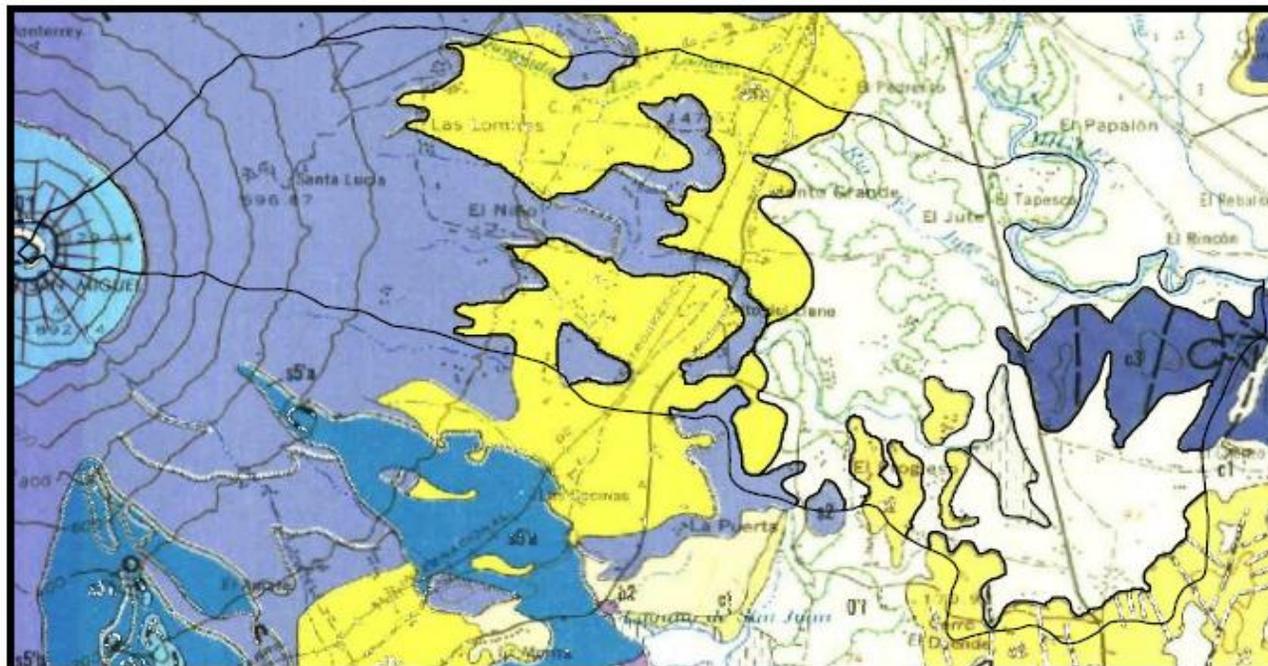
-  200 - 250 mm
-  251 - 299 mm
-  351 - 399 mm
-  400 - 449 mm
-  300 - 350 mm

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



7/12

MAPA GEOLOGICO DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



ESTRATIGRAFIA

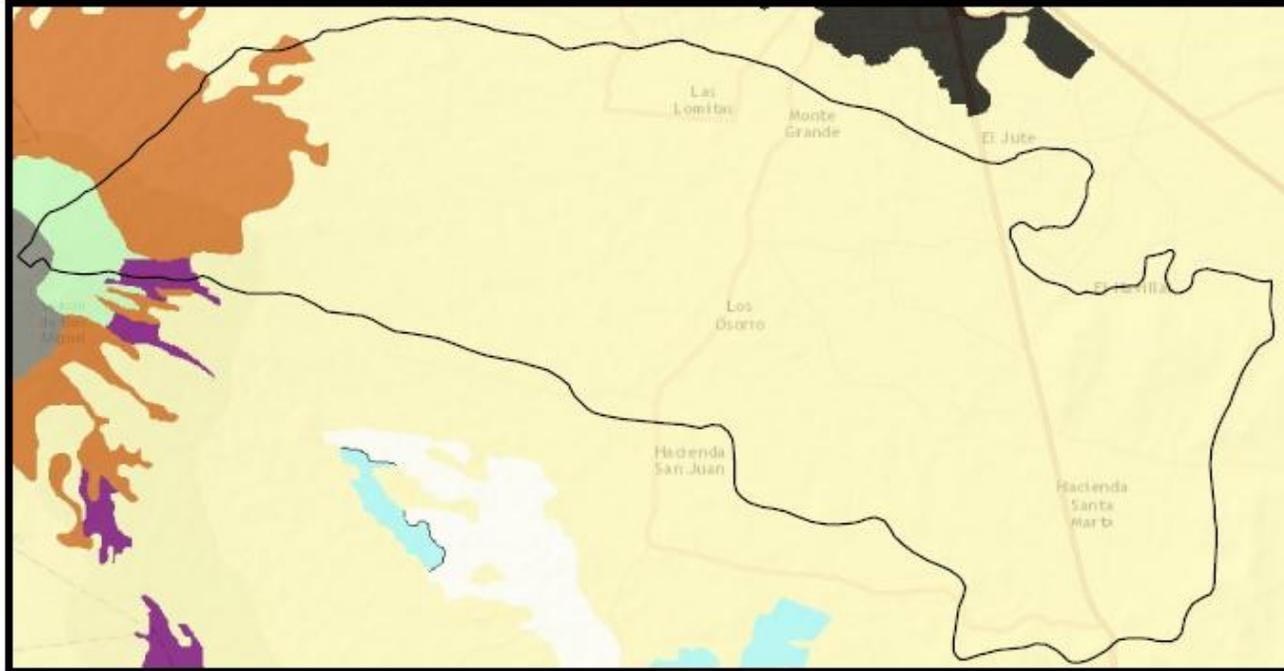
-  C 2
-  C 3
-  Q'f
-  Q'f (anmoor)
-  S 2
-  S 3'a
-  S 5'b

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



8/12

MAPA DE VEGETACION PRESENTE EN LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



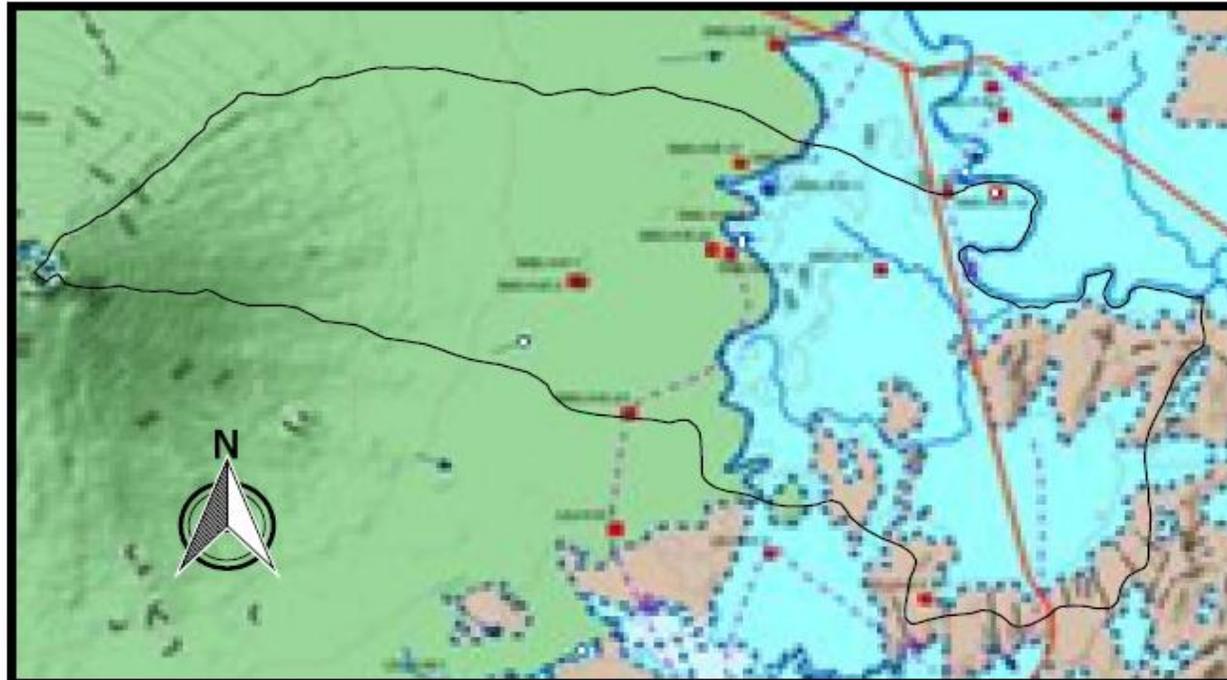
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL

TIPO DE VEGETACION

- Escasa vegetación en rocas, peñascos y coladas v.
- Ombrófila tropical de arbustos (páramo)
- Roca desnuda, lava y bancos de arena
- Zona de Cultivos permanentes (Cafetales)
- Zonas de cultivos o mezclas de sistemas productivos

9/12

MAPA HIDROGEOLOGICO DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



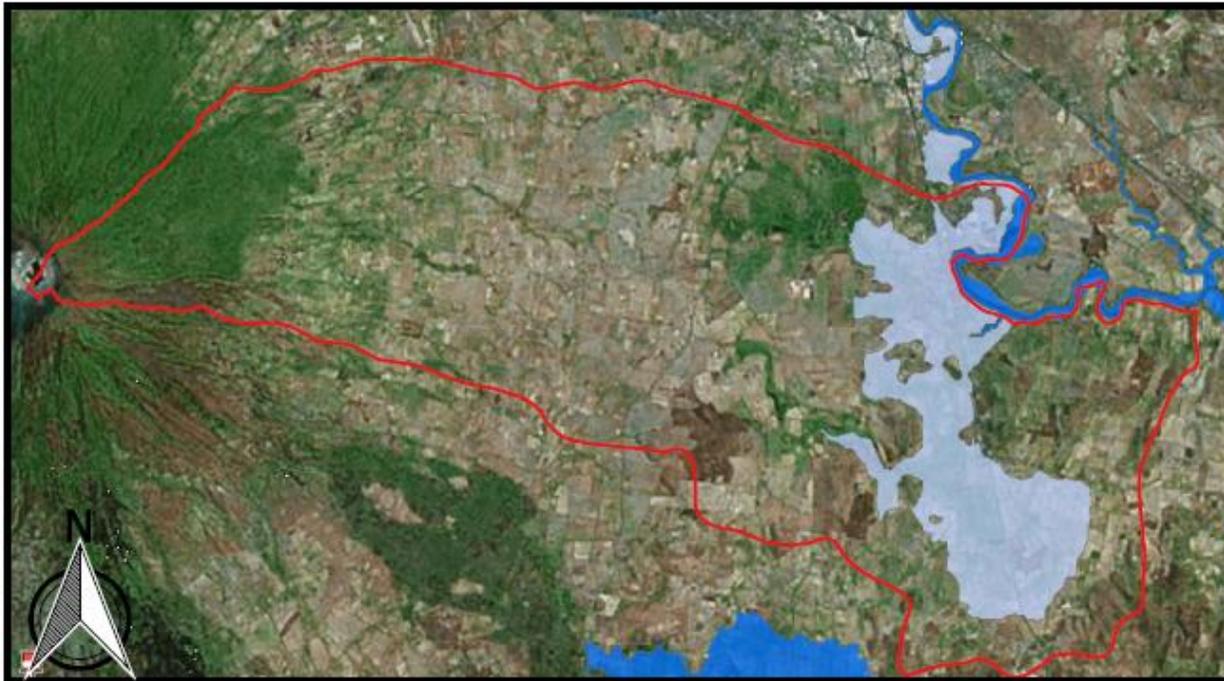
- Rio de Menor Importancia
- Rio Importante
- Zona de Recarga
- Cuerpos de agua
- Formaciones Geologicas

