

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



TESIS:

“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE
LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL”

PRESENTA:

CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO.

MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.

SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.

SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER.

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL.

MARZO 2019

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.

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



TESIS:

“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE
LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL”

PRESENTA:

CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO.

MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.

SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.

SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER.

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL.

MARZO 2019

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE
INFLUENCIA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

AUTORIDADES

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO.

RECTOR.

ING. NELSON BERNABÉ GRANADOS.

VICE-RECTOR ACADÉMICO.

M.S.C. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ.

SECRETARIO GENERAL.

LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN.

FISCAL GENERAL INTERINO.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE
INFLUENCIA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.

AUTORIDADES.

ING. JOAQUÍN ORLANDO MACHUCA GÓMEZ.

DECANO.

LIC. CARLOS ALEXANDER DÍAZ.

VICE-RECTOR.

LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNÁNDEZ.

SECRETARIO.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

AUTORIDADES

ING. JUAN ANTONIO GRANILLO.

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA.

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS.

DOCENTE DIRECTOR.

ING. DAVID ARNOLDO CHÁVEZ SARAVIA.

TRIBUNAL CALIFICADOR.

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE
INFLUENCIA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

TRIBUNAL CALIFICADOR.

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:

“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE
LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL”

PRESENTADO POR:

CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO.

MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.

SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.

SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER.

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS.

DOCENTE DIRECTOR.

CIUDAD UNIVERSITARIA DE ORIENTE.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA.

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS.

DOCENTE DIRECTOR.

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por haberme dado la sabiduría para salir adelante en cada día, por cuidarme a cada momento y en cada lugar, por haberme dado la fuerza para luchar, por haberme rodeado de personas que me ayudaron a mi crecimiento personal.

A mis padres Yesenia Benavides, Julio Mejía a quienes dedico este trabajo de graduación por haber estado a cada momento alentándome a seguir adelante, haberme guiado a cada momento, por sus consejos y fortalecerme a cada momento, porque dieron todo su sacrificio por verme lograr este triunfo.

A mis hermanos: Katerin y Henry como parte de de mi inspiración y el apoyo que me dieron.

A toda mi familia: por haberme apoyado en cada momento y creer en mí, por depositar su confianza y alentarme a salir adelante.

Al personal guarda recursos del MARN: por el esfuerzo y habernos apoyado en las labores de campo que fueron tan necesarias en esta investigación.

A la Ing. Laura Gil e Ing. Antonio Medina: por haber estado apoyándonos grandemente a lo largo del desarrollo de la investigación por su aporte científico y por haber creído en nosotros.

A mis compañeros de tesis: por haber confiado en mí y haber emprendido ese largo camino que tuvimos que recorrer para ahora ver cumplido nuestro sueño.

CÉSAR ARNOLDO MEJÍA BENAVIDES.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestros hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Jorge Sánchez y Elida Barrientos por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador Facultad de Oriente, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al ing. Guillermo Moya Turcios tutor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, también al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales por su apoyo técnico y por ultimo al personal que conforman las instalaciones de las oficinas de los guarda recursos y a los habitantes de la comunidad El Borbollón por su valioso aporte para nuestra investigación.

JORGE ALEJANDRO SÁNCHEZ BARRIENTOS.

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza en aquellos momentos donde más lo necesité y por hacerme participe de una linda familia a la cual amo mucho.

Dedicó este trabajo de graduación especialmente a mi madre, Mercedes Martínez Gámez ya que sin duda ha sido el pilar fundamental de mi formación como profesional, por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios universitarios, por sus sabios consejos y por la confianza que deposito en mí. Te amo mamá.

A mis hermanos: Rony Isaac Saravia Martínez y Andrea Nicole Saravia Martínez, por su amor y apoyo, por hacer aquellos días difíciles, más alegres.

A mi abuela: Gloria Esperanza Gámez por todo su amor y cariño, por ser una segunda madre para mí y brindarme sus consejos.

A mi familia: a mis tías, tíos y primos que me apoyaron y que con su apoyo me impulsaban a seguir adelante.

A mi novia: Josseline Alejandra Zepeda López, por su apoyo incondicional, su comprensión y su amor, por siempre creer en mí y alentarme a alcanzar mis sueños.

A mis amigos: Melvin Aguilar y Julio Flores con mucho aprecio por su apoyo en mi formación, por su ayuda en los momentos más difíciles, y por siempre creer en mí.

A mis compañeros de tesis, Cesar Mejía, Yohalmo Chávez y Alejandro Sánchez, que a pesar de todo el esfuerzo y los obstáculos durante el camino, logramos llegar hasta el final y cumplir nuestra meta.

Y por último a mis profesores y asesores que contribuyeron en mi formación profesional transmitiéndome sus conocimientos, y a todas las demás personas que han formado parte de esta etapa de mi vida.

Gracias.

JOHAN ALEXANDER SARAVIA MARTINEZ.

ÍNDICE

CAPITULO I	1
ANTEPROYECTO	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.2.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.	5
1.2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3 OBJETIVOS	7
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	8
1.4.1 ALCANCES	8
1.4.2 LIMITACIONES	9
CAPITULO II	10
METODOLOGÍA	10
2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	10
2.2 UNIDAD DE ANÁLISIS	10
2.3 VARIABLES DEL ESTUDIO	11
2.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	14
2.4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA RECARGA POTENCIAL DEL ACUÍFERO	14
2.4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA MAPA DE VULNERABILIDAD	16
2.4.3 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN.	17
2.4.4 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	18
2.5 PROCESAMIENTO DE DATOS	20
2.5.2 RECARGA POTENCIAL.	21
2.5.3 VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.	34
2.5.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN.	39

2.5.5	FÍSICO QUÍMICO.	44
2.6	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	45
CAPITULO III		46
MARCO TEÓRICO		46
3.1	HIDROGEOLOGÍA	46
3.1.1	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.	46
3.2	AGUAS SUBTERRÁNEAS	47
3.2.1	IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	48
3.3	ACUÍFERO	49
3.3.1.	PRINCIPALES UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	50
3.4	RECARGA ACUÍFERA	51
3.4.1	CICLO HIDROLÓGICO	52
3.4.2	PARA QUÉ SIRVE EL CONOCIMIENTO DE LA RECARGA ACUÍFERA.	54
3.5	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA	54
3.5.1	PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA RECARGA ACUÍFERA	56
3.5.2	BALANCE HÍDRICO.	57
3.6	VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.	61
3.6.1	¿PORQUE LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA MERECE PROTECCIÓN?	61
3.6.2	¿CUÁLES SON LAS CAUSAS COMUNES DEL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA?	61
3.6.3	¿DE QUÉ MANERA SE CONTAMINAN LOS ACUÍFEROS?	63
3.6.4	¿CÓMO PUEDE EVALUARSE EL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA?	66
3.6.5	EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD.	70
3.6.6	NECESIDAD DE CONTAR CON UN ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ABSOLUTO INTEGRADO.	72
3.6.7	APLICACIÓN DEL MÉTODO GOD PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.	73
3.6.8	OTROS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	76
3.7	CARGA CONTAMINANTE Y PELIGROS A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	80
3.7.1	EL CONCEPTO DE PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	80
3.7.2	LAS ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES	81
3.7.3	EL INVENTARIO DE FUENTES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES.	83

3.7.4	LA CLASIFICACIÓN DEL ACTIVIDAD DE POTENCIALMENTE CONTAMINANTE	84
3.7.5	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.	85
3.8	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA.	86
3.8.1	POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)	87
3.8.2	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA (CE)	89
3.8.3	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)	90
3.8.4	CLORUROS DE SODIO	90
3.8.5	TEMPERATURA	90
3.8.6	COLIFORMES FECALES	91
3.8.7	DIAGRAMAS PARA CLASIFICACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA	92
CAPITULO IV		95
DIAGNOSTICO		95
4.1	CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA DEL SITIO RAMSAR	95
4.1.1	UBICACIÓN GENERAL:	95
4.1.2	DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA.	96
4.1.3	GEOLOGÍA	97
4.1.4	TIPO DE SUELO:	98
4.1.5	CLIMA	101
4.1.6	HIDROGRAFÍA	102
4.2	CARACTERIZACIÓN SOCIO AMBIENTAL	103
4.2.1	MEDIOS DE PRODUCCIÓN	103
4.2.2	BIODIVERSIDAD	104
4.2.3	USO DEL AGUA	107
4.2.4	CONFLICTOS.	107
4.2.5	PLAN DE MANEJO DEL SITIO RAMSAR	108
CAPITULO V		109
RECOLECCIÓN DE DATOS, PROCESAMIENTO Y		
ANÁLISIS DE RESULTADOS		109
5.1	RECOLECCIÓN DE DATOS	109

5.1.1	RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RECARGA POTENCIAL DEL ACUÍFERO	109
5.1.2	RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL MAPA DE VULNERABILIDAD	126
5.1.3	RECOLECCIÓN DE DATOS ANÁLISIS DE RIESGO	140
5.1.4	RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	158
5.2	PROCESAMIENTO DE DATOS	161
5.2.1	PROCESAMIENTO DE DATOS PARA RECARGA POTENCIAL	161
	CÁLCULO DE FRACCIÓN QUE INFILTRA POR COBERTURA DEL SUELO	164
5.2.2	PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD.	171
5.2.3	PROCESAMIENTO DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO	182
5.2.4	PROCESAMIENTO DE DATOS PARA CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA.	185
5.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	195
5.3.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MAPA DE RECARGA POTENCIAL	195
5.3.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MAPA DE VULNERABILIDAD	198
5.3.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MAPA DE RIESGO A LA CONTAMINACIÓN.	199
5.3.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS FÍSICOS-QUÍMICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA	201
	CAPITULO VI	206
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	206
6.1	CONCLUSIONES	206
6.2	RECOMENDACIONES	209
	ANEXOS	212
	BIBLIOGRAFÍA.	235

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VISTA NORTE DE LA LAGUNA EL JOCOTAL,.....	2
FIGURA 2. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL	10
FIGURA 3. INSTALACIÓN DEL PERMEÁMETRO DE GUELPH.....	15
FIGURA 4. SONDA ELÉCTRICA PARA MEDICIÓN DE PROFUNDIDADES.....	17
FIGURA 5. PROBADOR MULTIPARÁMETRO PARA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA.	18
FIGURA 6. MÉTODO GOD PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS (GROUNDWATER QUALITY PROTECTION GUIDE, 2002).....	37
FIGURA 7. GENERACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN (GROUNDWATER QUALITY PROTECTION GUIDE, 2002).....	38
FIGURA 8. CLASE DE CONTAMINANTE.....	39
FIGURA 9. INTENSIDAD DE LA CONTAMINACIÓN.....	40
FIGURA 10. DURACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE.....	41
FIGURA 11. REPRESENTACIÓN DE UN ACUÍFERO.....	50
FIGURA 12. EL CICLO HIDROLÓGICO (USGS, 2006).....	53
FIGURA 13. PROCESOS COMUNES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	63
FIGURA 14. <i>DESARROLLO Y CONSECUENCIAS DEL FLUJO PREFERENCIAL EN LA ZONA NO SATURADA.</i> ...	66
FIGURA 15. <i>SIGNIFICADO DE VULNERABILIDADES CONTRASTANTES A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS</i> .	68
FIGURA 16. COMPONENTES DE LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA USADOS PARA ZONIFICAR LA SUPERFICIE DEL TERRENO CON FINES DE PROTECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	69
FIGURA 17. ENFOQUE Y APLICACIÓN DE LOS DIFERENTES NIVELES DE EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	70
FIGURA 18. ESCALA DEL PH.	87
FIGURA 19. DIAGRAMA DE PIPER.....	94
FIGURA 20. MAPA DE UBICACIÓN ANP LAGUNA EL JOCOTAL.....	96
FIGURA 21. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL	97
FIGURA 22. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	100
FIGURA 23. CONCENTRACIÓN DE "PIMIENTOS" A LOS COSTADOS DE LA LAGUNA	104
FIGURA 24. POBLACIÓN DE PELICANOS MIGRATORIOS	106
FIGURA 25. <i>MAPA DE UBICACIÓN DE PRUEBAS GUELPH REALIZADAS</i>	110
FIGURA 26. MONTAJE DE PERMEÁMETRO DE GUELPH	111
FIGURA 27. MODELO DE HOJA DE CAMPO PARA REGISTROS DE DATOS DE PRUEBAS DE INFILTRACIÓN	112

FIGURA 28. EXCAVACIÓN DE POZO MEDIANTE BARRENO	113
FIGURA 29. MEDICIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL POZO.....	114
FIGURA 30. MONTAJE Y LLENADO DE DEPÓSITOS DE AGUA DEL PERMEÁMETRO	114
FIGURA 31. TOMA DE LECTURAS DE NIVELES DE AGUA EN LOS DEPÓSITOS.....	115
FIGURA 32. DATOS OBTENIDOS EN CAMPO DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN EN LA PEDRERA.....	116
FIGURA 33. DATOS OBTENIDOS EN CAMPO DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN EN LA PEDRERA 2.....	117
FIGURA 34. DATOS OBTENIDOS EN CAMPO DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN EN LA GRANJA CAMPESTRE.....	118
FIGURA 35. DATOS OBTENIDOS EN CAMPO DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN EN POTRERO DON BETO	119
FIGURA 36. DATOS OBTENIDOS EN CAMPO DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN EN LA CHÁCARA.....	120
FIGURA 37. DATOS OBTENIDOS EN CAMPO DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN EN EL CERRO	121
FIGURA 38. LEVANTAMIENTO GEORREFERENCIADO CON EQUIPO GPS DE POZOS Y MANANTIALES .	126
FIGURA 39. UBICACIÓN DE POZOS Y MANANTIALES.....	128
FIGURA 40. UBICACIÓN DE LOS POZOS DE MONITOREO.....	129
FIGURA 41. MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD DE POZOS Y NIVEL DE AGUA.....	130
FIGURA 42. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-01.....	131
FIGURA 43. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-02.....	132
FIGURA 44. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-03.....	133
FIGURA 45. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-04.....	134
FIGURA 46. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-05.....	135
FIGURA 47. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-06.....	136
FIGURA 48. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-07.....	137
FIGURA 49. PROFUNDIDADES OBTENIDAS DEL POZO LEJ-08.....	138
FIGURA 50. GRÁFICO CON NIVELES FREÁTICOS OBTENIDOS EN CADA MONITOREO.....	139
FIGURA 51. PROFUNDIDADES PROMEDIO EN CADA POZO DE MONITOREO.....	140
FIGURA 52. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE BOTADERO DE CIELO ABIERTO	141
FIGURA 53. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS GRISES	142
FIGURA 54. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE BOTADERO A CIELO ABIERTO	143
FIGURA 55. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN BOTADERO A CIELO ABIERTO DE DESECHOS ORGÁNICOS	144
FIGURA 56. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE BOTADERO DE DESECHOS ORGÁNICOS	145
FIGURA 57. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE DRENAJES DE AGUAS RESIDUALES (INDUSTRIA CAMPESTRE)	146
FIGURA 58. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE BIODIGESTOR INDUSTRIAL.....	147

FIGURA 59. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE CHILERA.....	148
FIGURA 60. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN CON AGUAS GRISES (LAVADEROS).....	149
FIGURA 61. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN AGUAS GRISES (CANALETAS).....	150
FIGURA 62. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE ÁREA DE ENTRENAMIENTO MILITAR.....	151
FIGURA 63. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN POTRERO.....	152
FIGURA 64. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ.....	153
FIGURA 65. FICHA DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN DE TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ 2.....	154
FIGURA 66. REFERENCIACIÓN DE PUNTOS Y ÁREAS DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	156
FIGURA 67. ACTIVIDADES AGROINDUSTRIALES FUERA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	157
FIGURA 68. RECOLECCIÓN DE DATOS DEL MULTIPARÁMETRO.....	159
FIGURA 69. MUESTRAS RECOLECTADAS, LISTA PARA ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	160
FIGURA 70. DEM ZONA DONDE SE UBICA EL ÁREA DE ESTUDIO.....	163
FIGURA 71. ELABORACIÓN DE MAPA DE PENDIENTES SOBRE LA IMAGEN SATELITAL Y RECLASIFICACIÓN DE RANGOS.....	164
FIGURA 72. RECLASIFICACIÓN Y ASIGNACIÓN DE VALOR DE Kv, EN BASE A LA TABLA DE LA METODOLOGÍA DE SCHOSINSKY.....	165
FIGURA 73. CALCULADOR DE PERMEÁMETRO DE GUELPH.....	166
FIGURA 74. DIVISIÓN EN ZONAS DE INFILTRACIÓN EN BASE A MAPA DE USO DE SUELOS.....	168
FIGURA 75. MAPA DE RECARGA POTENCIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	170
FIGURA 76. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	171
FIGURA 77. ASIGNACIÓN DE VALORES G Y O CONFORME A LA GEOLOGÍA.....	172
FIGURA 78. UBICACIÓN DE POZOS DE MONITOREO.....	173
FIGURA 79. ELABORACIÓN DEL SHAPEFILE DE PROFUNDIDAD.....	174
FIGURA 80. DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS CONFORME A ÍNDICE D.....	175
FIGURA 81. ELABORACIÓN DE CADA ÍNDICE A RÁSTER.....	176
FIGURA 82. ELABORACIÓN ÍNDICE A RÁSTER (G).....	177
FIGURA 83. ELABORACIÓN ÍNDICE A RÁSTER.....	178
FIGURA 84. ELABORACIÓN ÍNDICE A RÁSTER (D).....	179
FIGURA 85. ALGEBRA DE MAPAS.....	180
FIGURA 86. MAPA DE VULNERABILIDAD.....	181
FIGURA 87. FUENTES DE CONTAMINACIÓN (DIFUSA, LINEAL Y PUNTUAL).....	182
FIGURA 88. ASIGNACIÓN DE VALORES AL RASTER.....	183
FIGURA 89. REALIZACIÓN DE ALGEBRA DE MAPAS.....	183
FIGURA 90. MAPA DE RIESGO.....	184
FIGURA 91. DIAGRAMA DE PIPER PARA POZO DE MUESTREO LEJ-01.....	186

FIGURA 92. DIAGRAMA DE PIPER PARA POZO DE MUESTREO LEJ-02	187
FIGURA 93. DIAGRAMA DE PIPER PARA POZO DE MUESTREO LEJ-05	188
FIGURA 94. DIAGRAMA DE PIPER PARA POZO DE MUESTREO LEJ-06	189
FIGURA 95. DIAGRAMA DE PIPER GENERAL DE LOS POZOS DE MUESTREO	190
FIGURA 96. MAPA DE RECARGA DE LA ZONA DE ESTUDIO	196
FIGURA 97. MAPA DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO	198
FIGURA 98. MAPA DE RIESGO A LA CONTAMINACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	199
FIGURA 99. DIAGRAMA DE PIPER DE LOS POZOS DE MONITOREO.....	201

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VARIABLES DEL ESTUDIO (ELABORACIÓN PROPIA)	11
TABLA 2. VARIABLES SECUNDARIAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	12
TABLA 3. COMPONENTES DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN.	24
TABLA 4. DETERMINACIÓN DE TIPO DE SUELO EN BASE A LA INFILTRACIÓN BÁSICA	24
TABLA 5. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE Y CAPACIDAD DE CAMPO EN PORCENTAJE POR PESO DE SUELO SECO DE DIFERENTES TEXTURAS DE SUELOS FUENTE: (GRASSI, 1976).	29
TABLA 6. FACTORES HIDROGEOLÓGICOS QUE CONTROLAN LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS (GROUNDWATER QUALITY PROTECTION GUIDE, 2002	36
TABLA 7. MÉTODO POSH DE CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES POR FUENTES DISPERSAS Y MULTIPUNTUALES (FOSTER; HIRATA, 1988).	42
TABLA 8. MÉTODO POSH DE CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES POR FUENTES PUNTUALES.	43
TABLA 9. NIVELES DE PRIORIDADES DE ACCIÓN BASADOS EN LAS CARTOGRAFÍAS DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS Y DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE POZOS Y LA CLASIFICACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE (FOSTER; HIRATA, 1988).	44
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	62
TABLA 11. DEFINICIÓN PRACTICA DE CLASES DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	73
TABLA 12. FACTORES HIDROGEOLÓGICOS QUE CONTROLAN LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	75
TABLA 13. RESUMEN DE MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	76
TABLA 14. CLASIFICACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA (ELABORACIÓN PROPIA)	86
TABLA 15. GEOLOGÍA PRESENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO,	98
TABLA 16. EQUIPO UTILIZADO EN LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN	111
TABLA 17. PRECIPITACIONES MENSUALES POR CADA AÑO DE ESTUDIO (PERIODO 2008-2017) ESTACIÓN UES SAN MIGUEL.	122
TABLA 18. TEMPERATURAS MENSUALES MÁXIMAS (°C) POR CADA AÑO DE ESTUDIO (PERIODO 2008-2017) ESTACIÓN UES SAN MIGUEL.	123
TABLA 19. TEMPERATURAS MENSUALES MÍNIMAS (°C) POR CADA AÑO DE ESTUDIO (PERIODO 2008-2017) ESTACIÓN UES SAN MIGUEL FUENTE: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	124

TABLA 20. TEMPERATURAS MENSUALES PROMEDIO (°C) POR CADA AÑO DE ESTUDIO (PERIODO 2008-2017) ESTACIÓN UES SAN MIGUEL. FUENTE: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	125
TABLA 21. INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES EXISTENTES DENTRO DE LA ZONA DE ESTUDIO	127
TABLA 22. POZOS Y MANANTIALES SELECCIONADOS PARA LA RED DE MONITOREO	129
TABLA 23. PROFUNDIDADES PROMEDIO OBTENIDAS	139
TABLA 24. INVENTARIO DE FUENTES CONTAMINANTES DETERMINADAS DENTRO DE SITIO RAMSAR (DICIEMBRE 2018).	155
TABLA 25. RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS EN LA CAMPAÑA DE MULTIPARÁMETRO.	159
TABLA 26. RESULTADOS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA	161
TABLA 27. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO	162
TABLA 28. VELOCIDADES DE INFILTRACIÓN OBTENIDAS DEL CALCULADOR DE PERMEÁMETRO DE GUELPH	167
TABLA 29. PARÁMETROS REQUERIDOS PARA LA HOJA DE SCHOSINSKY	169
TABLA 30. RECARGA OBTENIDAS EN CADA UNA DE LAS ZONAS	169
TABLA 31. CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS DIAGRAMAS DE PIPER	191
TABLA 32. COMPARACIÓN DE PH OBTENIDOS EN PRUEBAS DE CAMPO CON VALORES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN RTS	192
TABLA 33. COMPARACIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA OBTENIDOS EN PRUEBAS DE CAMPO CON VALORES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN RTS	193
TABLA 34. COMPARACIÓN DE DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDOS EN PRUEBAS DE CAMPO CON VALORES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN RTS	193
TABLA 35. COMPARACIÓN DE DATOS DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE CAMPO CON VALORES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN RTS	194
TABLA 36. COMPARACIÓN DE DATOS DE COLIFORMES FECALES OBTENIDOS EN LABORATORIO CON VALORES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN RTS	194
TABLA 37. RECARGA ACUÍFERA DE LA ZONA DE ESTUDIO	197

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis de la recarga al acuífero somero del área de influencia de La Laguna el Jocotal San Miguel, en el que se determinó las zonas de mayor recarga, además se estableció a través de un mapa la vulnerabilidad intrínseca de dicho acuífero donde se establecen las áreas que pueden ser afectada por contaminantes, añadido al mapa de vulnerabilidad se desarrolló un mapa de riesgo siendo esta una herramienta complementaria para poder determinar la susceptibilidad del acuífero a ser contaminado por las diferentes actividades que se desarrollan dentro del área de investigación también se estableció la caracterización físico-química del acuífero para determinar la calidad de agua, y si esta cumple con las condiciones necesarias para el consumo humano.

Todas estas herramientas servirán como una base fundamental para gestionar acciones y planes que vayan encaminados a la concientización, protección y preservación del acuífero anteriormente mencionado.

En el primer capítulo, se establece la situación problemática a la que está sometida la zona de estudio, con la que nace la idea de plantear objetivos que trazan la ruta de trabajo, que permitió resultados concretos en base a las metodologías propuestas.

En el capítulo dos, se estableció toda la fundamentación teórica que sirvió como un marco referencial que respalda el trabajo realizado durante toda la investigación. El capítulo tres describe las generalidades del área de estudio, hace énfasis en la ubicación geográfica y fisiográfica, detalla las condiciones socioeconómicas y las diferentes actividades que se desarrollan en la zona.

En el capítulo cuatro, corresponde a la etapa de recolección, procesamiento y análisis de la información recolectada, en la que se describen los procesos y diferentes visitas de campo que fueron necesarias para el desarrollo y el levantamiento de la información de la zona de estudio, también se detalla toda la etapa de geoprocésamiento a través de la herramienta ArcGIS. Para finalizar en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPITULO I

ANTEPROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En el país el agua es un recurso valioso limitado para la generación de productividad y la vida de las personas, es por esta razón que se debe preservar la calidad de esta.