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



10/12

MAPA DE INUNDACION DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



INUNDACION

MODERADA

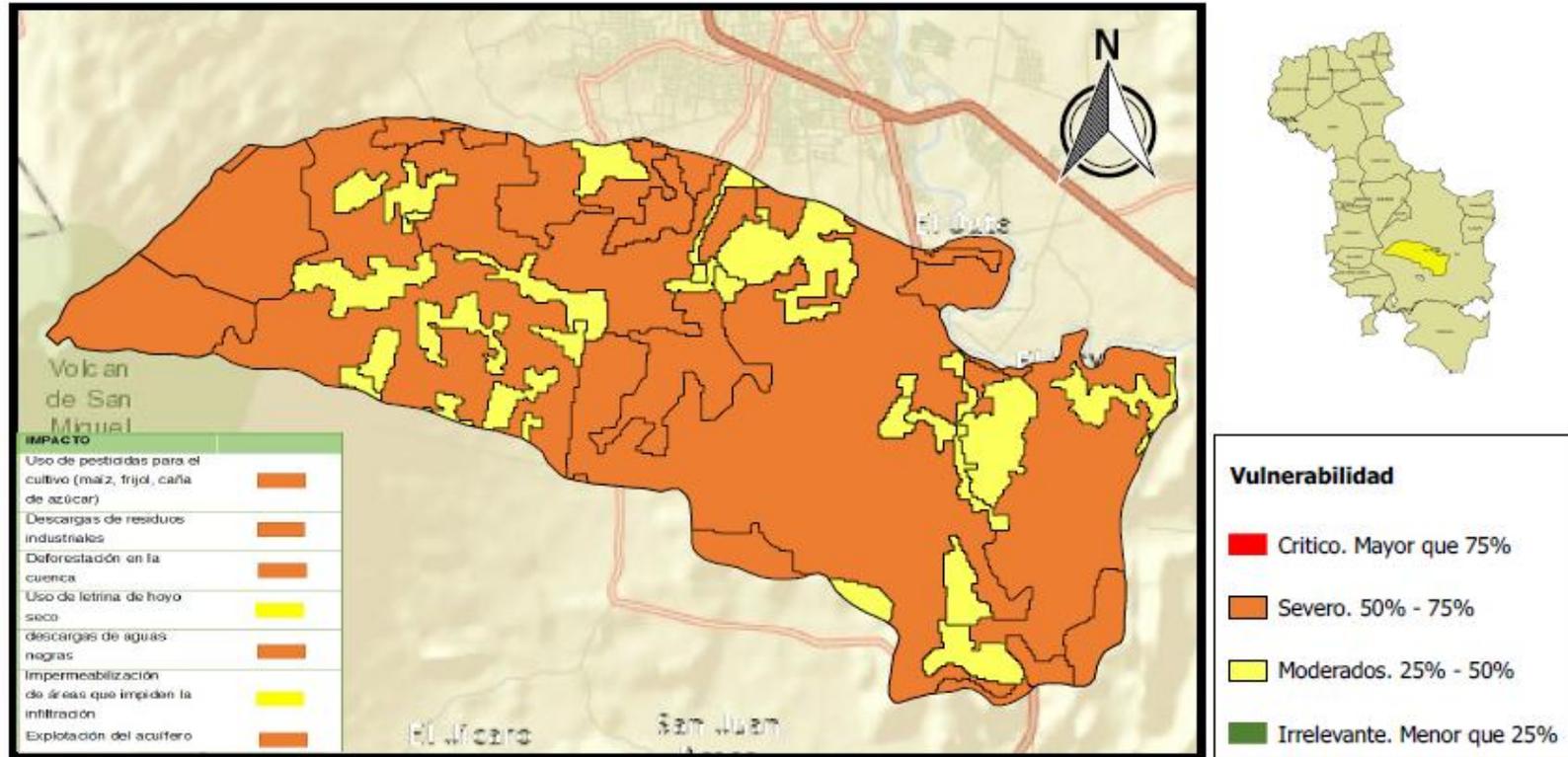
ALTA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



11/12

MAPA DE VULNERABILIDAD DE LA SUBCUENCA EL JUTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
SECCION: INGENIERIA CIVIL**



12/12

ANEXO 2

PRUEBAS

DE

INFILTRACIÓN

MEMORIA DE CALCULO DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN

Características del sitio de prueba

- Profundidad del Pozo = 60 cm
Dimensión del agujero = 60 cm de por lado
- Tipo de suelo: suelo con arenas, limo arenoso.
- Prueba Realizada el Día: miércoles, 17 de mayo de 2016

Datos de Campo.

Pozo N°1

Blanca Isabel Campos "Cantón Monte grande"

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	9:08 am	9:38 am	0.00	28.00	28.00
2	9:38 am	10:08 am	28.00	41.00	13.00
3	10:08 am	10:38 am	41.00	57.00	16.00
					19.00

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/19.00$$

(30 minutos entre lecturas y 19.00 cm, de Promedio)

$$T=1.58 \text{ min/cm}$$

Pozo N°2**Frank Canales "Cantón Las Lomitas"**

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	11:35 am	12:05 pm	0.00	38.00	38.00
2	12:05 pm	12:35 pm	38.00	51.00	13.00
3	12:35 pm	13:05 pm	51.00	58.00	7.00
					19.33

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/19.33$$

(30 minutos entre lecturas y 19.33 cm, de Promedio)

$$T=1.55 \text{ min/cm}$$

Pozo No. 3**Polideportivo Don Bosco "Cantón Monte Grande"**

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	10:45 am	11:15 am	0.00	22.00	22.00
2	11:15 am	11:45 am	22.00	34.00	12.00
3	11:45 am	12:15 pm	34.00	42.00	8.00
4	12:15 pm	12:45 pm	42.00	48.00	6.00
5	12:45 pm	13:15 pm	48.00	54.50	6.50
					13.63

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/13.63$$

(30 minutos entre lecturas y 13.63 cm, de Promedio)

$$T = 2.20 \text{ min/cm}$$

Pozo No. 4 **Turicentro El Mono "Cantón el Havillal"**

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	10:22 am	10:52 am	0.00	34.00	34.00
2	10:52 am	11:22 am	34.00	51.00	17.00
					25.50

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/25.50$$

(30 minutos entre lecturas y 25.50 cm, de Promedio)

$$T = 1.18 \text{ min/cm}$$

Pozo No. 5 **Hacienda La Divina Providencia "Cantón El Progreso"**

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	9:04 am	9:34 am	0.00	22.00	22.00
2	9:34 am	10:04 am	22.00	39.00	17.00
3	10:04 am	10:34 am	39.00	56.00	17.00
					18.67

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/18.67$$

(30 minutos entre lecturas y 18.67 cm, de Promedio)

$$T = 1.61 \text{ min/cm}$$

Pozo No. 6**María del Carmen Ochoa "Cantón El Progreso"**

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	11:23 am	11:53 am	0.00	34.00	34.00
2	11:53 am	12:23 pm	34.00	47.00	13.00
3	11:23 am	12:53 pm	47.00	58.00	11.00
					19.33

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/19.33$$

(30 minutos entre lecturas y 19.33 cm, de Promedio)

$$T = 1.55 \text{ min/cm}$$

Pozo No. 7**Cantón "El Tecamate"**

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	9:58 am	10:28 am	0.00	40.00	40.00
2	10:28 am	10:58 am	40.00	50.00	10.00
					25.00

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/25.00$$

(30 minutos entre lecturas y 25.00 cm, de Promedio)

$$T = 1.20 \text{ min/cm}$$

Pozo No. 8

"Cantón El Papalón"

	Hora "Inicial"	Hora "Final"	Lectura "I" (cms)	Lectura "F" (cms)	Diferencia (cms)
1	12:23	12:53	0.00	35.00	35.00
2	12:53	13:23	35.00	48.00	13.00
3	13:23	13:53	48.00	57.00	9.00
					19.00

Tasa de infiltración (T)

$$T = 30/19.00$$

(30 minutos entre lecturas y 19.00 cm, de Promedio)

$$T = 1.58 \text{ min/cm}$$

Cálculos

Tasa de infiltración (T) Promedio del Suelo

$$T = (1.58+1.55+2.20+1.18+1.61+1.55+1.20+1.58)/8$$

$$T = 1.56 \text{ min/cm}$$

FOTOGRAFÍAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS





ANEXO 3
DOTACIONES
ESTIMADAS

TABLA DE ESTIMACIÓN DE EXTRACCIÓN PARA LA CUENCA EL JUTE

Cuantificación de la Demanda para uso ganadero de la cuenca el jute

Nombre de la Hacienda	Número de Cabezas de Ganado	Dotación (L/Animal/día)	Q estimado de extracción (GPM)
Hacienda La Ceiba	105	120	2.31
Hacienda El Mono	60	120	1.32
Hacienda El Progreso	44	120	0.97
Hacienda La Divina Providencia	79	120	1.74

Cuantificación de la Demanda para uso de riego agrícola de la cuenca el jute

Nombre de la Hacienda	Metros Cuadrados de Área de Riego	Dotación (L/s/m ²)	Q estimado de extracción (GPM)
Hacienda La Ceiba	100499.20	0.004	402.00
Hacienda El Mono	126216.31	0.004	504.87
Hacienda El Progreso	97383.00	0.004	389.53
Hacienda La Divina Providencia	147221.29	0.004	588.89

Cuantificación de la Demanda para uso de Centros Escolares

Nombre del Centro Escolar	Número de Estudiantes para el año 2016	Dotación (L/Alumno/día)	Q estimado de extracción (GPM)
Centro Escolar Monte Grande	586	40	4.29
Centro Escolar Hacienda Divina Providencia	121	40	0.89

Cuantificación de la Demanda Para Urbanizaciones En la Cuenca El Jute

Nombre de la Urbanización	Número de Habitantes por vivienda	Dotación (L/persona/día)	Q estimado de extracción (GPM)
Urbanización Villas Deportivas I	490	220	19.75

Cuantificación de la Demanda Para Turicentro en la Cuenca El Jute

Nombre del Turicentro	Metros cúbicos de piscinas	Dotación (L/m ³ /hora)	Q estimado de extracción (GPM)
Turicentro "El Mono"	729.6	125	133.69

ANEXO 4
RESULTADOS
DE LA
EVAPOTRANSPIRACIÓN
POTENCIAL

Tabla de valores de radiación solar extraterrestre

La Radiación Extraterrestre "Ra" Expresada en equivalentes de evaporación mm/día																								
Hemisferio Norte												Latitud	Hemisferio Sur											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50°	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48°	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46°	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44°	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42°	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40°	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38°	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36°	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34°	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32°	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30°	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28°	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26°	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24°	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22°	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20°	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18°	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16°	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	14°	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12°	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10°	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6°	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4°	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2°	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8	0°	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE PARA UNA LATITUD DE 13° 26' 20.1" N											
E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
12.56	13.73	14.96	15.65	15.77	15.61	15.65	15.62	15.18	14.22	12.99	12.75

PORCENTAJE DE BRILLO DEL SOL (S)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	81.01	81.97	68.47	73.95	55.90	46.77	54.49	51.54	48.41	41.46	63.74	68.47
2006	53.03	81.97	83.85	75.00	59.95	48.41	55.90	53.03	53.03	50.00	62.50	68.47
2007	76.03	77.06	79.06	72.89	64.95	62.50	64.95	51.54	46.77	45.07	69.60	71.81
2008	79.06	77.06	79.06	73.95	61.24	59.95	55.90	54.49	53.03	51.54	71.81	72.89
2009	78.06	83.85	84.78	79.06	62.50	53.03	55.90	57.28	51.54	57.28	59.95	64.95
2010	78.06	80.04	80.04	73.95	62.50	50.00	46.77	45.07	41.46	58.63	63.74	77.06
2011	77.06	81.01	81.97	69.60	69.60	54.49	50.00	48.41	45.07	46.77	57.28	71.81
2012	77.06	81.01	85.70	70.71	53.03	51.54	71.81	55.90	53.03	48.41	75.00	72.89
2013	81.01	80.04	85.70	71.81	64.95	54.49	55.90	57.28	39.53	46.77	54.49	68.47
2014	80.04	79.06	72.89	79.06	63.74	55.90	72.89	59.95	45.07	46.77	59.95	72.89
2015	83.85	81.97	82.92	80.04	73.95	67.31	76.03	78.06	51.54	43.30	48.41	61.24
PROM	76.75	80.46	80.40	74.55	62.94	54.94	60.05	55.69	48.04	48.73	62.41	70.08

RADIACION SOLAR INCIDENTE (Rsm)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	8.48	9.32	9.28	10.09	8.84	8.01	8.66	8.41	7.92	6.87	7.78	7.91
2006	6.86	9.32	10.27	10.16	9.16	8.15	8.78	8.53	8.29	7.54	7.70	7.91
2007	8.21	9.04	9.98	10.02	9.53	9.26	9.46	8.41	7.79	7.16	8.13	8.10
2008	8.38	9.04	9.98	10.09	9.26	9.06	8.78	8.65	8.29	7.66	8.26	8.16
2009	8.32	9.43	10.33	10.44	9.35	8.53	8.78	8.87	8.17	8.07	7.54	7.71
2010	8.32	9.21	10.04	10.09	9.35	8.28	8.03	7.86	7.33	8.17	7.78	8.39
2011	8.27	9.27	10.16	9.79	9.87	8.64	8.30	8.15	7.64	7.29	7.37	8.10
2012	8.27	9.27	10.39	9.87	8.61	8.40	9.95	8.76	8.29	7.42	8.44	8.16
2013	8.48	9.21	10.39	9.95	9.53	8.64	8.78	8.87	7.16	7.29	7.19	7.91
2014	8.43	9.16	9.58	10.44	9.44	8.75	10.02	9.07	7.64	7.29	7.54	8.16
2015	8.63	9.32	10.22	10.50	10.17	9.61	10.23	10.35	8.17	7.02	6.78	7.48
PROM	8.24	9.24	10.06	10.13	9.37	8.67	9.07	8.72	7.88	7.43	7.68	8.00

HUMEDAD RELATIVA (%)												
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES								ÍNDICE NACIONAL: M-24				
LATITUD: 13° 26' 20.1" N				LONGITUD: 88° 09' 32.7" W				ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	26	26.5	28.5	29.3	27.4	26.7	27.1	26.7	26.1	25	25.8	26.2
2006	26.3	27.2	28.3	29	28	26.5	27.3	27.2	26.6	26.6	25.8	26.6
2007	26.9	27.4	29.9	29.4	28.7	27.7	28.1	26.6	26.1	25.2	25.5	26.2
2008	26.4	27.2	28	28.6	27.5	26.9	26.1	26.3	26.3	25.3	25.7	25.5
2009	26.2	27	27.6	29.3	27.6	26.7	27.2	27.2	26.9	26.8	25.8	25.7
2010	26.1	27.8	28.7	29.5	28.3	26.9	26.3	26.3	26	26.3	25.4	27
2011	26.5	27.6	27.9	28.2	28.8	27	26.3	26.4	26.3	25.1	25.7	25.4
2012	26.2	27.2	28.7	27.9	27.2	26.8	28.2	26.7	26.5	25.7	26.4	25.8
2013	27.2	27.4	28.3	29.1	28.2	27	26.8	26.8	25.6	26.1	25.9	26
2014	26.2	27.4	28	29	28	27.3	28.9	27	25.7	25.7	25.9	25.6
2015	26.8	27.6	29	29.9	29.6	28.5	29.2	29.9	26.9	26.4	26.1	26.5

RANGO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)

ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES

ÍNDICE NACIONAL: M-24

LATITUD: 13° 26' 20.1" N

LONGITUD: 88° 09' 32.7" W

ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.