El agua subterránea se ha convertido en un recurso estratégico debido a la amplia gama de utilidades que se le pueden dar, por ejemplo, estas sirven para riego agrícola, como también para el abastecimiento urbano e industrial, por lo que deben mantener una calidad apropiada en función del uso al que se destinen, teniendo en cuenta que las aguas subterráneas para el consumo humano deben ser tratadas correctamente.

El agua subterránea es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación. Y es en este sentido de gran importancia generar una investigación que proporcione criterios que sirvan de base para la elaboración de normativas ambientales preventivas, encaminadas a la preservación y sostenibilidad del acuífero.

La presente investigación que se llevó a cabo en el área de influencia de La Laguna El Jocotal la cual forma parte de la cuenca del Rio Grande de San Miguel y se ubica en la jurisdicción del municipio de El Transito, tiene como finalidad presentar un mapa de vulnerabilidad, mapa de recarga potencial acuífera, determinación de la composición fisicoquímica del área de estudio, y un mapa de riesgo, lo cual permitió determinar la susceptibilidad a la que se encuentra sometido el acuífero.

Para dichas finalidades se sustentó la investigación en una base teórica confiable que dé a conocer los métodos y técnicas que permitieron la obtención, recolección y análisis de los datos de la manera más confiable, se estableció el área de estudio en base a una cuenca de escurrimiento superficial debido a la complejidad que conlleva establecer la cuenca subterránea del acuífero, así como también la incertidumbre que se tiene de no saber si dicho acuífero se encuentre interconectado con otros acuíferos cercanos a este.

De tal manera que dicha investigación sea una herramienta de la cual se pueda auxiliar el municipio para la adecuada gestión del recurso hídrico y particularmente la del agua subterránea.

La recolección de datos se estableció en base a visitas de campo y a los mapas geológicos existentes de las zonas más idóneas para realizar las pruebas de infiltración, de esta misma manera se seleccionaron pozos existentes del área de influencia para realizar un monitoreo periódico el cual permitió recolectar una serie de datos de los niveles piezométricos del acuífero.



FIGURA 1.Vista norte de La Laguna El Jocotal,
Al fondo se aprecia el Volcán Chaparrastique de San Miguel año 2018.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El país utiliza principalmente las fuentes de agua subterránea para abastecer a la población. No hay una ley que proteja a las aguas subterráneas de cualquier alteración, que pueda causarles graves daños, por intervención del ser humano, por otra parte, existe la posibilidad que el agua en los acuíferos sea contaminada y no deba ser utilizada para el consumo humano debido a la alteración de sus propiedades fisicoquímicas.

Es necesario tener un control más detallado sobre el agua subterránea del país ya que es un recurso limitado, por lo que resulta relevante realizar estudios hidrogeológicos. (Caracterización hidrogeológica del municipio de San Sebastián Salitrillo, Santa Ana).

La Laguna el Jocotal, es un área de vital importancia para el país y la sociedad ya que es un humedal con características muy particulares en la que se encuentran una gran diversidad de fauna y flora que se ve afectado por toda la actividad y el uso indiscriminado de estos recursos.

La laguna El Jocotal es un cuerpo de agua, que presenta variaciones en sus niveles debido principalmente a los eventos meteorológicos que se desarrollan durante la época lluviosa, sin embargo la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), tiene conocimiento de un comportamiento atípico, que consiste en un incremento de nivel de sus aguas “sin causas aparentes”, generando con esto inundaciones en sus zonas aledañas.(Ingeniero Roberto Cerón, Hidrólogo Pronosticador, de la DGOA/MARN-2011).

La zona denominada “Sitio Ramsar”, está compuesta por La Laguna El Jocotal, un área de explotación de material volcánico, y zona de bosques tropicales. Siendo este complejo natural muy susceptible y vulnerable a la contaminación provocada por los asentamientos humanos aledaños a la zona y al uso indiscriminado del suelo por los cultivos de caña la cual utilizan productos químicos de alto contaminante para el área de recarga, siendo este uno de los problemas de mayor impacto.

Además, se tiene conocimiento que la laguna actualmente está presentando un azolvamiento acelerado, que degrada su área natural protegida y todos los ecosistemas asociados a ella, afectando a las especies que la utilizan en su migración y a las que la habitan, especialmente a las acuáticas ya que el azolvamiento reduce las áreas en las que estas especies pueden sobrevivir. (Licenciada Norma Cerón, Bióloga Consultora, MARN-2011).

1.2.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.

A continuación, se presentan las interrogantes con las que se desarrollaron los objetivos de esta investigación.

¿Cómo se describen las características hidrogeológicas del área de influencia de La Laguna El Jocotal?

- ¿Cómo se cuantifica la disponibilidad del área de recarga por el método de Schosinsky?
- ¿Cómo se describe la infiltración?
- ¿Cómo se comporta la variación de los niveles freáticos en el área de estudio?
- ¿Cuáles son las características físico-químico del agua subterránea del acuífero en estudio?
- ¿Cuál es la vulnerabilidad a la que está sometida este acuífero?

1.2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Aunque en la actualidad se han hecho muchos estudios en la Laguna El Jocotal como el caso de la tesis titulada "CAUSAS DE INUNDACIÓN DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA LAGUNA EL JOCOTAL, UBICADA EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL", no existe una evaluación de la recarga potencial del acuífero ni de las características fisicoquímicas actuales de La Laguna El Jocotal que puedan brindar un insumo a las autoridades competentes para establecer lineamiento encaminados a la protección y la gestión del recurso hídrico.

Además "La Laguna El Jocotal fue el primer humedal con reconocimiento internacional para El Salvador, y el número 970 en la convención Ramsar. La Laguna El Jocotal fue declarada Humedal de Importancia Internacional por la convención Ramsar el 22 de enero de 1999. " (página oficial del MARN).

El acuífero que se encuentre en esta zona es aprovechado por los asentamientos poblacionales de la zona para fines agrícolas y de consumo por lo que es de vital importancia caracterizar este acuífero y determinar la composición fisicoquímica que esta agua tiene para tener la certeza que esta no es nociva para su uso.

Desde el punto de vista de la carrera de Ingeniería Civil esta investigación es de mucha importancia ya que la carrera tiene ramas como la Hidrología, Ingeniería Hidráulica, Ingeniería Ambiental, que se encargan de proponer metodologías encaminadas a la exploración y estudio de los recursos naturales para su preservación.

Es de sumo interés que las instituciones como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), tengan herramientas que permitan sensibilizar a la sociedad sobre la explotación de estos recursos y también implementar acciones que se enfoquen a la preservación de este humedal.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Elaborar la caracterización hidrogeológica del área de influencia de la Laguna El Jocotal.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar el balance hídrico de suelos utilizando el método de Schosinsky.
- Evaluar la recarga potencial.
- Evaluar la vulnerabilidad intrínseca del área de estudio.
- Elaboración de un mapa de riesgo de la zona de estudio
- Caracterizar la composición físico-química de agua subterránea.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 ALCANCES

- Se identificaron los tipos de suelos existentes en la zona, por medio de mapas geológicos.
- Por medio del permeámetro de Guelph se obtuvieron los valores de Infiltración in-situ.
- A través de la metodología de Schosinsky y una hoja programada para el análisis de la recarga se obtuvo el balance hídrico del suelo.
- Durante el periodo de estudio se desarrolló una campaña de monitoreo de pozos, con la cual se obtuvo la fluctuación de los niveles del acuífero.
- Con la información de los niveles freáticos, la geología de la zona se procedió a elaborar un mapa de vulnerabilidad intrínseca del acuífero aplicando el método de evaluación de acuíferos **GOD**.
- Con el mapa de vulnerabilidad se elaboró un mapa de riesgo de acuerdo a las actividades humanas, industriales y agrícolas desarrolladas en la zona de estudio.
- Con la elaboración de mapa de riesgo se logró obtener una herramienta que sirva a la gestión del recurso hídrico, y controlar las actividades que se desarrollen dentro de la zona de estudio en base al tipo de riesgo.
- Se elaboró una campaña de recolección y análisis en laboratorio de muestras de agua del acuífero.
- Con los resultados del laboratorio químico se clasificó el agua del acuífero mediante diagramas de Piper además se determinó si el agua estaba acta para el consumo humano.

1.4.2 LIMITACIONES

- Debido a las condiciones climatológicas que ocurrieron durante el desarrollo de la investigación, algunas pruebas no se hicieron en las fechas programadas.
- No se pudieron realizar mayor cantidades de pruebas debido a la disponibilidad del equipo.
- No se pudo obtener datos de más estaciones meteorológicas existentes que influyen en el área de estudio, debido a que no cuentan con registros de más de 3 de años.
- Que la situación de inseguridad que se vive en el país no permitió tener acceso a todas las zonas de importancia para la investigación.
- La realización de pruebas in-situ se realizaron de acuerdo a la disponibilidad de los equipos, por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Las pruebas físico químico tienen un valor muy elevado, por lo cual no fue posible realizar las pruebas a todos los pozos existentes en la zona.
- No existe una buena distribución de pozos en el área de estudio, lo cual no permitió obtener niveles del acuífero en la parte alta y baja del Sitio Ramsar.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrolló en el área de influencia de La Laguna El Jocotal fue de tipo exploratoria, ya que no se cuentan con estudios previos de esta índole y no se ha abordado antes, y además es de tipo cuantitativo ya que en el procedimiento de decisión que pretende señalar será usando magnitudes numéricas, y los resultados pueden ser descriptivos y generalizados.

2.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis fue el acuífero de la zona de influencia de La Laguna el Jocotal, específicamente el área establecida como Sitio Ramsar que comprende un área de 42.69 kilómetros cuadrados.

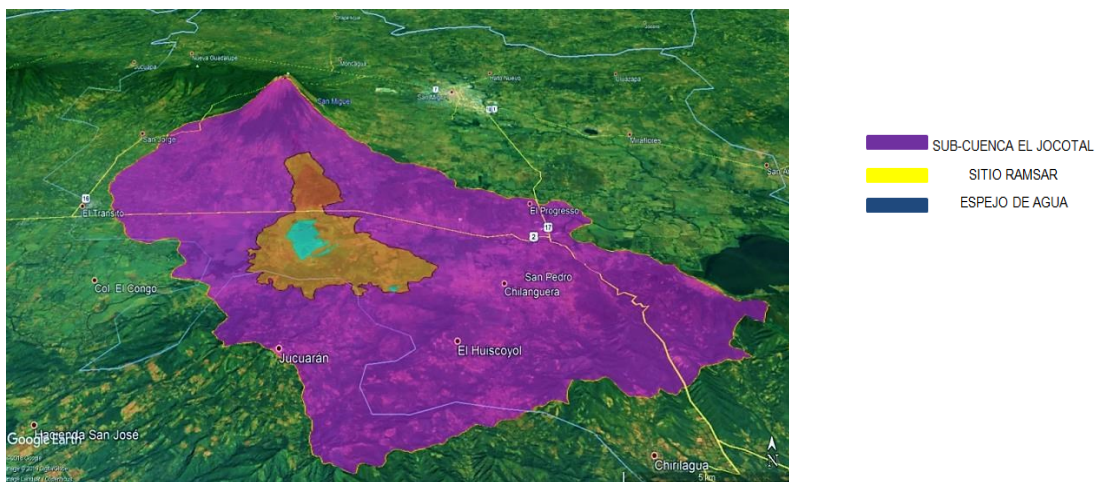


FIGURA 2. Delimitación geográfica de La Laguna El Jocotal

2.3 VARIABLES DEL ESTUDIO

A continuación se presentan las variables que intervinieron durante el proceso de la investigación, en la cual se muestran cómo se obtuvieron, y sus definiciones conceptuales y operacionales.

TABLA 1. Variables del estudio (Elaboración propia)

VARIABLES PRINCIPALES				
VARIABLE	UNIDAD	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	CÓMO SE MIDE/EQUIPO	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Recarga potencial.	mm/año	Es el agua que se infiltra desde la superficie proveniente principalmente de la lluvia que alcanza las reservas subterráneas.	Balance de suelos de Gunter Schosinsky/ Permeámetro de Guelph, mapas geológicos, hidrogeológicos, uso de suelos, modelo de elevación digital.	Se determinó mediante la utilización de variables como (CC- PM), I, PM, Fc, PR, DS, C1, C2, Kp, Kv, Kfc, P, PI, ESC, ETP, ETR, HSI, HD, HSF, DCC, RP, NR, RET. También se aplican herramientas electrónicas como lo es la hoja programada del Prof. Gunter Schosinsky y el uso de ArcGIS.
Vulnerabilidad intrínseca del acuífero	Cualitativa.	Es la probabilidad de que el agua subterránea en la parte superior de un acuífero sea contaminada en un nivel inaceptable por las actividades que se desarrollan en la superficie del terreno suprayacente (Foster e Hirata, 1988; Adams y Foster, 1992).	Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos/	Se determinó mediante el uso de mapas de uso de suelos y geología, así como también la determinación del nivel freático en campo. Se desarrolla el geoprocesamiento en la herramienta ArcGIS.
Caracterización físico-química	PPM, μ S, °c	Es la compilación de varias ciencias, tales como la química del agua, que concierne al estudio de los procesos y reacciones químicas que afectan la distribución y circulación de especies disueltas en aguas naturales, combinada con la geología y la biología, debido a que durante el ciclo hidrológico el agua interactúa directamente con la BIOSFERA.	Medición de variables como: conductividad eléctrica, pH sólidos totales disueltos, temperatura y cloruros. / Probador multiparametro y pruebas enviadas al laboratorio.	Se desarrolló a través de campaña de mediciones multiparametro y el análisis de muestras en laboratorio y análisis de resultados en EASYQUIM.
Riesgo a la contaminación	Cualitativa.	Es definido como la interacción entre la intensidad de la carga contaminante antrópica y la vulnerabilidad del acuífero.	Método POSH (Pollutant Origen; Hydraulic Surcharge)/	Se utilizó mapas de uso de suelos, campaña para determinar los puntos de contaminación y el geoprocesamiento se realizó en ArcGIS.

TABLA 2. Variables secundarias de la zona de estudio

VARIABLES SECUNDARIAS.					
VARIABLE	UNIDAD	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	CÓMO SE MIDE/EQUIPO	DEFINICIÓN OPERACIONAL	
Geología	Km ²	Conjunto de características del subsuelo o de la corteza terrestre de una zona o de un territorio.	Mapa geológico	En el programa ArcGIS se tomó un recorte de la geología correspondiente al área de estudio.	
Uso de suelo	Km ²	Abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en terreno agrícola: campos cultivables, pastizales; o asentamientos humanos.	A través de mapas	Se realizó mediante la utilización de mapas digitales en el programa ArcGIS, y se constató mediante visitas de campo.	
Coeficiente de infiltración (Ci)	Fracción que infiltra por efecto de pendiente (Kp)	Adimen.	Corresponde a la cantidad de lluvia que infiltra por los rangos de pendiente del terreno.	A través de TABLAS.	En base a los rangos de pendiente encontrados a través de DEM en Arcgis, se establece un factor de TABLA.
	Fracción que infiltra por efecto de cobertura Vegetal (Kv)	Adimen.	Corresponde a la cantidad de lluvia que infiltra por efecto de la cobertura vegetal predominante en el área.	A través de TABLAS.	En base al mapa de uso de suelos se establece la cobertura vegetal predominante y se establece un factor de TABLA
	Fracción que infiltra por textura del suelo (Kfc)	Adimen.	Corresponde a la fracción de infiltra por las características propias del suelo.	Mediante ecuación de metodología.	En base al valor resultante de infiltración básica del permeámetro de Guelph se aplica ecuación para determinar este valor.
Tipo de suelo	Textura.	Es la clasificación de los suelos de la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa que proviene de la desintegración física química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que se sientan sobre ellas.	A través de mapa geológico.	Se realizó mediante la utilización de mapas digitales en el programa ArcGIS, se constató mediante visitas de campo y la inspección visual-manual de muestras extraídas.	
Densidad del suelo	g/cm ²	Es la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo, siendo más o menos constante, ya que está determinado por la composición química y mineralógica de la fase sólida.	A través de TABLAS	Se determina el tipo de suelo en base a infiltración básica y se procede a aplicar un valor en base a TABLA.	
Infiltración	cm/min	La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra.	mediante metodología de Guelph./permeámetro de Guelph	Se llevó a cabo mediante pruebas Guelph distribuidas en las diferentes formaciones geológicas del área de estudio.	
Evapotranspiración	mm/h	La pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.	Mediante ecuación de Hargreaves.	Se utilizan datos de precipitación, temperatura y radiación solar para la aplicación de la fórmula	
Temperatura	°c	Es la magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee.	En estación meteorológica. /	Se obtuvo realizado el promedio de la serie de datos obtenidos por el MARN.	

Precipitación	l/m2	Es cualquier forma de hidrometeoro que cae en la atmosfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, agua nieve, granizo.	En estación meteorológica. /	Se obtuvo realizado el promedio de la serie de datos obtenidos por el MARN.
Nivel freático.	Msnm	Es la altitud o profundidad (en relación a la profundidad del suelo) del límite entre la capa freática y la zona vadosa en un acuífero.	A través de sonda medidora de nivel de agua. /solinst wáter meter level 101.	Se determinó mediante una campaña de medición de niveles en pozos previamente establecidos para un total de 6 mediciones.
Potencial de hidrogeno	Adimen.	El potencial de hidrogeno es una medida de la acidez o basicidad de una solución	A través de sonda multiparametro. /probador OAKTON PC 650.	Se determinó atreves de una campaña de mediciones con la sonda multiparamétrica en los pozos seleccionados con un total de 6 mediciones.
Conductividad Eléctrica del agua (CE)	Siemens por centímetro (S/cm)	Es una propiedad característica que sirve para averiguar si una sustancia es un compuesto iónico, un metal o una sustancia covalente	A través de sonda multiparametro. /probador OAKTON PC 650.	Se determinó atreves de una campaña de mediciones con la sonda multiparamétrica en los pozos seleccionados con un total de 6 mediciones.
Sólidos en suspensión	Ppm	Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en partes por millón), presentes	A través de sonda multiparametro. /probador OAKTON PC 650.	Se determinó atreves de una campaña de mediciones con la sonda multiparamétrica en los pozos seleccionados con un total de 6 mediciones.
Iones Mayoritarios	Mg/L	La mayoría de las sustancias disueltas en el agua subterránea se encuentran en estado iónico. Algunos iones están presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos. Estos iones mayoritarios son los cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio; y los aniones: bicarbonato, sulfato y cloruro.	Análisis en laboratorio.	Se obtuvo mediante la extracción de muestras de los pozos de posteriormente fueron enviadas al laboratorio.

2.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En este apartado se presenta la metodología para la recolección de toda la información necesaria con la que se realizó la investigación que es obtener la Caracterización Hidrogeológica del área de influencia de La Laguna El Jocotal, en el departamento de San Miguel.

2.4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA RECARGA POTENCIAL DEL ACUÍFERO

Para realizar la recarga potencial del acuífero se realizaron un total de 5 pruebas de infiltración en la zona de estudio, esto para obtener la permeabilidad del suelo que se utilizó para calcular el coeficiente que infiltra por textura del suelo (K_{fc}).

Las pruebas realizadas se distribuyeron en base al mapa geológico para poder tener la infiltración básica de cada miembro geológico existente en el área de estudio.

Para la realización de las pruebas de infiltración se utilizó el Permeámetro de Guelph el cual fue proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



FIGURA 3. Instalación del Permeámetro de Guelph.

Medición de infiltración básica del suelo. (Mayo 2018)

Propietario: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Además, fueron necesarios datos de precipitación, se hizo en base a un periodo de estudio de 10 años comprendidos desde el año 2008 hasta el 2017, de la estación Meteorológica UES San Miguel. Estos datos fueron obtenidos mediante el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Se hizo uso de datos de temperatura mensual máxima, mínima y promedio, para el mismo periodo de los datos de precipitación de la misma estación.

Se utilizó un periodo de temperatura y lluvia de 10 años por el motivo de que los promedios anuales se están viendo afectados por el cambio climático, esto tiene una repercusión directa en el volumen de recarga, ya que a mayores promedios de precipitación se tendría un mapa de recarga que no refleja las condiciones actuales.

Se utilizó los mapas: geológicos, uso de suelos, hidrogeológico y de pendientes.

2.4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA MAPA DE VULNERABILIDAD

Para elaborar el mapa de vulnerabilidad del acuífero se utilizó el método GOD para la evaluación de acuíferos, se recurre a esta metodología por ser muy practica en su implementación y sus variables son relativamente fáciles de medir en comparación con otras metodologías como la DRASTIC, también se tienen registros de la amplia aplicación de la metodología GOD en los años 90's en américa latina demostrando ser una metodología muy confiable.

Por lo tanto fue necesario implementar una red de 8 pozos de monitoreo distribuidos en el área de estudio para conocer los niveles de agua de estos. Se programó un sondeo mensual durante 5 meses comprendidos entre los meses de Mayo hasta Octubre, para conocer las fluctuaciones en las profundidades de estos.

Para identificar la red de pozos de monitoreo fue necesario hacer un inventario de los pozos existentes en el área de estudio, las cuales fueron georreferenciados mediante equipo GPS. Posteriormente se seleccionaron los 8 pozos para el monitoreo, la selección de los pozos fue bajo un criterio de distribución y representación en toda el área de estudio.

Otro factor importante para la selección de los pozos es en base a formar líneas desde la zona norte hasta la zona sur para poder verificar el gradiente hidráulico que el acuífero presenta así como la evolución de las diferentes características fisicoquímicas debido a la carga contaminante que se genera en dirección del flujo del acuífero.

Para determinar los niveles de agua en los pozos se utilizó una sonda electrónica (FIGURA 4) que funciona emitiendo un sonido cuando esta entra en contacto con el agua. Este aparato fue proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



FIGURA 4. Sonda eléctrica para medición de profundidades
(Mayo 2018). Esta sonda puede medir hasta 50 m de profundidad
Propietario: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

2.4.3 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN.

Para el análisis del riesgo del acuífero se desarrolló mediante la metodología Posh (Ricardo Hirata).

Se desarrolló un recorrido del territorio en el cual se detallaron las diferentes actividades que se consideran fuentes puntuales de contaminación, que fueron georreferenciados mediante herramienta GPS.

Consecuentemente se utilizó el mapa de uso de suelos (año 2010) para poder determinar las fuentes difusas y las fuentes lineales de contaminación.

2.4.4 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Para la determinación del pH, la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, temperatura y los cloruros de sodios se utilizó el equipo medidor multiparámetro OAKTON PC650 (FIGURA 5). Las mediciones correspondientes se realizaron durante un periodo de cinco meses lo cual corresponde desde el mes de mayo hasta septiembre del año 2018. Se tomaron mediciones una vez al mes en los pozos de monitoreo seleccionados.



FIGURA 5. Probador multiparámetro para caracterización fisicoquímica.

Este probador mide in-situ datos como temperatura, PH, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, entre otros parámetro.

Propietario: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Para realizar los diagramas de Piper fue necesario conocer los datos de iones mayoritarios presentes en el agua del acuífero por ende se recolectaron muestras

de agua para su análisis de laboratorio. Solamente se tomarán muestra de cuatro pozos de monitoreo, para ello se tomaron 2 muestras de cada uno de los pozos en un recipiente cerrado; de capacidad de 1000 ml y de 500 ml.

Los especímenes de cada pozo son colocados dentro de una hielera con el objetivo de preservar la muestra y conservar sus características. Posteriormente son llevados al laboratorio para su respectivo análisis.

2.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

En este apartado se realizarán los procesos de cálculo de los datos necesarios para poder obtener los resultados tanto de la recarga potencial, vulnerabilidad del acuífero y las características fisicoquímica del mismo.

2.5.1 ALGEBRA DE MAPAS

Se entiende por álgebra de mapas el conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato ráster, nos permite obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos. Aunque nada impide que este proceso se lleve a cabo sobre capas vectoriales, se entiende que el álgebra de mapas hace referencia al análisis desarrollado sobre capas ráster, pues estas, por su estructura regular y sus características inherentes, son mucho más adecuadas para plantear los algoritmos y formulaciones correspondientes (Olaya, 2011).

Como tal, el álgebra de mapas lo forman un conjunto de variables (Los mapas), expresiones y funciones, los cuales, a través de una sintaxis adecuada, permiten la obtención de nuevos resultados geográficos. El concepto de álgebra de mapas, constituye sin embargo no una herramienta puntual, sino un completo marco de trabajo para el manejo de capas ráster y, muy especialmente, su análisis encaminado a la obtención de nuevos resultados (Olaya, 2011).

Si analizamos las prácticas geográficas hasta nuestros días, vemos que el álgebra de mapas como proceso de análisis no es algo nuevo. La idea de utilizar mapas existentes para generar otros nuevos o simplemente extraer de ellos resultados cuantitativos es una práctica común desde el mismo momento en que aparece la cartografía moderna. Sin embargo, es con la aparición de los Sistemas de Información Geográfica y la posibilidad de procesar los datos geográficos en un entorno informatizado cuando se dota de formalismo a estos planteamientos y se define con rigor el conjunto de herramientas de análisis (Olaya, 2011).