Año	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media
2005	37	18.8	26	38.4	18.2	26.5	38.1	23.2	28.5	38.9	23.5	29.3	35.4	23	27.4	34.5	23.1	26.7
2006	36.1	19.7	26.3	36.8	19.7	27.2	38.1	20.5	28.5	37.6	23.1	29	35.5	23.3	28	33.2	22.9	26.3
2007	37.3	19.5	26.9	38	19.6	27.4	39.4	22.8	28.5	39.3	23.6	29.4	37.6	24.2	28.7	36.4	23.1	27.7
2008	36.7	19.4	26.4	37.9	20.3	27.2	38.6	21.2	28.5	38.5	23.2	28.6	35.9	23.5	27.5	35.2	23.1	26.9
2009	36.5	19.7	26.2	37.9	19.7	27	38.1	20.1	28.5	39.3	22.6	29.3	36.6	23.1	27.6	34	22.9	26.7
2010	35.7	20.2	26.1	37.5	21.8	27.8	38.7	22.2	28.5	38.1	24.6	29.5	35.6	24.2	28.3	33.4	23.7	26.9
2011	36.7	19.8	26.5	38.2	20.2	27.6	38.1	21	28.5	36.9	23	28.2	37.5	24.1	28.8	34.4	23.3	27
2012	35.8	19.6	26.2	37.5	21	27.9	38.5	21.4	28.5	36.4	22.7	27.9	34.7	23.7	27.2	34.1	23.2	26.8
2013	36.7	20.7	27.2	37.1	20.5	27.4	38	22.1	28.5	37.1	24	29.1	35.9	23.7	28.2	34.6	23.3	27
2014	36.1	19.9	26.2	37.5	20.5	27.4	38.2	21.8	28.5	38.5	23	29	35.3	24.2	28	34.8	23.4	27.3
2015	36.7	20.5	26.8	37.5	20.7	27.6	38.6	22.9	28.5	39	23.9	29.9	38.9	24	29.6	36	23.8	28.5

RANGO DE TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (°C)

ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES

ÍNDICE NACIONAL: M-24

LATITUD: 13° 26' 20.1" N

LONGITUD: 88° 09' 32.7" W

ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.

Año	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media	T máx.	T mín.	T media
2005	35.4	23	27.1	35.1	22	26.7	34.1	22.3	26.1	30.8	22.3	25	33.9	20.6	25.8	35.5	20.3	26.2
2006	35.8	22.9	27.3	35.9	22.5	27.2	35.3	22.4	26.6	34.4	22.8	26.6	33.9	21.3	25.8	35.9	21.1	26.6
2007	37.2	22.9	28.1	34.3	22.6	26.6	33.8	22.6	26.1	31.9	22.4	25.2	34.1	20.8	25.5	35.6	19.2	26.2
2008	34.7	22.3	26.1	34.9	22.6	26.3	34.2	23	26.3	32.7	22.4	25.3	34.7	20.7	25.7	35.6	19.4	25.5
2009	35.8	22.8	27.2	36.2	22.7	27.2	35.4	23.1	26.9	34.6	22.8	26.8	33.9	21.7	25.8	35.1	20.2	26.1
2010	33.5	23.1	26.3	33.7	23.2	26.3	32.6	23.3	26	34.6	22	26.3	34.4	20.5	25.4	34.8	18.7	27
2011	34.4	22.8	26.3	34.5	22.9	26.4	34.3	22.9	26.3	31.9	22.1	25.1	34.8	20.7	25.7	35.2	19.6	26.2
2012	37.7	22.9	28.2	35.1	22.8	26.7	34.4	22.7	26.5	33.3	22.3	25.7	34.9	21	26.4	35.8	19.7	25.8
2013	34.6	22.6	26.8	35	22.8	26.8	32.3	22.8	25.6	33.6	22.9	26.1	33.4	22.1	25.9	35.4	20.7	26
2014	38.2	23.1	28.9	35.8	22.6	27	33.1	22.5	25.7	32.7	22.7	25.7	34.2	21.4	25.9	35.3	19.5	25.6
2015	38.1	23.5	29.2	39.7	24.1	29.9	34.5	23.1	26.9	33.2	23.5	26.4	33.7	22.5	26.1	35.7	21.5	26.5

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (mm)												
ESTACIÓN: SAN MIGUEL UES						ÍNDICE NACIONAL: M-24						
LATITUD: 13° 26' 20.1" N				LONGITUD: 88° 09' 32.7" W				ELEVACIÓN: 117 m.s.n.m.				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	0	0	32.6	30	382.1	152	160.7	359.9	351	321.7	43.1	0.3
2006	0.4	0	0.5	29	124.9	347.2	286.8	294	284.5	212	81.5	1
2007	0	0	0.9	3.8	107.6	49.1	117.6	315.6	394.4	355.6	55.1	0
2008	0.1	1	3	22.9	232.2	108.9	289	370.1	176.1	409.7	0.5	0
2009	0	0.1	0.4	0	325.9	231.4	179.4	221.2	251.4	95.2	159.8	106.7
2010	0	0	0.5	48.3	466.3	342.1	335.2	313.8	341.9	69.9	16.8	0
2011	0.4	1.5	7.4	32.4	62.9	303.4	351.5	360.8	218	488.1	60.1	0
2012	0	0	0.5	159.9	206.3	109.6	10.5	366.2	337	297.3	13.9	11.8
2013	0	0.6	0	6.7	131.3	297	224.9	182.6	292	282	87	3
2014	0	2.6	23.8	1.2	143.4	249.6	29.7	279.8	552.9	288.8	32.3	0
2015	0	0	0.6	20	57.2	158.8	29.1	13.4	354.4	399	179.9	0.4

CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	155.33	156.04	179.80	192.45	167.20	144.23	162.72	156.55	140.77	122.94	137.27	145.62
2006	126.54	158.51	198.12	192.58	175.44	145.42	165.56	160.59	149.01	140.06	135.93	146.95
2007	153.58	154.37	199.06	191.47	185.41	170.47	181.62	156.20	138.36	128.78	142.46	149.14
2008	154.85	159.17	191.12	189.59	175.38	164.02	161.15	159.51	148.01	138.03	145.37	147.86
2009	153.18	159.60	196.19	198.98	177.57	153.58	165.19	166.90	147.89	150.59	133.13	141.52
2010	152.83	158.72	195.25	193.27	180.31	149.79	148.07	145.08	129.97	150.64	136.01	157.30
2011	153.23	158.98	194.18	182.34	192.34	156.72	153.10	150.70	136.44	130.88	129.84	149.14
2012	152.19	165.74	202.03	182.59	162.13	151.74	191.38	163.04	148.68	135.02	150.96	148.89
2013	159.59	162.94	200.29	188.83	183.41	156.72	163.72	165.41	125.75	133.93	127.21	144.96
2014	155.11	161.94	183.51	197.72	180.90	159.81	195.75	169.98	134.58	132.71	133.44	148.20
2015	160.92	165.63	200.01	202.77	201.67	180.03	201.22	206.53	147.89	129.75	120.46	138.66
PROM	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11

ANEXO 5

**RESULTADOS DE LA
EVAPOTRANSPIRACIÓN
POTENCIAL REAL DESDE EL
AÑO 2005 HASTA EL AÑO
2015 MEDIANTE EL
SOFTWARE (INNER ISBH)**

Año 2005

InnerSoft - Balance Hídrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Gráfico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitación) y ETP (evapotranspiración potencial)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
P	0	0	32.6	30	382.1	152	160.7	359.9	351	321.7	43.1	0.3	1833.4
ETP	155.33	156.04	179.8	192.45	167.20	144.23	162.72	156.55	140.77	122.94	137.27	145.62	1860.92
P-ETP	-155.33	-156.04	-147.2	-162.45	214.90	7.77	-2.02	203.35	210.23	198.76	-94.17	-145.32	-27.52
R	0	0	0	0	100	100	97.98	100	100	100	5.83	0	603.81
AR	0	0	0	0	100	0	-2.02	2.02	0	0	-94.17	-5.83	0.00
ETR	0	0	32.6	30	167.20	144.23	162.72	156.55	140.77	122.94	137.27	6.13	1100.41
E	0	0	0	0	114.90	7.77	0	201.33	210.23	198.76	0	0	732.99
D	-155.33	-156.04	-147.2	-162.45	0	0	0	0	0	0	0	-139.49	-760.51

Calcular

Clasificación Climática de Thomthwaite: E ; Subdivisión Climática: d little or no water surplus
 Índice Humedad (Ih) = 39.389 ; Índice de Aridez (Ia) = 40.867 ; Índice de Humedad de Thomthwaite (Im) = 14.868
 Clasificación Climática de Thomthwaite: C2 ; Subdivisión Climática: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency

Año 2006

InnerSoft - Balance Hídrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Gráfico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitación) y ETP (evapotranspiración potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	124.9	347.2	286.8	294	284.5	212	81.5	1	0.4	0	0.5	29	1661.8
ETP	175.44	145.42	165.56	160.59	149.01	140.06	135.93	146.95	126.54	158.51	198.12	192.58	1894.71
P-ETP	-50.54	201.78	121.24	133.41	135.49	71.94	-54.43	-145.95	-126.14	-158.51	-197.62	-163.58	-232.91
R	0	100	100	100	100	100	45.57	0	0	0	0	0	545.57
AR	0	100	0	0	0	0	-54.43	-45.57	0	0	0	0	0.00
ETR	124.9	145.42	165.56	160.59	149.01	140.06	135.93	46.57	0.4	0	0.5	29	1097.94
E	0	101.78	121.24	133.41	135.49	71.94	0	0	0	0	0	0	563.86
D	-50.54	0	0	0	0	0	0	-100.38	-126.14	-158.51	-197.62	-163.58	-796.77

Calcular

Clasificación Climática de Thomthwaite: C2 ; Subdivisión Climática: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency
 Índice Humedad (Ih) = 29.760 ; Índice de Aridez (Ia) = 42.052 ; Índice de Humedad de Thomthwaite (Im) = 4.528
 Clasificación Climática de Thomthwaite: C2 ; Subdivisión Climática: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency

Año 2007

InnerSoft - Balance Hidrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Gráfico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva 0 0

Primer Mes del Año Hidrológico: May

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitacion) y ETP (evapotranspiracion potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	107.6	49.1	117.6	315.6	394.4	355.6	55.1	0	0	0	0.9	3.8	1399.7
ETP	185.41	170.47	181.62	156.2	138.36	128.78	142.46	149.14	153.58	154.37	199.06	191.47	1950.92
P-ETP	-77.81	-121.37	-64.02	159.4	256.04	226.82	-87.36	-149.14	-153.58	-154.37	-198.16	-187.67	-551.22
R	0	0	0	100	100	100	100	12.64	0	0	0	0	312.64
AR	0	0	0	100	0	0	-87.36	-12.64	0	0	0	0	0.00
ETR	107.6	49.1	117.6	156.2	138.36	128.78	142.46	12.64	0	0	0.9	3.8	857.44
E	0	0	0	59.4	256.04	226.82	0	0	0	0	0	0	542.26
D	-77.81	-121.37	-64.02	0	0	0	0	-136.50	-153.58	-154.37	-198.16	-187.67	-1093.48

Calcular

Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C2 : Subdivision Climatica: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency
 Indice Humedad (h) = 27.795 : Indice de Aridez (Ia) = 56.049 : Indice de Humedad de Thomthwaite (Im) = -5.835
 Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C1 : Subdivision Climatica: s2 large winter water surplus / w2 large summer water surplus

Año 2008

InnerSoft - Balance Hidrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Gráfico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva 0 0

Primer Mes del Año Hidrológico: May

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitacion) y ETP (evapotranspiracion potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	232.2	108.9	289	370.1	176.1	409.7	0.5	0	0.1	1	3	22.9	1613.5
ETP	175.38	164.02	161.15	159.51	148.01	138.03	145.37	147.86	154.85	159.17	19.12	189.59	1762.06
P-ETP	56.82	-55.12	127.85	210.59	28.09	271.67	-144.87	-147.86	-154.75	-158.17	-16.12	-166.69	-148.56
R	56.82	1.70	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	458.52
AR	56.82	-55.12	98.30	0	0	0	-100	0	0	0	0	0	0.00
ETR	175.38	164.02	161.15	159.51	148.01	138.03	100.5	0	0.1	1	3	22.9	1073.60
E	0	0	29.55	210.59	28.09	271.67	0	0	0	0	0	0	539.90
D	0	0	0	0	0	0	-44.87	-147.86	-154.75	-158.17	-16.12	-166.69	-688.46

Calcular

Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C1 : Subdivision Climatica: s2 large winter water surplus / w2 large summer water surplus
 Indice Humedad (h) = 30.640 : Indice de Aridez (Ia) = 39.071 : Indice de Humedad de Thomthwaite (Im) = 7.197
 Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C2 : Subdivision Climatica: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency

Año 2009

InnerSoft - Balance Hídrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Gráfico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitación) y ETP (evapotranspiración potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	325.9	231.4	179.4	221.2	251.4	95.2	159.8	106.7	0	0.1	0.4	0	1571.5
ETP	177.57	153.58	165.19	166.9	147.89	150.59	133.13	141.52	153.18	159.6	196.19	198.98	1944.32
P-ETP	148.33	77.82	14.21	54.3	103.51	-55.39	26.67	-34.82	-153.18	-159.5	-195.79	-198.98	-372.82
R	100	100	100	100	100	44.61	71.28	36.46	0	0	0	0	652.35
AR	100	0	0	0	0	-55.39	26.67	-34.82	-36.46	0	0	0	0.00
ETR	177.57	153.58	165.19	166.9	147.89	150.59	133.13	141.52	36.46	0.1	0.4	0	1273.33
E	48.33	77.82	14.21	54.3	103.51	0	0	0	0	0	0	0	298.17
D	0	0	0	0	0	0	0	0	-116.72	-159.5	-195.79	-198.98	-670.99

Calcular

Clasificación Climática de Thornthwaite: C2 ; Subdivisión Climática: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency
 Índice Humedad (Ih) = 15.335 ; Índice de Aridez (Ia) = 34.510 ; Índice de Humedad de Thornthwaite (Im) = -5.371
 Clasificación Climática de Thornthwaite: C1 ; Subdivisión Climática: s moderate winter water surplus / w moderate summer water surplus

Año 2010

InnerSoft - Balance Hídrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Gráfico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitación) y ETP (evapotranspiración potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	466.3	342.1	335.2	313.8	341.9	69.9	16.8	0	0	0	0.5	48.3	1934.8
ETP	180.31	149.79	148.07	145.08	129.97	150.64	136.01	157.30	152.83	158.72	195.25	193.27	1897.24
P-ETP	285.99	192.31	187.13	168.72	211.93	-80.74	-119.21	-157.30	-152.83	-158.72	-194.75	-144.97	37.56
R	100	100	100	100	100	19.26	0	0	0	0	0	0	519.26
AR	100	0	0	0	0	-80.74	-19.26	0	0	0	0	0	0.00
ETR	180.31	149.79	148.07	145.08	129.97	150.64	36.06	0	0	0	0.5	48.3	988.72
E	185.99	192.31	187.13	168.72	211.93	0	0	0	0	0	0	0	946.08
D	0	0	0	0	0	0	-99.95	-157.30	-152.83	-158.72	-194.75	-144.97	-908.52

Calcular

Clasificación Climática de Thornthwaite: C1 ; Subdivisión Climática: s moderate winter water surplus / w moderate summer water surplus
 Índice Humedad (Ih) = 49.866 ; Índice de Aridez (Ia) = 47.886 ; Índice de Humedad de Thornthwaite (Im) = 21.134
 Clasificación Climática de Thornthwaite: B1 ; Subdivisión Climática: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency

Año 2011

InnerSoft - Balance Hidrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Grafico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitacion) y ETP (evapotranspiracion potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	62.9	303.4	351.5	360.8	218	488.1	60.1	0	0.4	1.5	7.4	32.4	1886.5
ETP	192.34	156.72	153.1	150.7	136.44	130.88	129.84	149.14	153.23	158.98	194.18	182.34	1887.89
P-ETP	-129.44	146.68	198.4	210.1	81.56	357.22	-69.74	-149.14	-152.83	-157.48	-186.78	-149.94	-1.39
R	0	100	100	100	100	100	30.26	0	0	0	0	0	530.26
AR	0	100	0	0	0	0	-69.74	-30.26	0	0	0	0	0.00
ETR	62.9	156.72	153.1	150.7	136.44	130.88	129.84	30.26	0.4	1.5	7.4	32.4	992.54
E	0	46.68	198.4	210.1	81.56	357.22	0	0	0	0	0	0	893.96
D	-129.44	0	0	0	0	0	0	-118.88	-152.83	-157.48	-186.78	-149.94	-895.35

Calcular

Clasificacion Climatica de Thornthwaite: C2 ; Subdivision Climatica: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency
 Indice Humedad (Ih) = 47.352 ; Indice de Aridez (Ia) = 47.426 ; Indice de Humedad de Thornthwaite (Im) = 18.897
 Clasificacion Climatica de Thornthwaite: C2 ; Subdivision Climatica: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency

Año 2012

InnerSoft - Balance Hidrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Grafico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitacion) y ETP (evapotranspiracion potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	206.3	109.6	10.5	366.2	337	297.3	13.9	11.8	0	0	0.5	159.9	1513.0
ETP	162.13	151.74	191.38	163.04	148.68	135.02	150.96	148.89	152.19	165.74	202.03	182.59	1954.39
P-ETP	44.17	-42.14	-180.88	203.16	188.32	162.28	-137.06	-137.09	-152.19	-165.74	-201.53	-22.69	-441.39
R	44.17	2.03	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	346.20
AR	44.17	-42.14	-2.03	100	0	0	-100	0	0	0	0	0	0.00
ETR	162.13	151.74	12.53	163.04	148.68	135.02	113.9	11.8	0	0	0.5	159.9	1059.24
E	0	0	0	103.16	188.32	162.28	0	0	0	0	0	0	453.76
D	0	0	-178.85	0	0	0	-37.06	-137.09	-152.19	-165.74	-201.53	-22.69	-895.15

Calcular

Clasificacion Climatica de Thornthwaite: C2 ; Subdivision Climatica: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency
 Indice Humedad (Ih) = 23.217 ; Indice de Aridez (Ia) = 45.802 ; Indice de Humedad de Thornthwaite (Im) = -4.264
 Clasificacion Climatica de Thornthwaite: C1 ; Subdivision Climatica: s2 large winter water surplus / w2 large summer water surplus

Año 2013

InnerSoft - Balance Hidrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Grafico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC: Valor absoluto:

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitacion) y ETP (evapotranspiracion potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	131.3	297	224.9	182.6	292	282	87	3	0	0.6	0	6.7	1507.1
ETP	183.41	156.72	163.72	165.41	125.75	133.93	127.21	144.96	159.59	162.94	200.29	188.83	1912.76
P-ETP	-52.11	140.28	61.18	17.19	166.25	148.07	-40.21	-141.96	-159.59	-162.34	-200.29	-182.13	-405.66
R	0	100	100	100	100	100	59.79	0	0	0	0	0	559.79
AR	0	100	0	0	0	0	-40.21	-59.79	0	0	0	0	0.00
ETR	131.3	156.72	163.72	165.41	125.75	133.93	127.21	62.79	0	0.6	0	6.7	1074.13
E	0	40.28	61.18	17.19	166.25	148.07	0	0	0	0	0	0	432.97
D	-52.11	0	0	0	0	0	0	-82.17	-159.59	-162.34	-200.29	-182.13	-838.63

Calcular

Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C1 ; Subdivision Climatica: s2 large winter water surplus / w2 large summer water surplus
 Indice Humedad (lh) = 22.636 ; Indice de Aridez (la) = 43.844 ; Indice de Humedad de Thomthwaite (lm) = -3.671
 Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C1 ; Subdivision Climatica: s2 large winter water surplus / w2 large summer water surplus

Año 2014

InnerSoft - Balance Hidrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Grafico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC: Valor absoluto:

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitacion) y ETP (evapotranspiracion potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	143.4	249.6	29.7	279.8	552.9	288.8	32.3	0	0	2.6	23.8	1.2	1604.1
ETP	180.9	159.81	195.75	169.98	134.58	132.71	133.44	148.2	155.11	161.94	183.51	197.72	1953.65
P-ETP	-37.5	89.79	-166.05	109.82	418.32	156.09	-101.14	-148.2	-155.11	-159.34	-159.71	-196.52	-349.55
R	0	89.79	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	389.79
AR	0	89.79	-89.79	100	0	0	-100	0	0	0	0	0	0.00
ETR	143.4	159.81	119.49	169.98	134.58	132.71	132.3	0	0	2.6	23.8	1.2	1019.87
E	0	0	0	9.82	418.32	156.09	0	0	0	0	0	0	584.23
D	-37.5	0	-76.26	0	0	0	-1.14	-148.2	-155.11	-159.34	-159.71	-196.52	-933.78

Calcular

Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C1 ; Subdivision Climatica: s2 large winter water surplus / w2 large summer water surplus
 Indice Humedad (lh) = 29.905 ; Indice de Aridez (la) = 47.797 ; Indice de Humedad de Thomthwaite (lm) = 1.227
 Clasificacion Climatica de Thomthwaite: C2 ; Subdivision Climatica: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency

Año 2015

InnerSoft - Balance Hidrico ISBH v0.6

Archivo Ayuda

Datos Gráfico

Capacidad de Campo (CDC): El suelo esta saturado al inicio del primer mes

Valores de la reserva para el inicio del año hidrológico

Introducir % CDC % respecto a CDC Valor absoluto

Introducir Valor Reserva

Primer Mes del Año Hidrológico:

Introduzca datos o modifique solo las filas de P (precipitación) y ETP (evapotranspiración potencial)

	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	TOTAL
P	57.2	158.8	29.1	13.4	354.4	399	179.9	0.4	0	0	0.6	20	1212.8
ETP	201.67	180.03	201.22	206.53	147.89	129.75	120.46	138.66	160.92	165.63	200.01	202.77	2055.54
P-ETP	-144.47	-21.23	-172.12	-193.13	206.51	269.25	59.44	-138.26	-160.92	-165.63	-199.41	-182.77	-842.74
R	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0	300
AR	0	0	0	0	100	0	0	-100	0	0	0	0	0.0
ETR	57.2	158.8	29.1	13.4	147.89	129.75	120.46	100.4	0	0	0.6	20	777.60
E	0	0	0	0	106.51	269.25	59.44	0	0	0	0	0	435.20
D	-144.47	-21.23	-172.12	-193.13	0	0	0	-38.26	-160.92	-165.63	-199.41	-182.77	-1277.94

Calcular

Clasificación Climática de Thomthwaite: C2 ; Subdivision Climática: s2 large summer water deficiency / w2 large winter water deficiency
 Índice Humedad (lh) = 21.172 ; Índice de Aridez (la) = 62.171 ; Índice de Humedad de Thomthwaite (lm) = -16.130
 Clasificación Climática de Thomthwaite: C1 ; Subdivision Climática: s2 large winter water surplus / w2 large summer water surplus

VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR) PARA EL AREA DE LA CUENCA DEL RIO EL JUTE

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	0	0	32.6	30	167.2	144.23	162.72	156.55	140.77	122.94	137.27	6.13
2006	0.4	0	0.5	29	124.9	145.42	165.56	160.59	149.01	140.06	135.93	46.57
2007	0	0	0.9	3.8	107.6	49.1	117.6	156.2	138.36	128.78	142.46	12.64
2008	0.1	1	3	22.9	175.38	164.02	161.15	159.91	148.01	138.03	100.5	0
2009	36.46	0.1	0.4	0	177.57	153.58	165.19	166.9	147.89	150.59	133.13	141.52
2010	0	0	0.5	48.3	180.31	149.79	148.07	145.08	129.97	150.64	36.06	0
2011	0.4	0.5	7.4	32.4	62.9	156.73	153.1	150.7	136.44	130.88	129.84	30.26
2012	0	0	0.5	159.9	162.13	151.54	12.73	163.04	148.68	135.02	113.9	11.8
2013	0	0.6	0	6.7	131.3	156.72	153.72	165.41	125.55	133.93	127.21	62.79
2014	0	2.6	23.8	1.12	143.4	159.81	119.49	169.98	134.58	132.71	132.3	0
2015	0	0	0.6	20	57.2	158.8	29.1	13.4	147.89	129.75	120.46	100.4