Para ello se utilizarán tanto cálculos matemáticos a través de ecuaciones, así como programas de computadoras especiales para este tipo de análisis.

2.5.2 RECARGA POTENCIAL.

En el presente trabajo para determinar la recarga potencial acuífera se aplica la metodología de un balance de suelos, teniendo como ventajas esta metodología que considera varias variables que influyen en la recarga de los acuíferos, tales como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendientes del terreno.

A continuación se expone cada uno de los pasos a seguir que se utilizaron para obtener la recarga potencial a través del balance hídrico.

BALANCE DE SUELO.

Este potencial se estimó mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que se lleva a su superficie. En tercer lugar, se debe realizar un balance de suelos hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo.

FRACCIÓN DE LLUVIA INTERCEPTADA POR EL FOLLAJE.

- Para lluvias menores de 5 mm mensuales, no van a generar infiltración ya que se considera que, en un mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo (Schosinsky & Losilla 2000).
- Se considera que la retención de la lluvia en follajes, es del 12% (Butler, 1957) de la precipitación mensual. Sin embargo, en bosques muy densos, la retención de la lluvia se considera en un 20% (Linsley et al., 1958).

Se definirá como coeficiente de follaje (Cfo) el porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en el follaje, expresado en tanto por una.

- Para el 12% de retención Cfo=0.12.
- Para el 20% de retención Cfo=0.20.

- Para calcular la retención la de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret), se aplicó la siguiente ecuación: (1)
 - Si P es menor o igual a 5 mm/mes, Ret=P.
 - Si el producto (P) (Cfo), es mayor o igual de 5 mm/mes. Ret= (P) (Cfo).
 - Si P es mayor de 5mm/mes y el producto (P) (Cfo) es menor de 5, Ret=5.

Dónde:

P = Precipitación mensual del mes [mm/mes].

Ret = Retención de lluvia en el follaje [mm/mes].

Cfo = Coeficiente de retención del follaje, para bosques muy densos Cfo = 0.20, otros Cfo =0.12 [adimensional].

INFILTRACIÓN.

- Para esta etapa se calculó una de las variables más influyentes en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (Kfc), que está dado por la siguiente ecuación (Schosinsky & Losilla, 2000):

(2)

$$Kfc = 0.267Ln(fc) - 0.000154fc - 0.723$$

Dónde:

K_{fc} (adimensional)= Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura de suelo).

F_c (mm/día): infiltración básica del suelo.

- Para aplicar esta ecuación, el rango de F_c ha de concentrarse entre 16 a 1568 mm/día, $K_{fc}= 1$.
- Si F_c se encuentra entre 16 y 1568 mm/día

$$K_{fc} = 0.267Ln(fc) - 0.000154fc - 0.723$$

- si F_c es menor a 16 mm/día $K_{fc}=0.014fc/16$.
- Si F_c es mayor de 1568 mm/día $K_{fc}=1$

- Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, influye la pendiente del terreno y la vegetación. Estos coeficientes, vienen a conformar el coeficiente de infiltración del suelo (C_i) basado en la siguiente ecuación.

(3)

- Si $K_p + K_v + K_{fc}$ es mayor de 1, $C_i=1$.
- si $K_p + K_v + K_{fc}$ es menor o igual a 1, $C_i= K_p + K_v + K_{fc}$.

Dónde:

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional].

K_p = Fracción que infiltra por efecto de pendiente [adimensional] (TABLA 3).

K_v = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal [adimensional] (TABLA 3).

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo [Adimensional] (Ecuación 2)

TABLA 3. Componentes del coeficiente de infiltración.

(Schosinsky & Losilla, 2000).

Por pendiente:	pendiente	Kp
Muy plana	0.02%-0.06%	0.3
Plana	0.3%-0.4%	0.2
Algo plana	1%-2%	0.15
Promedio	2%7%	0.1
fuerte	Mayor de 7%	0.06

Por cobertura vegetal:	Kv
Cobertura con zacate menos del 50%	0.09
Terrenos cultivados	0.1
Cobertura con pastizal	0.18
Bosques	0.20
Cobertura con zacate más del 75%	0.21

TABLA 4. Determinación de tipo de suelo en base a la infiltración básica

INFILTRACIÓN BÁSICA APROXIMADA.	
TIPO DE SUELO	INFILTRACIÓN BÁSICA (mm/hora)
ARCILLA	1 - 5
FRANCO ARCILLOSO	5 - 10
FRANCO LIMOSO	10 - 20
FRANCO ARENOSO	20 - 30
ARENOSO	30 O MAS
FUENTE: USO DE RIESGOS, JOSÉ ROBERTO DERAS CORTEZ	

CALCULO DE INFILTRACIÓN PLUVIAL MENSUAL.

- Para el cálculo de precipitación que infiltra mensualmente, se consideran los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje (ecuación 1) y el coeficiente de infiltración (ecuación 3).

- El cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (P_i) al suelo, está dado por la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - Ret) \quad (4)$$

Dónde:

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

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional] (ecuación 3)

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

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en [mm/mes] (ecuación 1).

En ningún caso el coeficiente de infiltración (C_i) ha de ser mayor de 1, si así fuese, se le asigna a C_i el valor de 1.

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. La escorrentía mensual se calcula con la siguiente ecuación

$$ESC = P - Ret - P_i \quad (5)$$

Dónde:

ESC = Escorrentía superficial en mm/mes.

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

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en mm/mes (ecuación 1).

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes (ecuación 4).

EVAPOTRANSPIRACIÓN.

La fórmula creada por el Dr. George Hargreaves (Hargreaves, 1975) sugiere el cálculo de la evapotranspiración potencial a partir de datos medidos de temperaturas, y de datos de radiación solar.

$$ETP=0.0135 (t_{med}+17.78) * RS$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria en mm/día.

tmed: Temperatura media en °C.

Rs: Radiación Solar incidente, convertida en mm/día.

CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE (RS)

La radiación solar incidente, Rs, se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (La que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como RO o Ra, y la leemos en TABLAS en función de la latitud del lugar y del mes.

Samani (Samani, 2000) propone la siguiente fórmula:

$$RS=RO *KT* (t_{max}-t_{min})^{0.5}$$

Dónde:

Rs: Radiación solar incidente.

Ro: Radiación solar extraterrestre, (VER ANEXO 12)

KT: Coeficiente.

tmax: Temperatura máxima diaria.

tmin: Temperatura mínima diaria

El coeficiente K_T es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves recomienda $K_T = 0.162$ para regiones del interior y $K_T = 0.19$ para regiones costeras.

Fórmula simplificada

Sustituyendo R_S en la ecuación y tomando un valor medio de $K_T = 0.17$, se obtiene la expresión simplificada,

$$ETP = 0.0023 (t_{med} + 17.78) R_o * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria en mm/día.

t_{med} : Temperatura media en °C.

R_o : Radiación solar extraterrestre, (VER ANEXO 12)

t_{max} : Temperatura máxima diaria en °C.

t_{min} : Temperatura mínima diaria en °C.

RECARGA AL ACUÍFERO.

Para ser consistente con las unidades de los parámetros que se utilizaron en adelante, tal como capacidad de campo, punto de marchitez, humedad del suelo, precipitación y evapotranspiración se utilizarán unidades en milímetros. Para poder convertir la humedad del suelo, punto de marchitez y capacidad de campo a milímetros, se pasan de porcentaje por peso de suelo seco, tal como aparecen en TABLAS o laboratorio de suelos, a porcentaje por volumen mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ por volumen} = (\% \text{ por peso de suelo seco}) (\text{densidad aparente}) \quad (8)$$

Cuando ocurre la precipitación, el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Posteriormente, una vez terminado el aguacero, se lleva a cabo la evapotranspiración, tomando las raíces el agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero.

Al siguiente coeficiente, contenido en la ecuación 6, lo designaremos coeficiente de humedad (Ch):

$$Ch = \frac{\text{(humedad de suelo - punto de marchitez)}}{\text{(capacidad de campo - punto de marchitez)}} \quad (9)$$

Al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (hSi). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra (Pi) vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración. Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad, al final del mes, sería (C1):

$$C1 = (Hsi - PM + Pi)/(CC - PM) \quad (10)$$

Dónde:

C1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

Hsi = humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].

PM = Punto de marchitez en [mm].

Pi = Precipitación que infiltra en [mm/mes].

CC = Capacidad de campo en [mm].

TABLA 5. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos Fuente: (Grassi, 1976).

TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	PPM %	CC%	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	2-6	6-12	1,55-1,80
Franco-Arenoso	4-8	10-18	1,40-1,60
franco	8-12	18-26	1,35-1,50
Franco-arcilloso	11-15	23-31	1,30-1,40
Arcilloso-arenoso	13-17	27-31	1,25-1,35
Arcilloso-arenoso	15-19	31-39	1,20-1,30

Si consideramos que ocurre la evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad, al final del mes sería:

$$C2 = (H_{si} - PM + P_i - ETR1) / (CC - PM) \quad (11)$$

$$ETR1 = (C1)(ETP)$$

Dónde:

C2 = Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

ETR1 = Evapotranspiración potencial real [mm/mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

- El valor de C1 corresponde al coeficiente de humedad máximo, ya que considera la humedad del suelo al inicio del mes, más la infiltración de la lluvia, sin ocurrir la evapotranspiración. El valor de C2, corresponde al coeficiente de humedad mínimo, ya que está calculado considerando la

humedad del suelo anterior, restándole la evapotranspiración mensual, estimada con el coeficiente de humedad máximo, C1. Por lo tanto, el coeficiente C2 se aproxima al coeficiente de humedad al final del mes.

Como la infiltración y la evapotranspiración ocurre durante el mes, se estima que el coeficiente de humedad del mes corresponde al promedio de C1 y C2; o sea, $(C1+C2)/2$; esto quiere decir que la evapotranspiración potencial real ocurrida en un mes dado es:

$$ETPR \left(\frac{mm}{mes} \right) = \left(\frac{C1+C2}{2} \right) ETP \quad (12)$$

Dónde:

ETPR= Evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes [mm/mes]

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes]

- Ninguno de los coeficientes de humedad, C1 y C2, pueden ser superiores a 1, ni menores a 0. En caso que C1 o C2, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si C1 o C2 son negativos se tomarán con valor de 0.

Definiremos como humedad disponible (HD), aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar. La humedad disponible está dada por la siguiente ecuación:

$$HD \left(\frac{mm}{mes} \right) = Hsi + Pi - PM \quad (13)$$

Dónde:

HD = humedad disponible [mm/mes].

Hsi = humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].

Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

- Si la humedad disponible es menor que la ETPR de la ecuación (12), la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que evapotranspirará únicamente la humedad disponible, debido a que no hay suficiente humedad para evapotranspirar la cantidad de agua indicada en la ecuación (12). Sin embargo, si la humedad disponible (HD) es mayor que la cantidad de agua indicada en la ecuación (12), la planta evapotranspirará la cantidad expresada en dicha ecuación. Por lo tanto la evapotranspiración real será:

Ecuación para el cálculo de evapotranspiración real (ETR) (14)

Si $((C1+C2)/2)$ ETP es menor o igual a HD, ETR (mm/mes) = $((C1+C2)/2)$ ETP

Si $((C1+C2)/2)$ ETP es mayor que HD, ETR (mm/mes) = HD

Dónde:

ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración [adimensional].

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, [adimensional].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

HD = humedad disponible [mm/mes].

Para realizar el cálculo de la recarga del acuífero, se requiere conocer la humedad del suelo al final del mes, humedad de suelo final (HSF), la cual no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo de HSF (15)

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

$$Hsf = HD + PM - ETR$$

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

La Hsf en ningún momento puede ser mayor a la CC.

Dónde:

Hsf = humedad del suelo final (final de mes) [mm].

HD = humedad disponible [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

ETR= Evapotranspiración real [mm/mes].

CC = Capacidad de campo [mm].

Además del cálculo de la ecuación para la humedad del suelo al final del mes, es necesaria la humedad de suelo al inicio del mes, o sea, humedad inicial (Hsi). La humedad inicial de un mes dado es la siguiente:

Hsi = Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior (Hsf de ecuación 15) (16)

Hsi = humedad del suelo inicial (inicio de mes) [mm].

Hsf = humedad del suelo final (final de mes) [mm].

CALCULO DE RECARGA POTENCIAL ACUÍFERA.

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la siguiente ecuación.

$$R_p = P_i = H_{si} - H_{sf} - ERT \quad (17)$$

Dónde:

Rp = Recarga potencial mensual en mm/mes.

Pi = Precipitación que infiltra en mm/mes.