ANEXO 6

TRANSMISIVIDAD

Y

RADIO DE INFLUENCIA

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Polideportivo Don Bosco
Ubicación	Cantón "Monte Grande"
Coordenada	Norte: 256615
	Este: 589442
Caudal Extraído (GPM)	14.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 3 ft	
1	3696
2	1848
3	1232
Transmisividad Promedio	2258.67

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
50	0.936	28800	0.3	6358.87

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Polideportivo Don Bosco
Ubicación	Cantón "Monte Grande"
Coordenada	Norte: 256615
	Este: 589567
Caudal Extraído (GPM)	14.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 3 ft	
1	3696
2	1848
3	1232
Transmisividad Promedio	2258.67

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
50	0.936	28800	0.3	6358.87

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Polideportivo Don Bosco
Ubicación	Cantón "Monte Grande"
Coordenada	Norte: 256615
	Este: 589695
Caudal Extraído (GPM)	138.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 4 ft	
1	36432
2	18216
3	12144
4	9108
Transmisividad Promedio	18975

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
50	0.936	28800	0.3	6358.87

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Turicentro Aventura El Mono
Ubicación	Cantón "Havilla"
Coordenada	Norte: 252175
	Este: 592641
Caudal Extraído (GPM)	133.69
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 3ft	
1	35294.16
2	17647.08
3	11764.72
Transmisividad Promedio	21568.65

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
14	0.936	28800	0.3	3364.80

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	José Jorge Cañas
Ubicación	Cantón "El Progreso"
Coordenada	Norte: 255235
	Este: 592641
Caudal Extraído (GPM)	0.11
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 3ft	
1	29.04
2	14.52
3	9.68
Transmisividad Promedio	17.75

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
7	0.936	10800	0.3	1457.00

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Centro Escolar Hacienda la Divina Providencia
Ubicación	Cantón "El Progreso"
Coordenada	Norte: 252883
	Este: 591054
Caudal Extraído (GPM)	0.89
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 3ft	
1	234.96
2	117.48
3	78.32
Transmisividad Promedio	143.59

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
7	0.936	21600	0.3	3568.91

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Centro Escolar Monte Grande
Ubicación	Cantón "Monte Grande"
Coordenada	Norte: 252883
	Este: 591054
Caudal Extraído (GPM)	4.29
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 3ft	
1	1132.56
2	566.28
3	377.52
Transmisividad Promedio	692.12

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
53	0.936	21600	0.3	5669.74

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	María del Carmen Ochoa
Ubicación	Cantón "El Progreso"
Coordenada	Norte:255489
	Este: 588333
Caudal Extraído (GPM)	0.10
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 3ft	
1	26.4
2	13.2
3	8.8
Transmisividad Promedio	16.13

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
2.5	0.936	10800	0.3	870.72

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Estación de bombeo El Jute ANDA 1
Ubicación	Cantón " El jute"
Coordenada	Norte: 257049
	Este: 590858
Caudal Extraído (GPM)	285.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	75240
2	37620
3	25080
4	18810
5	15048
6	12540
Transmisividad Promedio	30723

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
147	0.936	72000	0.3	17239.45

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Estación de bombeo El Jute ANDA 2
Ubicación	Cantón " El jute"
Coordenada	Norte: 257049
	Este: 590858
Caudal Extraído (GPM)	349.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	92136
2	46068
3	30712
4	23034
5	18427.20
6	15356
Transmisividad Promedio	37622.20

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
144	0.936	72000	0.3	17062.63

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Pozo 1 Ingenio Chaparrastique
Ubicación	Cantón "Papalón"
Coordenada	Norte: 257808
	Este: 591908
Caudal Extraído (GPM)	900.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	237600
2	118800
3	79200
4	59400
5	47520
6	39600
Transmisividad Promedio	97020

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
144	0.936	72000	0.3	15737.39

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Pozo 2 Ingenio Chaparrastique
Ubicación	Cantón "Papalón"
Coordenada	Norte: 257665
	Este: 591686
Caudal Extraído (GPM)	900.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	237600
2	118800
3	79200
4	59400
5	47520
6	39600
Transmisividad Promedio	97020

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
128.10	0.936	72000	0.3	16093.09

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Pozo 3 Ingenio Chaparrastique
Ubicación	Cantón "Papalón"
Coordenada	Norte: 257940
	Este: 592013
Caudal Extraído (GPM)	700.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	184800
2	92400
3	61600
4	46200
5	36960
6	30800
Transmisividad Promedio	75460

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
139.60	0.936	72000	0.3	16799.93

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Universidad de El Salvador F.M.O
Ubicación	Cantón "El Jute"
Coordenada	Norte: 257909
	Este: 590881
Caudal Extraído (GPM)	50.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	13200
2	6600
3	4400
4	3300
5	2640
6	2200
Transmisividad Promedio	5390

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
52.12	0.936	36000	0.3	7258.59

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Universidad de El Salvador F.M.O 2
Ubicación	Cantón "El Jute"
Coordenada	Norte: 257510
	Este: 591386
Caudal Extraído (GPM)	250.00
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	66000
2	33000
3	22000
4	16500
5	13200
6	11000
Transmisividad Promedio	26950

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
141.16	0.936	36000	0.3	11945.54

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Urbanización Villas Deportivas 1
Ubicación	Cantón "Monte Grande"
Coordenada	Norte: 257397
	Este: 588688
Caudal Extraído (GPM)	19.75
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	5214
2	2607
3	1738
4	1303.50
5	1042.80
6	869
Transmisividad Promedio	2129.05

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
70	0.936	36000	0.3	8411.99

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Hacienda "Mi Ranchito"
Ubicación	Cantón "Monte Grande"
Coordenada	Norte: 257810
	Este: 588506
Caudal Extraído (GPM)	998.79
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	263680.56
2	131840.28
3	87893.52
4	65920.14
5	52736.11
6	43946.76
Transmisividad Promedio	107669.56

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
46	0.936	36000	0.3	6819.13

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Hacienda "La Ceiba"
Ubicación	Cantón "Tecomatal"
Coordenada	Norte: 592061
	Este: 254507
Caudal Extraído (GPM)	404.31
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	106737.84
2	53368.92
3	35579.28
4	26684.46
5	21347.568
6	17789.64
Transmisividad Promedio	43584.62

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
7	0.936	36000	0.3	2660.11

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Hacienda "El Mono"
Ubicación	Cantón "El Havillal"
Coordenada	Norte: 592905
	Este: 252507
Caudal Extraído (GPM)	508.50
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	134244
2	67122
3	44748
4	33561
5	26848.8
6	22374
Transmisividad Promedio	54816.30

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
23	0.936	36000	0.3	4821.85

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Hacienda "El Progreso"
Ubicación	Cantón "El Progreso"
Coordenada	Norte: 588004
	Este: 255562
Caudal Extraído (GPM)	390.50
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	103092
2	51546
3	34364
4	25773
5	20618.4
6	17182
Transmisividad Promedio	42095.9

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
18	0.936	36000	0.3	4265.66

Calculo de Transmisividad (GPM/Ft)	
Datos del Pozo	
Propietario:	Hacienda "La Divina Providencia"
Ubicación	Cantón "El Progreso"
Coordenada	Norte: 591322
	Este: 253024
Caudal Extraído (GPM)	590.63
Considerando valores de Δ_s 1ft hasta 6ft	
1	155926.32
2	77963.16
3	51975.44
4	38981.58
5	31185.26
6	25987.72
Transmisividad Promedio	63669.91

Calculo del Radio de Influencia del pozo (m)				
H (m)	K (m/s)	t (s)	n	Radio de influencia
28	0.936	36000	0.3	5320.21

ANEXO 7

BALANCE HÍDRICO

MEDIANTE EL MÉTODO

DE GUNTHER

SCHOSINSKY

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: I

Miembro Geologico: s2

Area: 19241481 M2

Simbologia:

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	Hsf: Humedad de Suelo Final
C2: Factor de ETP	DCC: Deficit de Capacidad de Campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por uso de suelo	NR: Necesidad de Riesgo
Kfc: Factor por tipo de suelo	Ret: Retención de Lluvia

fc (mm/d)	1440		
Kp (%)	0.06		(%) (mm)
Kv (%)	0.14	CC	11.3 108.48
Kfc (%)	0.997	PM	3.4 32.64
I (%)	1	CC-PM	7.9 75.84
DS (g/cm3)	1.6		
PR (mm)	600		
Hsi (mm)	108.48		
Nº de mes con que inicia Hsi	10		
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.38	28.34	179.21	187.92	161.15	246.19	284.28	257.54	58.40	9.86	1414.27
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	35.36	32.63	32.63	32.06	24.87	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	907.48
C1	0.04	0.00	0.02	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.43
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	4.86
HD (mm)	2.72	0.00	1.37	27.76	171.44	263.76	236.99	322.03	360.12	333.38	134.24	76.27	1930.09
ETR (mm)	2.73	0.00	1.95	35.53	90.08	157.50	159.75	163.68	140.67	135.76	67.82	73.56	1029.01
Hsf (mm)	32.63	32.63	32.06	24.87	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	35.36	907.48
DCC (mm)	75.85	75.85	76.42	83.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.42	73.12	394.28
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	5.52	30.42	1.41	82.51	143.61	121.78	0.00	0.00	385.26
NR (mm)	225.61	236.00	268.98	240.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.24	146.68	1194.65

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: II

Miembro Geologico: s2

area: 4484614M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion	P: Precipitacion Media Mensual
I: Infiltracion	Pi: Precipitacion que infiltra
CC: Capacidad de Campo	ESC: Escorrentia Superficial
PM: Punto de Marchitez	ETP: Evapotranspiracion Portencial
PR: Profundidad de Raices	ETR: Evapotranspiracion Real
(CC-PM): Rango de Agua Dispo	Hsi: Humedad de Suelo Inicial
DS: Densidad de Suelo	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP	Hsf: Humedad de Suelo Final
C2: Factor de ETP	DCC: Deficit de Capacidad de Campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por uso de suelo	NR: Necesidad de Riesgo
Kfc: Factor por tipo de suelo	Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	1440.00		
Kp (%)	0.06	(%)	(mm)
Kv (%)	0.10	CC	11.30 108.48
Kfc (%)	0.9970	PM	3.40 32.64
I (%)	1.00	CC-PM	7.90 75.84
DS (g/cm3)	1.60		
PR (mm)	600.00		
Hsi (mm)	108.48		
Nº de mes con que inicia Hsi	10.00		
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.38	28.34	179.21	187.92	161.15	246.19	284.28	257.54	58.40	9.86	1414.27
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	35.36	32.63	32.62	32.25	25.20	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	908.00
C1	0.04	0.00	0.02	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.42
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	4.86
HD (mm)	2.72	0.00	1.36	27.95	171.77	263.76	236.99	322.03	360.12	333.38	134.24	108.91	1963.25
ETR (mm)	2.73	0.00	1.75	35.39	90.08	157.50	159.75	163.68	140.67	135.76	67.82	73.56	1028.69
Hsf (mm)	32.63	32.62	32.25	25.20	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	35.36	908.00
DCC (mm)	75.85	75.86	76.23	83.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.42	73.12	393.76
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	5.85	30.42	1.41	82.51	143.61	121.78	0.00	0.00	385.59
NR (mm)	225.61	236.00	268.99	239.94	84.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.24	146.68	1278.69

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: III

Miembro Geologico: s3'a

Area: 5468020 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion

P: Precipitacion Media Mensual

I: Infiltracion

Pi: Precipitacion que infiltra

CC: Capacidad de Campo

ESC: Escorrentia Superficial

PM: Punto de Marchitez

ETP: Evapotranspiracion Potencial

PR: Profundidad de Raices

ETR: Evapotranspiracion Real

(CC-PM): Rango de Agua Dispo

Hsi: Humedad de Suelo Inicial

DS: Densidad de Suelo

HD: Humedad Disponible

C1: Factor de ETP

Hsf: Humedad de Suelo Final

C2: Factor de ETP

DCC: Deficit de Capacidad de Campo

Kp: Factor por pendiente

Rp: Recarga Potencial

Kv: Factor por uso de suelo

NR: Necesidad de Riesgo

Kfc: Factor por tipo de suelo

Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	180.00			
Kp (%)	0.06		(%)	(mm)
Kv (%)	0.11	CC	19.80	14.85
Kfc (%)	0.6358	PM	7.90	5.93
I (%)	0.8	CC-PM	11.90	8.93
DS (g/cm3)	1.50			
PR (mm)	50.00			
Hsi (mm)	14.85			
Nº de mes con que inicia Hsi	10.00			
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12			

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.11	22.83	144.41	151.43	129.86	198.38	229.08	207.53	47.06	7.94	1139.62
ESC (mm)	0.00	0.00	0.27	5.50	34.80	36.49	31.30	47.81	55.21	50.01	11.34	1.91	274.65
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	2.03	2.03	2.03	3.14	-70.05	-15.72	14.85	14.85	14.85	14.85	14.85	-5.91	-8.21
C1	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	8.00
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	3.00
HD (mm)	-5.87	-3.90	-2.78	20.05	68.43	129.78	138.78	207.30	238.00	216.45	55.98	2.03	1064.26
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	96.03	90.08	78.75	85.89	163.68	140.67	135.76	67.82	0.00	858.67
Hsf (mm)	2.03	2.03	3.14	-70.05	-15.72	14.85	14.85	14.85	14.85	14.85	-5.91	2.03	-8.21
DCC (mm)	12.82	12.82	11.71	84.90	30.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.76	12.82	186.41
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.11	43.97	34.70	88.41	71.77	0.00	0.00	280.95
NR (mm)	165.31	172.97	206.22	180.93	120.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.58	159.93	1094.60

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"														
Zona de Estudio: IV							Miembro Geologico: c2							
Area: 844928 M2														
Simbologia:														
fc: Capacidad de Infiltracion							P: Precipitacion Media Mensual							
I: Infiltracion							Pi: Precipitacion que infiltra							
CC: Capacidad de Campo							ESC: Escorrentia Superficial							
PM: Punto de Marchitez							ETP: Evapotranspiracion Portencial							
PR: Profundidad de Raices							ETR: Evapotranspiracion Real							
(CC-PM): Rango de Agua Dispon							Hsi: Humedad de Suelo Inicial							
DS: Densidad de Suelo							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP							Hsf: Humedad de Suelo Final							
C2: Factor de ETP							DCC: Deficit de Capacidad de Campo							
Kp: Factor por pendiente							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por uso de suelo							NR: Necesidad de Riesgo							
Kfc: Factor por tipo de suelo							Ret: Retencion de Lluvia							
fc (mm/d)							45.00							
Kp (%)							0.06 (%) (mm)							
Kv (%)							CC		19.80		178.20			
Kfc (%)							PM		7.90		71.10			
I (%)							CC-PM		11.90		107.10			
DS (g/cm3)							1.50							
PR (mm)							600.00							
Hsi (mm)							178.20							
Nº de mes con que inicia Hsi							10.00							
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)							0.12							
Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55	
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28	
Pi (mm)	0.00	0.00	0.63	12.93	81.79	85.77	73.55	112.36	129.75	117.54	26.65	4.50	645.47	
ESC (mm)	0.00	0.00	0.75	15.40	97.42	102.16	87.60	133.83	154.54	140.00	31.74	5.36	768.80	
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49	
Hsi (mm)	91.07	76.85	-3.22	-2.59	10.34	74.44	94.69	90.34	120.86	178.20	171.53	130.36	1032.87	
C1	0.19	1.00	0.00	0.00	0.20	0.83	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	7.72	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.83	0.00	0.00	1.19	
HD (mm)	83.17	5.75	-73.69	-60.76	21.03	89.11	97.14	131.60	179.51	224.64	127.08	134.86	959.45	
ETR (mm)	14.22	80.08	0.00	0.00	17.69	65.52	77.90	81.84	95.84	124.21	67.82	43.79	668.91	
Hsf (mm)	76.85	-3.22	-2.59	10.34	74.44	94.69	90.34	120.86	120.86	171.53	130.36	91.07	975.54	
DCC (mm)	101.35	181.42	180.79	167.86	103.76	83.51	87.86	57.34	57.34	6.67	47.84	87.13	1162.86	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.91	0.00	0.00	0.00	33.91	
NR (mm)	239.62	261.50	375.30	359.91	266.23	0.00	0.00	0.00	0.00	18.22	115.66	190.45	1826.88	

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: V

Miembro Geologico: c2

Area: 246144 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion	P: Precipitacion Media Mensual
I: Infiltracion	Pi: Precipitacion que infiltra
CC: Capacidad de Campo	ESC: Escorrentia Superficial
PM: Punto de Marchitez	ETP: Evapotranspiracion Portencial
PR: Profundidad de Raices	ETR: Evapotranspiracion Real
(CC-PM): Rango de Agua Disponible	Hsi: Humedad de Suelo Inicial
DS: Densidad de Suelo	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP	Hsf: Humedad de Suelo Final
C2: Factor de ETP	DCC: Deficit de Capacidad de Campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por uso de suelo	NR: Necesidad de Riesgo
Kfc: Factor por tipo de suelo	Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	45.00		
Kp (%)	0.06	(%)	(mm)
Kv (%)	0.10	CC	19.80 178.20
Kfc (%)	0.2864	PM	7.90 71.10
I (%)	0.4464	CC-PM	11.90 107.10
DS (g/cm3)	1.50		
PR (mm)	600.00		
Hsi (mm)	178.20		
Nº de mes con que inicia Hsi	10.00		
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	0.62	12.65	80.00	83.89	71.94	109.90	126.90	114.97	26.07	4.40	631.33
ESC (mm)	0.00	0.00	0.76	15.69	99.21	104.03	89.22	136.29	157.38	142.57	32.33	5.46	782.94
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	90.56	76.71	-3.37	-2.75	9.90	74.09	94.10	89.91	117.96	178.20	170.59	128.83	1024.72
C1	0.18	1.00	0.00	0.00	0.18	0.81	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	7.63
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.81	0.00	0.00	1.11
HD (mm)	82.66	5.61	-73.85	-61.20	18.80	86.88	94.94	128.70	173.77	222.07	125.55	133.23	937.15
ETR (mm)	13.85	80.08	0.00	0.00	15.81	63.88	76.13	81.84	92.07	122.58	67.82	42.67	656.73
Hsf (mm)	76.71	-3.37	-2.75	9.90	74.09	94.10	89.91	117.96	117.96	170.59	128.83	90.56	964.48
DCC (mm)	101.49	181.57	180.95	168.30	104.11	84.10	88.29	60.24	60.24	7.61	49.37	87.64	1173.92
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.83	0.00	0.00	0.00	34.83
NR (mm)	240.13	261.64	375.46	360.35	268.46	0.00	0.00	0.00	0.00	20.79	117.19	192.08	1836.11

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: VI

Miembro Geologico: c2

Area: 408230 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion

P: Precipitacion Media Mensual

I: Infiltracion

Pi: Precipitacion que infiltra

CC: Capacidad de Campo

ESC: Escorrentia Superficial

PM: Punto de Marchitez

ETP: Evapotranspiracion Portencial

PR: Profundidad de Raices

ETR: Evapotranspiracion Real

(CC-PM): Rango de Agua Disponible

Hsi: Humedad de Suelo Inicial

DS: Densidad de Suelo

HD: Humedad Disponible

C1: Factor de ETP

Hsf: Humedad de Suelo Final

C2: Factor de ETP

DCC: Deficit de Capacidad de Campo

Kp: Factor por pendiente

Rp: Recarga Potencial

Kv: Factor por uso de suelo

NR: Necesidad de Riesgo

Kfc: Factor por tipo de suelo

Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	45.00		
Kp (%)	0.06	(%)	(mm)
Kv (%)	0.10	CC	19.80 178.20
Kfc (%)	0.2864	PM	7.90 71.10
I (%)	0.4464	CC-PM	11.90 107.10
DS (g/cm3)	1.50		
PR (mm)	600.00		
Hsi (mm)	178.20		
Nº de mes con que inicia Hsi	10.00		
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	0.62	12.65	80.00	83.89	71.94	109.90	126.90	114.97	26.07	4.40	631.33
ESC (mm)	0.00	0.00	0.76	15.69	99.21	104.03	89.22	136.29	157.38	142.57	32.33	5.46	782.94
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	90.56	76.71	-3.37	-2.75	9.90	74.09	94.10	89.91	117.96	178.20	170.59	128.83	1024.72
C1	0.18	1.00	0.00	0.00	0.18	0.81	0.89	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	7.63
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.81	0.00	0.00	1.11
HD (mm)	82.66	5.61	-73.85	-61.20	18.80	86.88	94.94	128.70	173.77	222.07	125.55	133.23	937.15
ETR (mm)	13.85	80.08	0.00	0.00	15.81	63.88	76.13	81.84	92.07	122.58	67.82	42.67	656.73
Hsf (mm)	76.71	-3.37	-2.75	9.90	74.09	94.10	89.91	117.96	117.96	170.59	128.83	90.56	964.48
DCC (mm)	101.49	181.57	180.95	168.30	104.11	84.10	88.29	60.24	60.24	7.61	49.37	87.64	1173.92
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.83	0.00	0.00	0.00	34.83
NR (mm)	240.13	261.64	375.46	360.35	268.46	0.00	0.00	0.00	0.00	20.79	117.19	192.08	1836.11

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: VII

Miembro Geologico: c3

Area: 3936936 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion

P: Precipitacion Media Mensual

I: Infiltracion

Pi: Precipitacion que infiltra

CC: Capacidad de Campo

ESC: Escorrentia Superficial

PM: Punto de Marchitez

ETP: Evapotranspiracion Portencial

PR: Profundidad de Raices

ETR: Evapotranspiracion Real

(CC-PM): Rango de Agua Disponible

Hsi: Humedad de Suelo Inicial

DS: Densidad de Suelo

HD: Humedad Disponible

C1: Factor de ETP

Hsf: Humedad de Suelo Final

C2: Factor de ETP

DCC: Deficit de Capacidad de Campo

Kp: Factor por pendiente

Rp: Recarga Potencial

Kv: Factor por uso de suelo

NR: Necesidad de Riesgo

Kfc: Factor por tipo de suelo

Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	45.00		
Kp (%)	0.06	(%)	(mm)
Kv (%)	0.30	CC	19.80 68.31
Kfc (%)	0.2864	PM	7.90 27.26
I (%)	0.6464	CC-PM	11.90 41.06
DS (g/cm3)	1.50		
PR (mm)	230.00		
Hsi (mm)	68.31		
Nº de mes con que inicia Hsi	10.00		
Lluvia reenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	0.89	18.32	115.84	121.47	104.17	159.14	183.76	166.47	37.75	6.37	914.19
ESC (mm)	0.00	0.00	0.49	10.02	63.37	66.45	56.98	87.05	100.52	91.07	20.65	3.49	500.09
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	-42.70	-42.70	-42.70	-41.81	-23.49	2.27	45.00	63.28	68.31	68.31	68.31	38.24	160.33
C1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.19	8.19
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	1.00	0.00	0.00	1.41
HD (mm)	-50.60	-69.95	-69.06	-50.74	65.10	96.49	121.91	195.16	224.82	207.53	78.80	44.61	794.07
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	90.08	78.75	85.89	81.84	99.18	135.76	67.82	87.31	726.62
Hsf (mm)	-42.70	-42.70	-41.81	-23.49	2.27	45.00	63.28	68.31	68.31	68.31	38.24	-42.70	160.33
DCC (mm)	111.01	111.01	110.12	91.80	66.04	23.31	5.03	0.00	0.00	0.00	30.07	111.01	659.39
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.27	84.58	30.71	0.00	0.00	187.57
NR (mm)	263.50	271.16	304.63	283.85	156.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.89	170.81	1547.95

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: VIII

Miembro Geologico: C2

Area: 2232284 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion

P: Precipitacion Media Mensual

I: Infiltracion

Pi: Precipitacion que infiltra

CC: Capacidad de Campo

ESC: Escorrentia Superficial

PM: Punto de Marchitez

ETP: Evapotranspiracion Potencial

PR: Profundidad de Raices

ETR: Evapotranspiracion Real

(CC-PM): Rango de Agua Disponible

Hsi: Humedad de Suelo Inicial

DS: Densidad de Suelo

HD: Humedad Disponible

C1: Factor de ETP

Hsf: Humedad de Suelo Final

C2: Factor de ETP

DCC: Deficit de Capacidad de Campo

Kp: Factor por pendiente

Rp: Recarga Potencial

Kv: Factor por uso de suelo

NR: Necesidad de Riesgo

Kfc: Factor por tipo de suelo

Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)

45.00

Kp (%)

0.06

(%) (mm)

Kv (%)

0.17

CC

19.80

353.43

Kfc (%)

0.2864

PM

7.90

141.02

I (%)

0.5164

CC-PM

11.90

212.42

DS (g/cm3)

1.50

PR (mm)

1190.00

Hsi (mm)

353.43

Nº de mes con que inicia Hsi

10.00

Lluvia reeenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)