Hsf = humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

MODELO DE EXCEL PARA EL CALCULO DE RECARGA POTENCIAL.

En esta hoja se ingresan los parámetros anteriormente encontrados para una realización automática de la recarga potencial.

CALCULO DE LA RECARGA POTENCIAL ANUAL EN UNA CUENCA.

Para el cálculo de recarga anual en una cuenca, es necesario dibujar la cuenca hidrogeológica a la que se le quiere calcular la recarga potencial anual en

unidades de volumen. Una vez dibujada la cuenca, se requiere dibujar dentro de ella, las zonas con el mismo tipo de suelo o las zonas con el mismo tipo de geología, ya que una formación geológica forma un tipo determinado de suelo.

POLÍGONOS DE THIESSIEN.

Para realizar el cálculo de la recarga potencial, se seleccionan las áreas de diferente geología o clasificación de suelo, ya que estas se suponen tienen una permeabilidad similar. En cada área conformada por una misma geología, se puede obtener un promedio de la permeabilidad, para mayor exactitud, es mejor realizar polígonos de Thiessen, para las diferentes pruebas de infiltración, dentro de la misma geología.

El volumen de agua que recarga al acuífero estará dado por la siguiente ecuación:

$$V = RpA \quad (20)$$

Dónde:

V = Volumen de recarga [m³/mes o m³/año].

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

A = Área donde se genera la recarga potencial [m²].

2.5.3 VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.

Para el desarrollo de la vulnerabilidad se utilizó el método GOD (por sus iniciales en inglés: Groundwater hydraulic confinement, Overlaying Strata, Depth to groundwater table; (DIOS—según la versión en español de los manuales del CEPIS-OPS) por ser un método práctico de aplicar, simplificado, sencillez

conceptual y también por ser un método ampliamente aplicado en acuíferos de América Latina y el Caribe.

Para la implementación del método GOD se necesita la utilización de tres parámetros solamente para la obtención del índice de vulnerabilidad, que se representan así:

- G: Grado de confinamiento hidráulico del acuífero en consideración.
- O: Ocurrencia del sustrato suprayacentes (zona no saturada o capas confinantes) en términos de atenuación de contaminantes.
- D: Distancia al agua determinada como la profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o la profundidad al pecho de acuíferos confinados.

En el proceso para la estimación del índice de vulnerabilidad GOD involucra las siguientes etapas:

- Primera: identificar el grado de confinamiento hidráulico del acuífero y asignarle un índice a este parámetro en una escala de 0.0 a 1.0.
- Segunda: especificar las características del sustrato supra yacentes a la zona saturada del acuífero en términos de: (a) grado de consolidación (teniendo en cuenta la probable presencia o ausencia de permeabilidad por fisuras) y (b) tipo de litología (considerando indirectamente porosidad efectiva, permeabilidad de matriz y contenido de humedad en la zona no saturada o retención específica) y, asignar un índice a este parámetro en una escala de 0.4 a 1.0.
- Tercera: estimar la distancia o profundidad al nivel de agua (en acuíferos no confinados) o profundidad al techo del primer acuífero confinado, con la consiguiente asignación de un índice en una escala de 0.6 a 1.0.

TABLA 6. Factores hidrogeológicos que controlan la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Groundwater Quality Protection Guide, 2002)

COMPONENTE DE LA VULNERABILIDAD.	INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA	
	IDEALMENTE REQUERIDA	NORMALMENTE DISPONIBLE
Inaccessibilidad Hidráulica	Grado de confinamiento del acuífero.	tipo de acuífero
	profundidad al agua subterránea o al techo del acuífero	profundidad al agua subterránea o al techo del acuífero confinado
	contenido de humedad de la zona no saturada	
	conductividad hidráulica vertical de los estratos de la zona no saturada o de capas confinantes	
Capacidad de Atenuación	Distribución del tamaño de granos y fisuras en la zona no saturada o en las capas confinantes.	Grado de consolidación/fisuración de estos estratos.
	mineralogía de los estratos de la zona no saturada o capas confinantes	Características litológicas de estos estratos.

El índice final integrado de vulnerabilidad de acuífero GOD es el producto de los índices obtenidos para cada uno de estos parámetros.

$$\text{Índice de vulnerabilidad acuífera} = G * O * D.$$

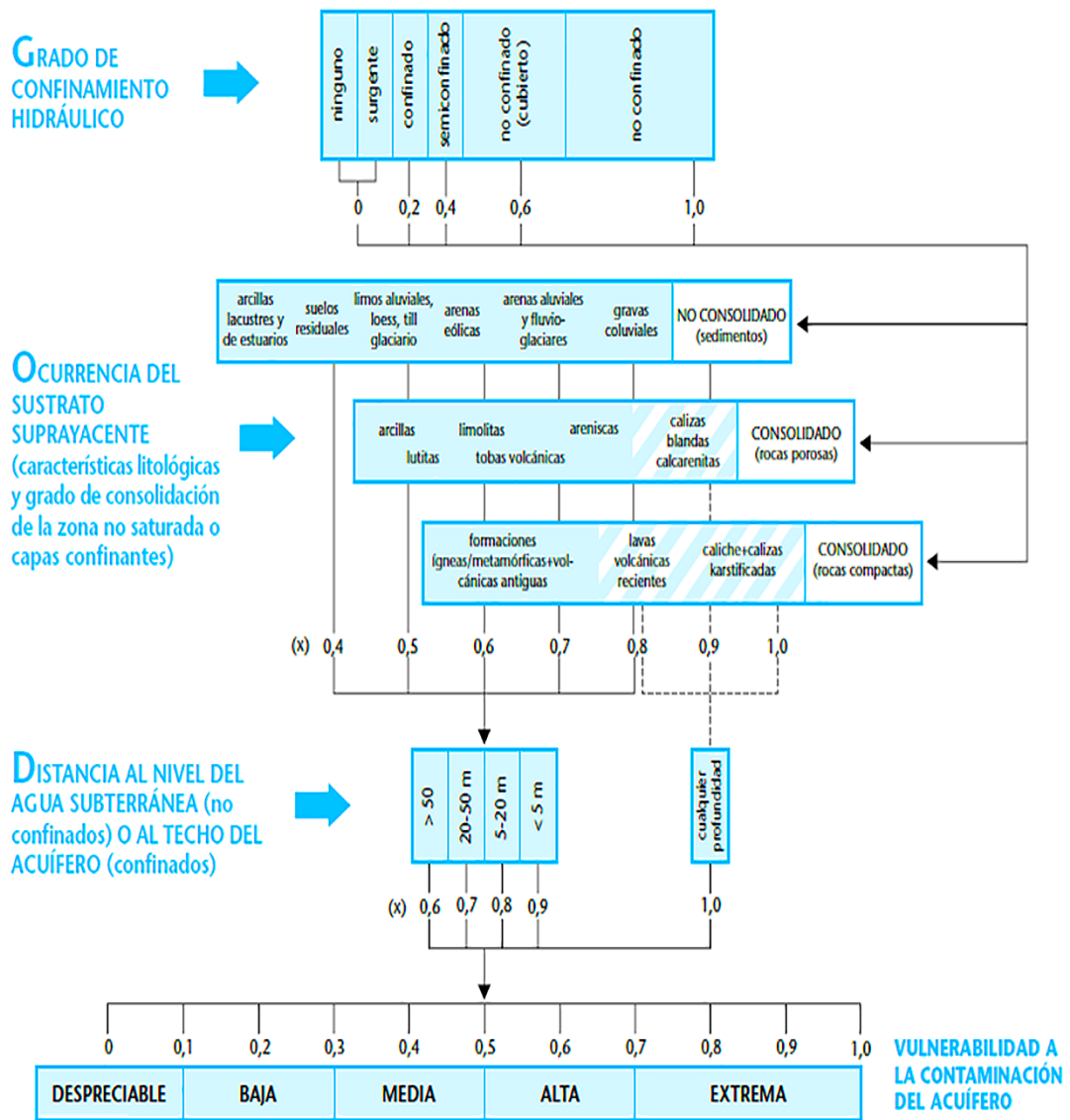


FIGURA 6. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Groundwater Quality Protection Guide, 2002)

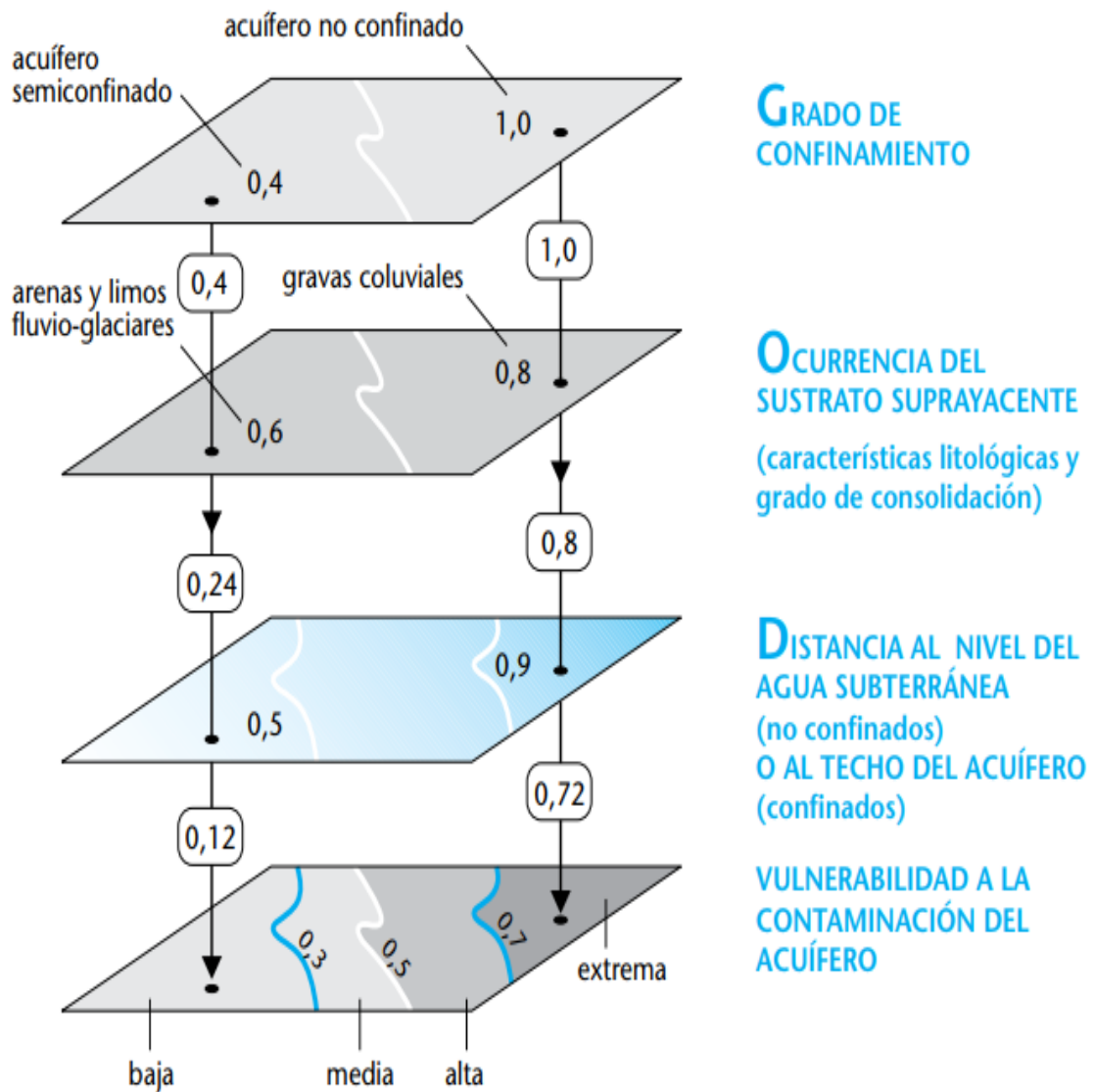


FIGURA 7. Generación del mapa de vulnerabilidad a la contaminación
(Groundwater Quality Protection Guide, 2002)

Posteriormente a el análisis de estos datos se procedio a cargar los datos al programa ArcGIS para la generación del mapa de vulnerabilidad, este programa

es una herramienta SIG que permite administrar, organizar, crear y pre visualizar datos geográficos alfanuméricos

2.5.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN.

Para esta etapa se procedió a la clasificación del riesgo para cada una de las fuentes de contaminación en base a TABLA 5 y TABLA 6, posteriormente se asignó el factor de contaminación en base a TABLA 7.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR CONTAMINANTES.

A continuación se presentan diferentes esquemas donde se caracterizan los contaminantes en base a la clase de contaminante involucrados, la intensidad de la contaminación, el modo en que el contaminante es descargado al subsuelo entre otros.

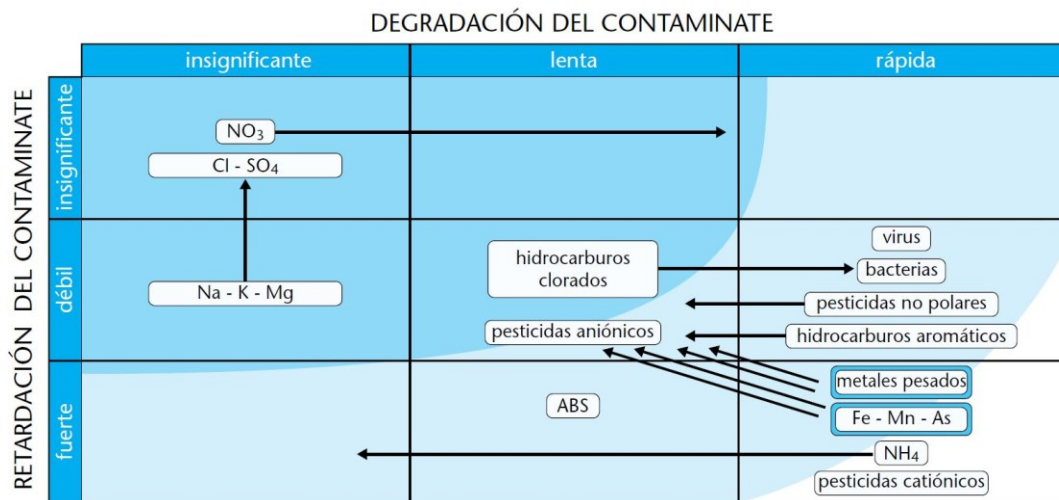


FIGURA 8. Clase de contaminante

En la FIGURA 8 se establece la naturaleza de cada uno de los contaminantes posibles y la relación entre la retardación que este puede tener para alcanzar el acuífero y la degradación natural del componente, estos dos factores anteriormente mencionados establecen la capacidad de afectación que pueden generar al acuífero.

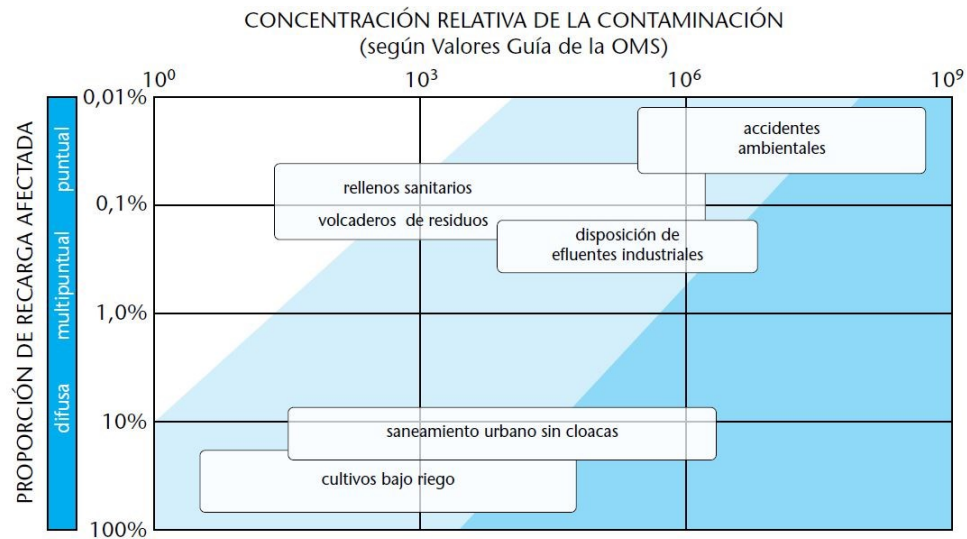


FIGURA 9. Intensidad de la contaminación.

La FIGURA 9 establece la relación entre la concentración del contaminante y la proporción de este, que establece que aquellas actividades de uso extensivo en el área generan concentraciones menores pero que son establecidas como contaminantes de espectro difuso en toda el área, La FIGURA 10 relaciona la duración de la amenaza en el área y la probabilidad de es esta afecte el acuífero.

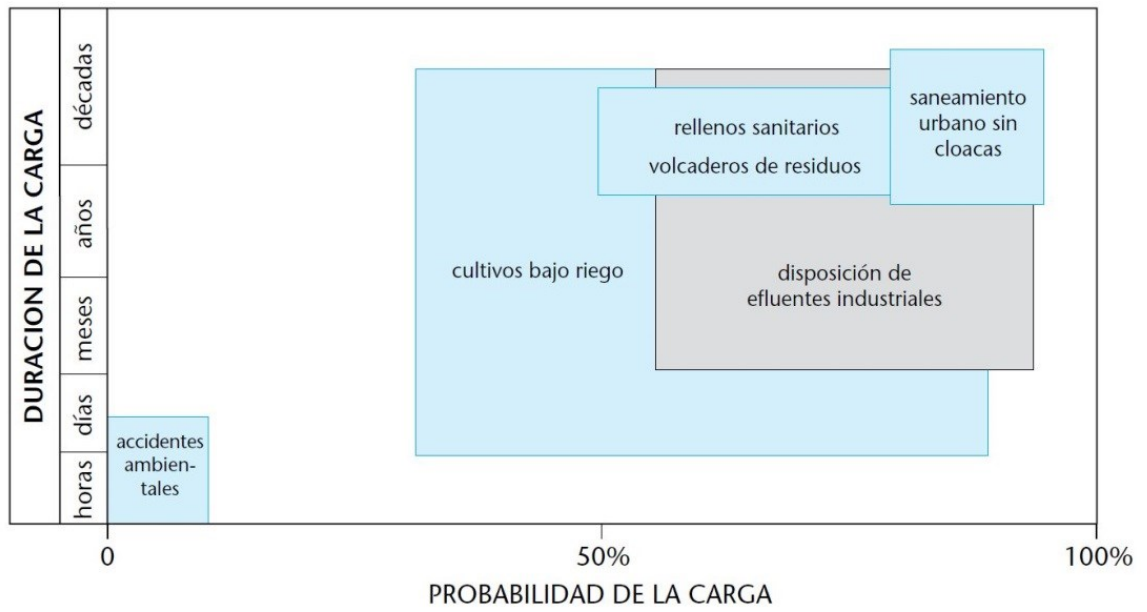


FIGURA 10. Duración de la carga contaminante.

TABLA 7. Método POSH de clasificación de las cargas potencialmente contaminantes por fuentes dispersas y multipuntuales (FOSTER; HIRATA, 1988).

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE CARGA CONTAMINANTE	SANEAMIENTO IN SITU	AGRICULTURA
ELEVADO	Mínima cobertura de la red de alcantarillado (<25%) Media o alta densidad poblacional (>100 hab/ha)	Intensiva y moderna producción agrícola, con uso intenso de fertilizantes y plaguicidas, en suelos bien drenados (sitios de manipulación de estiércol se consideran fuentes puntuales)
MODERADO	Todas las demás	Todas las demás
REDUCIDO	Alta cobertura (>75%) Baja densidad poblacional (<100hab/ha)	Sistemas de cosechas tradicionales, áreas extensas de pastoreo, sistemas “ecológicos” y sistemas de irrigación por goteo o micro aspersión en regiones de baja pluviosidad (<250mm/a)

TABLA 8. Método POSH de clasificación de las cargas potencialmente contaminantes por fuentes puntuales.

(FOSTER; HIRATA, 1988).

Potencial de generación de carga contaminante	Residuo sólido	Industria	Laguna de efluente	Fuentes puntuales urbanas	Actividad de minería y petróleo	Fuentes lineares	Otras fuentes
ELEVADO	Lluvia >1000mm/a o residuo de origen desconocida Residuo de industria tipo 3	Tipo 3 Proceso de metales Ingeniería mecánica Refino petróleo / gas Productos plásticos Químicos orgánicos Químicos inorgánicos Farmacéuticos Curtiembres Plaguicidas Electrónicos	Efluente de industria tipo 3 >5ha con efluentes de todos Los orígenes, excepto residencial	Terrenos abandonados: considerar como en operación (utilizar el índice más elevado, cuando más de una actividad)	Campos de pozos de petróleo en perforación o exploración Exploración de minerales no-inertes, incluyendo metales	Ríos contaminados influentes o efluentes con pozos que provoquen inversión de bombeo	Actividades que manipulen productos peligrosos en cantidades >100kg/día (incluyendo depósitos)
MODERADO	Lluvia >1000mm/a con residuos netamente residenciales; de industrias tipo 1 y agroindustrias Todos los demás casos	Tipo 2 Metales no ferrosos Productos caucho Pulpa & papel Jabón y detergente Fab. Textiles Fertilizantes Termoeléctricas	Solamente Residenciales con >5ha Todos los demás casos	Estaciones gasolineras	Exploración de minerales inertes: (observar la vulnerabilidad y cambios en la hidráulica del acuífero)	Ferrocarril y carreteras con tráfico intenso de productos peligrosos, incluyendo locales de trasbordo de carga	
REDUCIDO	Lluvia < 200mm/a Lluvia 200-1000mm con residuos solamente residenciales e industrias de tipo 1 y agroindustrias	Tipo 1 Materiales no metálicos Carpintería Alimentos y bebidas Azúcar y alcohol	< 1ha con efluentes de origen residencial urbana Y mixta urbana industrial; minería no metalífera y agroindustria	Cementerios			

TABLA 9. Niveles de prioridades de acción basados en las cartografías de vulnerabilidad de acuíferos y de perímetros de protección de pozos y la clasificación de la carga contaminante (FOSTER; HIRATA, 1988).

		VULNERABILIDAD				
		DESPRECIABLE	BAJA	MODERADA	ALTA	EXTREMA
		1	2	3	4	5
POTENCIAL DE RIESGO		1	2	3	4	5
REDUCIDA	1	2	4	6	8	10
MODERADA	2	3	6	9	12	15
ELEVADA	3					
RIESGO		REDUCIDO		MODERADO	ELEVADO	
		1 AL 5		6 AL 10	11 AL 15	

2.5.5 FÍSICO QUÍMICO.

Al tener la base de datos completa de valores promedio de **pH**, **conductividad eléctrica**, **temperatura** y **Coliformes**. Se procedió a hacer la comparación con los parámetros que recomienda el **Reglamento Técnico Salvadoreño “Agua de Consumo Humano, Requisitos de Calidad e Inocuidad”**

En el caso de los iones mayoritarios se procedió en base a los resultados que el laboratorio proporcione a los diagramas de Piper que determina la clasificación del agua pudiendo ser esta **bicarbonatada cálcica o magnésica, sulfatadas o clorurada clásica, sulfatada o clorurada sódica, bicarbonatada sódica.**

Cabe señalar que la comparativa se hizo con el **Reglamento Técnico Salvadoreño “Agua de Consumo Humano, Requisitos de Calidad e Inocuidad”**, ya que no existe un reglamento establecido para la evaluación de las aguas de un acuífero y también porque las personas consumen agua de este acuífero sin un tratamiento previo.

2.6 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para la presentación de resultados se elaboró un modelo conceptual basado en la información geológica, hidrogeológica y características fisicoquímicas recolectadas en campo, además el modelo buscará tener una idea precisa del comportamiento del flujo subterráneo y la vulnerabilidad del acuífero, toda esta información será sustentada con el mapa de recarga potencial, donde se describen las zonas con mayor importancia para la recarga y el mapa de vulnerabilidad que detallara las zonas mayormente potencial a ser contaminado por las actividades que se desarrollan en la zona, teniendo en cuenta que este mapa simplemente describe zonas potenciales de contaminación mas no significa que este siendo contaminada, todo lo antes expuesto está contenido en la limitación de la zona de estudio.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 HIDROGEOLOGÍA

Ciencias que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en las zonas saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre. (Wikipedia, 2007).

Según Mijailov (1985), la información hidrogeológica consiste en describir el movimiento de las aguas subterráneas dentro de las diferentes unidades hidrogeológicas de la zona de estudio, para ello es necesario estudiar la presencia de manantiales, su caudal y asociación con las fallas geológicas presentes.

3.1.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.

Es la correlación de los distintos materiales que constituyen a las formaciones geológicas, en donde las propiedades hidráulicas conllevan a la conjunción de la misma en el agrupamiento respectivo (Theis, 1935).

Según Duarte, (1998), se entiende como unidad hidrogeológica a la conjunción de los distintos materiales de miembros geológicos con similares propiedades o características hidráulicas que conllevan a la unificación en un mismo agrupamiento.

¿EN QUE CONSISTE UNA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA?