0.12

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	0.71	14.63	92.55	97.04	83.22	127.13	146.80	132.99	30.16	5.09	730.33
ESC (mm)	0.00	0.00	0.67	13.70	86.67	90.88	77.93	119.06	137.48	124.55	28.24	4.77	683.94
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	205.12	175.62	159.36	150.61	153.24	194.61	221.37	225.80	252.55	353.43	309.05	253.06	2653.80
C1	0.30	0.16	0.09	0.11	0.49	0.71	0.77	1.00	1.00	1.63	0.93	0.55	7.75
C2	0.09	0.04	0.01	0.01	0.07	0.18	0.15	0.23	0.55	0.99	0.34	0.17	2.83
HD (mm)	197.22	34.60	19.06	24.23	104.77	150.64	163.57	211.91	258.34	345.41	198.19	258.14	1966.08
ETR (mm)	29.50	16.25	9.46	12.00	51.18	70.28	78.79	100.38	109.30	177.38	86.15	53.03	793.70
Hsf (mm)	175.62	159.36	150.61	153.24	194.61	221.37	225.80	252.55	252.55	309.05	253.06	205.12	2552.92
DCC (mm)	177.81	194.07	202.82	200.19	158.82	132.06	127.63	100.88	100.88	44.38	100.37	148.31	1688.24
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.51	0.00	0.00	0.00	37.51
NR (mm)	300.80	337.96	387.86	380.23	287.80	219.28	220.61	164.18	0.00	2.77	149.87	242.40	2693.77

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: IX
Area: 145905 M2

Miembro Geologico: s2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion	P: Precipitacion Media Mensual
I: Infiltracion	Pi: Precipitacion que infiltra
CC: Capacidad de Campo	ESC: Escorrentia Superficial
PM: Punto de Marchitez	ETP: Evapotranspiracion Portencial
PR: Profundidad de Raices	ETR: Evapotranspiracion Real
(CC-PM): Rango de Agua Disponible	Hsi: Humedad de Suelo Inicial
DS: Densidad de Suelo	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP	Hsf: Humedad de Suelo Final
C2: Factor de ETP	DCC: Deficit de Capacidad de Campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor uso de suelo	NR: Necesidad de Riesgo
Kfc: Factor por tipo de suelo	Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	1440		
Kp (%)	0.06		(%) (mm)
Kv (%)	0.1	CC	11.3 108.48
Kfc (%)	0.997	PM	3.4 32.64
I (%)	1	CC-PM	7.9 75.84
DS (g/cm3)	1.6		
PR (mm)	600		
Hsi (mm)	108.48		
N° de mes con que inicia Hsi	10		
Lluvia retenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
PI (mm)	0.00	0.00	1.38	28.34	179.21	187.92	161.15	246.19	284.28	257.54	58.40	9.86	1414.27
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	35.36	32.31	32.31	32.72	25.52	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	908.15
C1	0.04	0.00	0.01	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.42
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	4.86
HD (mm)	2.72	0.00	1.05	28.41	172.09	263.76	236.99	322.03	360.12	333.38	134.24	76.27	1931.07
ETR (mm)	3.05	0.00	0.97	35.53	90.08	157.50	159.75	163.68	140.67	135.76	67.82	73.56	1028.36
Hsf (mm)	32.31	32.31	32.72	25.52	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	35.36	908.15
DCC (mm)	76.17	76.17	75.76	82.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.42	73.12	393.61
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	6.17	30.42	1.41	82.51	143.61	121.78	0.00	0.00	385.91
NR (mm)	225.61	236.32	269.30	239.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.24	146.68	1194.64

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: X

Miembro Geologico: s2

Area: 561510 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion	P: Precipitacion Media Mensual
I: Infiltracion	Pi: Precipitacion que infiltra
CC: Capacidad de Campo	ESC: Escorrentia Superficial
PM: Punto de Marchitez	ETP: Evapotranspiracion Portencial
PR: Profundidad de Raices	ETR: Evapotranspiracion Real
(CC-PM): Rango de Agua Disponible	Hsi: Humedad de Suelo Inicial
DS: Densidad de Suelo	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP	Hsf: Humedad de Suelo Final
C2: Factor de ETP	DCC: Deficit de Capacidad de Campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por uso de suelo	NR: Necesidad de Riesgo
Kfc: Factor por tipo de suelo	Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	1440		
Kp (%)	0.06	(%)	(mm)
Kv (%)	0.1	CC	11.3 108.48
Kfc (%)	0.997	PM	3.4 32.64
I (%)	1	CC-PM	7.9 75.84
DS (g/cm3)	1.6		
PR (mm)	600		
Hsi (mm)	108.48		
Nº de mes con que inicia Hsi	10		
Lluvia retenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.38	28.34	179.21	187.92	161.15	246.19	284.28	257.54	58.40	9.86	1414.27
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	35.36	32.31	32.31	32.72	25.52	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	908.15
C1	0.04	0.00	0.01	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.42
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	4.86
HD (mm)	2.72	0.00	1.05	28.41	172.09	263.76	236.99	322.03	360.12	333.38	134.24	76.27	1931.07
ETR (mm)	3.05	0.00	0.97	35.53	90.08	157.50	159.75	163.68	140.67	135.76	67.82	73.56	1028.36
Hsf (mm)	32.31	32.31	32.72	25.52	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	108.48	99.06	35.36	908.15
DCC (mm)	76.17	76.17	75.76	82.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.42	73.12	393.61
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	6.17	30.42	1.41	82.51	143.61	121.78	0.00	0.00	385.91
NR (mm)	225.61	236.32	269.30	239.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.24	146.68	1194.64

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: XI

Miembro Geologico: s3'a

Area: 9073680 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion

P: Precipitacion Media Mensual

I: Infiltracion

Pi: Precipitacion que infiltra

CC: Capacidad de Campo

ESC: Escorrentia Superficial

PM: Punto de Marchitez

ETP: Evapotranspiracion Potencial

PR: Profundidad de Raices

ETR: Evapotranspiracion Real

(CC-PM): Rango de Agua Disponible

Hsi: Humedad de Suelo Inicial

DS: Densidad de Suelo

HD: Humedad Disponible

C1: Factor de ETP

Hsf: Humedad de Suelo Final

C2: Factor de ETP

DCC: Deficit de Capacidad de Campo

Kp: Factor por pendiente

Rp: Recarga Potencial

Kv: Factor por uso de suelo

NR: Necesidad de Riesgo

Kfc: Factor por tipo de suelo

Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	180			
Kp (%)	0.06		(%)	(mm)
Kv (%)	0.1	CC	19.8	324.38
Kfc (%)	0.6358	PM	7.9	129.43
I (%)	0.7958	CC-PM	11.9	194.96
DS (g/cm3)	1.6			
PR (mm)	1023.94			
Hsi (mm)	324.38			
Nº de mes con que inicia Hsi	10			
Lluvia retenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12			

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.10	22.55	142.62	149.55	128.25	195.92	226.23	257.54	58.40	9.86	1192.01
ESC (mm)	0.00	0.00	0.28	5.79	36.60	38.37	32.91	50.27	58.05	0.00	0.00	0.00	222.27
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	211.30	172.30	151.55	141.04	146.51	209.74	251.31	259.15	305.24	324.38	324.38	274.01	2770.90
C1	0.42	0.22	0.12	0.18	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	8.55
C2	0.09	0.04	0.00	0.00	0.06	0.37	0.40	0.83	1.00	1.00	0.60	0.19	4.60
HD (mm)	81.87	42.88	23.22	34.16	159.70	229.86	250.13	325.64	402.05	452.49	253.35	154.44	2409.79
ETR (mm)	38.99	20.76	11.61	17.08	79.39	107.98	120.40	149.83	140.67	135.76	108.77	72.57	1003.80
Hsf (mm)	172.30	151.55	141.04	146.51	209.74	251.31	259.15	305.24	324.38	324.38	274.01	211.30	2770.90
DCC (mm)	152.08	172.83	183.34	177.87	114.64	73.07	65.23	19.14	0.00	0.00	50.37	113.08	1121.66
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.42	121.78	0.00	0.00	188.20
NR (mm)	265.57	312.23	366.24	352.84	114.64	73.07	65.23	19.14	0.00	0.00	77.24	214.50	1860.71

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: XIII

Miembro Geologico: Q'f

Area: 22412453 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion

P: Precipitacion Media Mensual

I: Infiltracion

Pi: Precipitacion que infiltra

CC: Capacidad de Campo

ESC: Escorrentia Superficial

PM: Punto de Marchitez

ETP: Evapotranspiracion Potencial

PR: Profundidad de Raices

ETR: Evapotranspiracion Real

(CC-PM): Rango de Agua Disponible

Hsi: Humedad de Suelo Inicial

DS: Densidad de Suelo

HD: Humedad Disponible

C1: Factor de ETP

Hsf: Humedad de Suelo Final

C2: Factor de ETP

DCC: Deficit de Capacidad de Campo

Kp: Factor por pendiente

Rp: Recarga Potencial

Kv: Factor por uso de suelo

NR: Necesidad de Riesgo

Kfc: Factor por tipo de suelo

Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	280			
Kp (%)	0.06		(%)	(mm)
Kv (%)	0.13	CC	21.5	164.91
Kfc (%)	0.7384	PM	10.2	78.23
I (%)	1	CC-PM	11.3	86.67
DS (g/cm3)	1.3			
PR (mm)	590			
Hsi (mm)	164.91			
Nº de mes con que inicia Hsi	10			
Lluvia retenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12			

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.38	28.34	179.21	187.92	161.15	246.19	284.28	257.54	58.40	9.86	1414.27
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	90.30	79.69	78.34	78.05	75.20	164.33	164.91	164.91	164.91	164.91	164.91	148.11	1538.54
C1	0.14	0.02	0.02	0.32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	8.42
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.11	0.00	2.11
HD (mm)	12.07	1.45	1.49	28.15	176.17	274.02	247.83	332.86	370.96	344.21	145.07	79.73	2014.00
ETR (mm)	10.61	1.34	1.67	31.19	90.08	78.75	85.89	81.84	140.67	135.76	75.20	67.66	800.67
Hsf (mm)	79.69	78.34	78.05	75.20	164.33	164.91	164.91	164.91	164.91	164.91	148.11	90.30	1538.54
DCC (mm)	85.22	86.56	86.85	89.71	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.80	74.61	440.32
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	108.60	75.27	164.35	143.61	121.78	0.00	0.00	613.60
NR (mm)	227.10	245.37	279.69	250.57	90.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.24	154.05	1324.67

BALANCE HIDRICO "GUNTHER SCHOSINKY"

Zona de Estudio: XIV

Miembro Geologico: Q'f

Area: 1377120 M2

Simbologia:

fc: Capacidad de Infiltracion	P: Precipitacion Media Mensual
I: Infiltracion	Pi: Precipitacion que infiltra
CC: Capacidad de Campo	ESC: Escorrentia Superficial
PM: Punto de Marchitez	ETP: Evapotranspiracion Portencial
PR: Profundidad de Raices	ETR: Evapotranspiracion Real
(CC-PM): Rango de Agua Disponible	Hsi: Humedad de Suelo Inicial
DS: Densidad de Suelo	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP	Hsf: Humedad de Suelo Final
C2: Factor de ETP	DCC: Deficit de Capacidad de Campo
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por uso de suelo	NR: Necesidad de Riesgo
Kfc: Factor por tipo de suelo	Ret: Retencion de Lluvia

fc (mm/d)	280		
Kp (%)	0.06	(%)	(mm)
Kv (%)	0.13	CC	21.5 167.70
Kfc (%)	0.7384	PM	10.2 79.56
I (%)	1	CC-PM	11.3 88.14
DS (g/cm3)	1.3		
PR (mm)	600		
Hsi (mm)	167.70		
Nº de mes con que inicia Hsi	10		
Luvia retenida (%) bosque (0.2), otro (0.12)	0.12		

Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P (mm)	0.08	0.53	6.38	32.20	203.65	213.55	183.13	279.76	323.05	292.66	66.36	11.20	1612.55
Ret (mm)	0.08	0.53	5.00	3.86	24.44	25.63	21.98	33.57	38.77	35.12	7.96	1.34	198.28
Pi (mm)	0.00	0.00	1.38	28.34	179.21	187.92	161.15	246.19	284.28	257.54	58.40	9.86	1414.27
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.49	160.15	194.51	192.05	180.16	157.50	171.77	163.68	140.67	135.76	135.64	147.11	1931.49
Hsi (mm)	92.83	81.35	79.72	79.40	77.04	166.17	167.70	167.70	167.70	167.70	167.70	149.89	1564.91
C1	0.15	0.02	0.02	0.32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	8.42
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.88	0.00	1.00	1.00	0.12	0.00	4.00
HD (mm)	13.27	1.79	1.54	28.18	176.69	274.54	249.29	334.33	372.42	345.68	146.54	80.19	2024.46
ETR (mm)	11.48	1.63	1.70	30.70	90.08	157.50	161.43	81.84	140.67	135.76	76.20	66.92	955.91
Hsf (mm)	81.35	79.72	79.40	77.04	166.17	167.70	167.70	167.70	167.70	167.70	149.89	92.83	1564.91
DCC (mm)	86.35	87.98	88.30	90.66	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.81	74.87	447.49
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.90	0.00	164.35	143.61	121.78	0.00	0.00	458.64
NR (mm)	227.36	246.50	281.11	252.01	91.61	0.00	10.62	0.00	0.00	0.00	77.24	155.06	1341.51

ANEXO 8

GUÍA DE

COMPENSACIÓN

AMBIENTAL

DIRECCION GENERAL DE EVALUACION Y CUMPLIMIENTO AMBIENTAL

**GUÍA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE LA COMPENSACIÓN
AMBIENTAL PARA PROYECTOS AMBIENTALMENTE VIABLES**

1. INTRODUCCION

La Ley del Medio Ambiente contempla entre algunos de sus conceptos y definiciones básicas:

Art. 5.- Para los efectos de esta ley y su reglamento, se entenderá por:

COMPENSACIÓN AMBIENTAL: Conjunto de Mecanismos que el Estado y la población puede adoptar conforme a la ley para reponer o compensar los impactos inevitables que cause su presencia en el medio ambiente. Las compensaciones pueden ser efectuadas en forma directa o a través de agentes especializados, en el sitio del impacto, en zonas aledañas o en zonas más propicias para su reposición o recuperación.

CONSERVACIÓN: Conjunto de actividades humanas para garantizar el uso sostenible del ambiente, incluyendo las medidas para la protección, el mantenimiento, la rehabilitación, la restauración, el manejo y el mejoramiento de los recursos naturales y ecosistema

OBLIGACIÓN DE REPARAR EL DAÑO como deber legal de restablecer el medio ambiente o ecosistema, a la situación anterior al hecho, que lo contaminó, deterioró o destruyó, cuando sea posible, o en dar una compensación a la sociedad en su conjunto, que sustituya de la forma más adecuada y equitativa el daño, además de indemnizar a los particulares por perjuicios conexos con el daño ambiental, según corresponda.

2. GUIA PARA LA REALIZACIÓN DE LA COMPENSACIÓN AMBIENTAL

La Compensación Ambiental depende o está en función de los impactos actuales o de los potenciales de los proyectos hacia el medio ambiente. Comprende 3 componentes:

- a) Identificación de los impactos,
- b) Cuantificación de los impactos y
- c) Compensación Ambiental en correspondencia a la reparación, conservación, manejo y control de los impactos.

DESARROLLO DE LOS COMPONENTES:

I. Identificación de impactos:

A la vegetación, fauna silvestre, suelo, agua, otros (si los hay)

II. Cuantificación de Impactos

La **cuantificación del impacto** debe hacerse en función del recurso natural al cual el proyecto afecta o afectará, habiendo para cada uno de los recursos identificados considerar los siguientes, según el caso:

1. **Pérdida de cobertura vegetal:** número de árboles y/o arbustos a talar
2. **Impermeabilización del suelo:** área a impermeabilizar.(ha) por infraestructura, calles, otros
3. **Afectación al recurso agua:**
 - a) Volumen de agua lluvia que no se infiltrará por efecto de la impermeabilización del suelo (m3 anuales). Usar valor de impacto número 2
 - b) Volumen de agua por consumo de la población actual o futura (m3 anuales) Corresponde a la extracción de aguas subterráneas (pozos)
 - c) Volumen de agua por consumo de la actividad productiva actual o futura (m3 anuales)
4. **Afectación al paisaje y vida silvestre**

Los impactos antes mencionados y los impactos al aire y remoción de suelo, deben ser considerados dentro del Programa de Manejo Ambiental, considerando las medidas de prevención, manejo y de protección.

Cálculo de aguas lluvias no infiltradas:

La cuantificación de la afectación al recurso agua por efecto de la impermeabilización del suelo, deberá ser hecha mediante la realización de un **balance hídrico elemental:**

Lluvia = Evapotranspiración Real (ETP) + Escurrimiento (C) + Infiltración (I)

Infiltración = Lluvia – ETR - Escurrimiento

Este instrumento (balance hídrico), también deberá ser aplicado en la zona donde se realizara la compensación total del agua, considerando la impermeabilización y el consumo.

Se tendrá en consideración las condiciones y características de la lluvia y del suelo área del proyecto; del mismo modo se hará para el área en donde se realizará la compensación ambiental.

Para la determinación de los valores de la lluvia y de la ETR podrá usarse información oficial del Observatorio Ambiental (antes Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET) u otra válida disponible.

El escurrimiento será determinado considerando:

- a) Uso actual de suelo. Cobertura vegetal
- b) Pendiente del terreno
- c) Permeabilidad, según textura

Para esta determinación hay tablas y gráficos (valor "C"). Si el suelo no es uniforme, este valor debe definirse de forma ponderada

La infiltración podrá obtenerse por diferencia, utilizando la ecuación del balance

Infiltración = Lluvia – ETR - Escurrimiento

También puede calcularse la infiltración por la metodología válida disponible y por diferencia obtener de esta manera el escurrimiento

Escurrimiento = Lluvia - ETR – Infiltración

III. COMPENSACION AMBIENTAL TOTAL.

Guía para su determinación

Para la valoración y cuantificación de la **compensación ambiental**, deben considerarse **como ejemplo** los siguientes pasos:

Por Vegetación

Plantación de 10 árboles por cada árbol talado

Tala: 100 árboles. Compensación: 1000 árboles. Distanciamientos: 4 m x 4 m = 16 m² = 1.60 ha

Plantación de un arbusto por cada arbusto talado

Tala: 400 arbustos. Compensación: 400 arbustos. Distanciamientos: 3 m x 3 m = 9 m² = 0.36 ha

Total a reforestar: 1.96 ha

Por agua

Impermeabilización del suelo:

Proyecto: 20 ha

Área verde: 2 ha (10%)

Accesos, circulación (30%): 6 ha de impermeabilización

Área útil: 12 ha. Impermeabilización: 30% = 3.6 ha

Total de impermeabilización = 9.6 ha.

Lluvia: 1800 mm

Infiltración: 15% = 270 mm = 2700 m³/ha

A compensar: 2700 m³/ha x 9.6 ha = 25,920 m³ agua/año

Consumo doméstico:

Número de lotes del proyecto: 12 ha / lotes de 400 m²= 300 lotes

Número futuro de personas por lote (4): 1200 personas

Dotación de agua por persona: 200 litros/día

Volumen anual de agua por consumo en m³= 87,600 m³

Total agua a compensar: 25,920 m³ + 87,600 m³ = 113,520 m³

Para efectos de COMPENSACIÓN:

Describir las características biofísicas actuales del área en donde se realizará la compensación, considerando las condiciones climáticas y edáficas del lugar

1. Uso del suelo, pendientes, permeabilidad según textura
2. Balance hídrico actual
3. Cálculo del área a reforestar (ha)

Por tala de árboles y arbustos: 1.96 ha

Por impacto al agua: 113,520 m³

Si la lluvia: 1900 mm /año

Infiltración: 25% = 475 mm = 4750 m³/ha

Área a compensar: 113,520 m³/4750 m³/ha = 23.90 ha

Área total a compensar: 23.90 ha+1.96 ha = 25.86 ha

Afectación al paisaje y vida silvestre. Se tiene dos opciones

3. Propuesta del Titular, mediante la utilización de una metodología para su cálculo
4. Utilizar el valor de \$ 980.00/ha (fuente: Méndez Rodríguez, Colombia, 2011)

FORMAS DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL:

1. REFORESTACIÓN.

Número de hectáreas a compensar y los costos correspondientes, incluyendo nombres comunes y técnicos de las especies, distanciamientos y 3 años de mantenimiento para asegurar el establecimiento de la plantación.

2. MEDIDAS DE RECARGA HÍDRICA

Pueden ser obras mecánicas o vegetativas para la captación e infiltración de aguas lluvias que realicen recarga hídrica ya sea en forma subsuperficial o subterránea, de tal manera que sirvan para enriquecer nacimientos de agua y mantos acuíferos

Estas obras pueden ser:

- Acequias de absorción (a nivel), para infiltración de aguas lluvias ya sea para recarga hídrica acuífera o subsuperficial
- Pozos de absorción de aguas lluvias para recarga hídrica acuífera o subsuperficial
- Cajuelas (similar al hecho en cafetales), para recolectar aguas lluvias y su subsiguiente infiltración para recarga hídrica acuífera o subsuperficial
- Otra obras de captación de aguas lluvias que tengan la misma finalidad

Pueden ser realizadas en áreas de producción agropecuaria o en otras que permitan la infiltración de aguas lluvias y la correspondiente recarga hídrica

3. ACCIONES PARA BENEFICIO SOCIAL, Relacionadas con la gestión de riesgos

- a) En sitios inestables susceptibles a que puedan realizarse movimientos masivos de tierra hacia las partes bajas
- b) En sitios ubicados en partes las bajas y que son vulnerables a recibir suelo erosionado proveniente de lugares inestables ubicados en las partes altas

Para ello, pueden ser diseñadas y construidas obras para la estabilización de taludes, zanjones y cárcavas, mediante la ejecución de medidas conservacionistas de naturaleza mecánica y/o vegetativa.

Las medidas mecánicas pueden ser muros o diques de retención (guardaniveles transversales), laterales (deflectores) o de contención. Para lechos y taludes de cárcavas o zanjones inestables puedes ser usando los de tipo gavionado y para sitios estables, de tipo mampostería hidráulica.

- c) En planicies de inundación o sitios de desbordamientos de ríos. Pueden ser diseñas y construidas medidas de control como:

- Canales de desviación de aguas lluvias o de cursos de agua a sitios estables
- Bordas de tierra debidamente reforzadas, con conducción de drenajes de las aguas lluvias hacia sitios estabilizados.

- Pozos de absorción de aguas lluvias, ubicados aguas arriba de los sitios de inundación
- Establecimiento de bosques de galería en márgenes de ríos inestables, utilizando especies forestales adaptadas a las condiciones edáficas y climáticas de la zona

COSTO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL EQUIVALENTE

Impactos a la flora (tala de árboles y arbustos), suelo (impermeabilización) y agua (consumo)

MÓDULO BASE DE CÁLCULO: 10 HECTÁREAS

REFERENCIA DE CÁLCULO: reforestación con especies arbóreas. Estas plantaciones no deben de la misma especie sino que debe ser realizada con diversas especies adaptadas a los sitios a reforestar, o sea que sean de carácter mixto.

Condicionantes

Distanciamiento de siembra entre árboles: 4x4 metros

Número de árboles por hectárea: 625; 6250 Árboles/10 hectáreas

Cálculos

Precio de plántula de un metro de altura: \$2.50

Precio de 6250 plántulas: \$15,625.00

Trazo y estaquillado a nivel de campo (4 días): \$1,000.00

Transporte de 6250 plántulas (1 viaje: 200 plántulas): 32 viajes

1 viaje: \$50.00; costo 32 viajes: \$1,600.00

Plantación

Ahoyado de 0.40 m x 0.40 m x 0.40m (0.064 m³)

Abonado: aplicación de 1 onza de abono orgánico por planta

Precio abono orgánico: \$15.00 qq

Aplicación: 1 onza/planta: 16 plantas/libra: 1600 plantas/qq

Costo abono orgánico: $6250/1600 = 3.91$ qq = 4.0 qq : \$60.00

Tarea/día: 20 plántulas cada trabajador

(Longitud de 80 metros; remoción y relleno de 1.28 m³ de suelo)

Días/hombre necesarios: 6250 plántulas/ 20 plantas día: 312.5 días hábiles

Tiempo de ejecución: 28 días calendario

(20 días de trabajo y 8 días fines de semana no trabajados)

Número de trabajadores: 312.5 días hábiles/ 20 días trabajados: $15.625 = 16$

Costo jornales:

Salario mínimo diario rural: \$3.50 actual; \$ 3.64 futuro (4% mayor):

Con 1SSS: $10\% = 16 \times 3.64 \times 28 = \$1631 + 163 =$ \$ 1,794.00

Herramientas: \$ 640.00

16 piochas, \$15 c/u: \$240

16 palas dúplex, \$25 c/u: \$400

TOTAL PLANTACION = \$20,719

MANTENIMIENTO 3 años **\$11,395.00**

Remoción maleza alrededor de plántula

Resiembra de plantas perdidas

Control de plagas y enfermedades

Mantenimiento año 1 (25%)

Mantenimiento año 2 (15%)

Mantenimiento año 3 (15%)

COSTO DE PLANTACIÓN Y MANTENIMIENTO POR 3 AÑOS: **\$**
32,114.00

COSTOS DE EJECUCION

Imprevistos en planeación (10%) \$3,211.00

Gastos de administración (12%) \$ 3,854.00

Asistencia técnica (25%) \$ 8,029.00

GRAN TOTAL módulo 10 hectáreas forestales = \$ 47,208

Costo por hectárea = \$ 4,721.00

Enero 2014