El abordaje de las cuestiones hidrogeológicas abarcan: la evaluación de las condiciones climáticas de una región, su régimen pluviométrico, la composición química del agua, las características de las rocas como permeabilidad, porosidad, fisuración, su composición química, los rasgos geológicos y geotectónicos, es así que la investigación hidrogeológica implica, entre otras, tres temáticas principales: el estudio de las relaciones entre la geología, las cuevas y las aguas subterráneas; el estudio de los procesos que rigen los movimientos de las aguas subterráneas en el interior de las rocas y de los sedimentos; el estudio de la química de las aguas subterráneas (hidroquímica e hidrogeoquímica).

Los estudios hidrogeológicos son de especial interés no solo para la provisión de agua a la población sino también para entender el ciclo vital de ciertos elementos químicos, como así también para evaluar el ciclo de las sustancias contaminantes, su movilidad, dispersión y la manera en que afectan al medio ambiente, por lo que esta especialidad se ha convertido en una ciencia básica para la evaluación de sistemas ambientales complejos.

3.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Cada gota de agua que cae de la lluvia al suelo se mueve o transfiere. Muchas gotas corren en una pendiente hacia abajo y la escorrentía forma parte de quebradas y ríos. Las aguas que llenan una depresión con suelo impermeable forman cuerpos de agua como lagos y lagunas. Algunas gotas no quedan mucho tiempo en la fase líquida. Se evaporan en forma de gas (evaporación y transpiración) otra vez a la atmósfera, para formar nubes. Otra parte de aguas pluviales alcanza a penetrar en el subsuelo y se infiltran hacia abajo. Primero pasando la zona no saturada del subsuelo; la capa donde están las raíces de las plantas y los poros del suelo lleno de aire. Cuando el agua infiltrada llega a la

zona saturada, forma parte del agua subterránea. Este proceso se le llama la recarga acuífera. (FORGAES, 2005)

Por agua subterránea se entiende el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. (CATIE, 2006).

3.2.1 IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Según Gil, (2000), en la actualidad, las cuatro quintas partes del agua consumida por la población, proviene de los ríos y lagos. Aun así, la importancia económica que supone el aprovechamiento del agua subterránea en el mundo es enorme, pues el agua subterránea es preferida generalmente al agua superficial por las siguientes razones:

- El agua subterránea no posee organismos patógenos y por ello no necesita ser tratada previamente, con el consiguiente menor costo al no pasar por depuradoras. Su temperatura es constante, lo cual es una gran ventaja si se ha de utilizar para intercambios térmicos o como termorregulador.
- No posee ni turbidez ni color.
- Su composición química es generalmente constante.
- Los volúmenes de agua subterránea almacenada son por lo general mayores que los volúmenes almacenados en superficie, por lo que el abastecimiento a partir de aguas subterráneas no suele verse afectado por las sequías prolongadas.
- La contaminación de la mayor parte de las aguas subterráneas es difícil, por actuar de filtro las mismas rocas del subsuelo.
- El agua subterránea, acumulada durante largas series de años de recarga, constituye el único recurso en muchas regiones donde no es posible

asegurar su abastecimiento a partir de la explotación de las aguas superficiales.

Dos grandes inconvenientes suelen impedir la utilización más intensiva de las aguas subterráneas:

- El hecho de que muchas regiones están emplazadas sobre un subsuelo rocoso cuya porosidad o permeabilidad son insuficientes para proporcionar grandes caudales de agua en las captaciones.
- El costo de explotación mediante pozos de bombeo es generalmente mayor que el costo de explotación de las aguas superficiales de los ríos próximos a las zonas de consumo; sobre todo en regiones de pluviometría elevada o moderada. (Gil, 2000).

3.3 ACUÍFERO

Un acuífero es una formación geológica en el subsuelo donde el agua subterránea llena en su totalidad un medio permeable. El agua subterránea se mueve a través de la gravedad en la dirección de un nivel más bajo. Así, un acuífero es un sistema dinámico, donde puede entrar agua de infiltración por arriba y flujos horizontales desde la zona de recarga. (FORGAES, 2005).

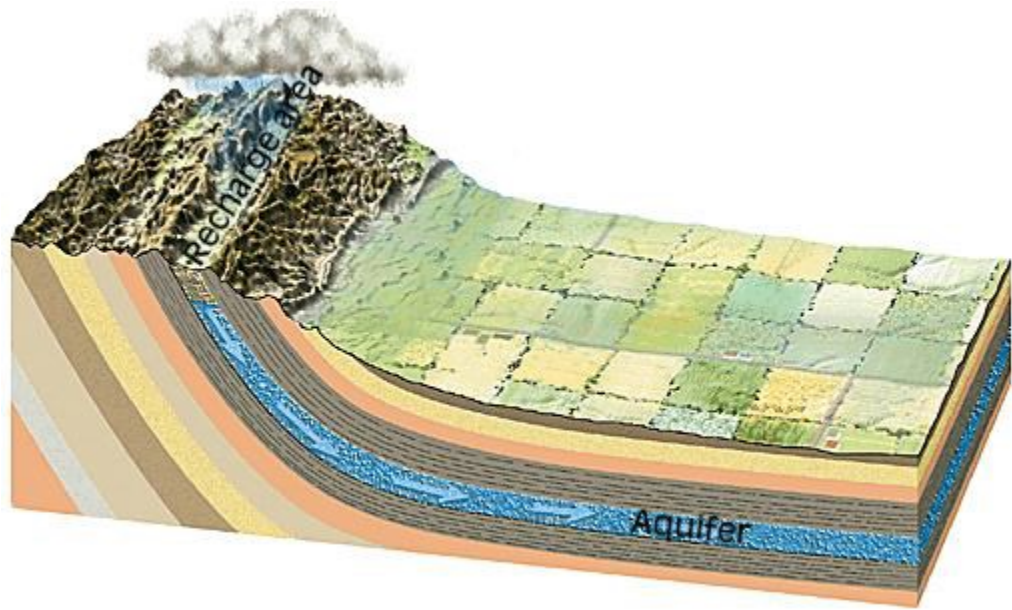


FIGURA 11. Representación de un acuífero

3.3.1. PRINCIPALES UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

UNIDAD ACUÍFERO VOLCÁNICO FISURADO DE GRAN EXTENSIÓN Y POSIBLEMENTE ALTA PRODUCCIÓN.

Esta unidad la constituyen, principalmente, rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Entre las rocas volcánicas se pueden distinguir flujos y coladas de lavas que provienen de los centros de erupción volcánica. Dichos materiales pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a altas, como consecuencia de su porosidad secundaria (fallamiento existente).

UNIDAD ACUÍFERA POROSO DE GRAN EXTENSIÓN Y PRODUCTIVIDAD MEDIA.

Los materiales de esta unidad consisten principalmente en materiales piroclásticos aglomerados y re trabajados (pómez, lapilli, tobas), teniendo una distribución granulométrica que varía de fina a gruesa. Las conductividades hidráulicas pueden variar de medianas a bajas, como consecuencia del grado de cementación o compactación que pueden tener los granos de los materiales que la constituyen. Esta unidad puede tener más de 50 m de espesor.

3.4 RECARGA ACUÍFERA

El agua del subsuelo se alimenta de las lluvias, ya sea directamente o indirectamente a través de las corrientes superficiales y lagos. El agua de lluvia sufre primero intercepción debido a la vegetación, y almacenamiento en las depresiones del terreno y en la zona vadosa. Del resto, una parte sufre escorrentía y otra llega eventualmente a la zona de agua subterránea. Quiere decir que sólo las lluvias prolongadas de fuerte magnitud alimentan el agua del subsuelo. La recarga natural del agua del subsuelo es un proceso irregular e intermitente, en que intervienen la geología y el perfil del terreno, entre otros factores.

La recarga a un acuífero puede definirse entonces como el agua que se infiltra desde la superficie proveniente principalmente de la lluvia que alcanza las reservas subterráneas.

Es importante prestar atención en la estimación de la recarga de los acuíferos, ya que es necesario determinar la cantidad de agua que llega a ellos, su calidad, procedencia y las zonas donde se presenta recarga o descarga del flujo

subterráneo, por este motivo su cuantificación es un aspecto incluido dentro de estudios referentes a los recursos de agua subterránea, al transporte de contaminantes, a la subsidencia o al diseño de campos de pozos (Isaar y Passchier, 1990).

3.4.1 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico comprende una serie de procesos continuos e interdependientes, de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano, cuerpos de agua y en la atmósfera. Por ser un ciclo, no tiene punto de partida, sin embargo, para explicarlo, se puede comenzar por la evaporación que se produce en el océano, en lagos, embalses, y todo tipo de cuerpos de agua, y la evapotranspiración de las plantas, la cual es la combinación del agua que se pierde por evaporación en el suelo y transpiración en el material vegetal. Esta evaporación y evapotranspiración, son producidas por la energía suministrada por el sol e influenciadas por las condiciones climáticas e hídricas de temperatura, radiación, viento y humedad. De esta forma, el agua cambia de un estado líquido a un estado gaseoso. El agua en forma de vapor pasa a la atmósfera, y en este ascenso, pierde calor y se produce el proceso de condensación alrededor de núcleos de condensación, los cuales pueden ser partículas de polvo que flotan en el aire, creando pequeñas gotas de agua. Estas pequeñas gotas de agua, crean nubes, y en su circulación se van uniando entre ellas, creando gotas más grandes, las cuales, por su peso, se precipitan finalmente en forma de lluvia, nieve o granizo.

Parte de la precipitación es interceptada por la vegetación, otra parte cae al suelo y dependiendo de las condiciones de cobertura del suelo, del tipo de suelo y de la pendiente del terreno, esta agua puede quedar encharcada, escurrir superficialmente o infiltrarse. El agua que escurre superficialmente corre hacia los cuerpos de agua y finalmente al mar. Una parte del agua que se infiltra es

retenida por el suelo, cuya capacidad de retención depende de su textura y estructura que forman la porosidad; otra parte del agua infiltrada se convierte también en escorrentía superficial al ser saturada la capacidad de almacenamiento del suelo; otra parte se convierte en flujo subsuperficial, y por último otra parte percola, hacia capas inferiores produciendo la recarga de aguas subterráneas. El agua que se infiltra, viaja lentamente y llega a alimentar a ríos y manantiales, y finalmente al mar.



FIGURA 12. El ciclo hidrológico (USGS, 2006)

3.4.2 PARA QUÉ SIRVE EL CONOCIMIENTO DE LA RECARGA ACUÍFERA.

La teoría de la sostenibilidad del manejo de un acuífero indica, que no se debe extraer más agua subterránea que la que se recupera a través de la recarga acuífera en un año. Con la información de la recarga acuífera se puede determinar: Áreas de protección del acuífero, zonas de recuperación (“cosecha de agua subterránea”), apoyar al ordenamiento territorial, dar recomendaciones en gestión de riesgos, identificar zonas de descontaminación, delimitar zonas de protección alrededor de pozos, etc. (Hernández, 2007).

3.5 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA

Para el desarrollo de dicha investigación se realiza un Balance Hídrico, utilizando la metodología de Gunther Schosinsky & Losilla para determinar los flujos de entrada y de salida de un sistema, y la recarga almacenada en el acuífero, el cual constituye el residuo de la ecuación del balance; analizando el tipo de suelo y su uso, así como el valor de permeabilidad encontrado a partir de las pruebas de infiltración desarrolladas en el área de estudio

Según Schosinsky & Losilla, los elementos que intervienen en el Balance Hídrico de suelo son:

(CC- PM): Rango de Agua infiltración

I: Infiltración

PM: punto de marchitez

Fc: Capacidad de Campo

PR: Profundidad de raíz disponible para las plantas

DS: Densidad del Suelo

C1: factor de la Evapotranspiración Potencial (ETP), por cierre de estomas, antes que ocurra la Evapotranspiración Real (ETR)

C2: factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurra la ETR

Kp: Coeficiente de pendiente

Kv: Coeficiente de vegetación

Kfc: factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: precipitación media mensual

PI: Precipitación que infiltra

ESC: escorrentía superficial

ETP: evapotranspiración potencial

ETR: evapotranspiración real

HSI: humedad de suelo inicial

HD: Humedad disponible

HSF: Humedad de suelo final

DCC: Déficit de capacidad de campo

RP: recarga potencial

NR: Necesidad de riego

RET: Retención de lluvia.

Las zonas de recarga de un acuífero pueden definirse como la parte de la cuenca hidrográfica en la cual por las condiciones climatológicas, geológicas y topográficas, una parte de las precipitaciones se infiltra en el suelo, siendo la entrada de agua en la zona saturada, donde comienza a ser parte de las reservas

subterráneas; esta entra de dos maneras: por movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad y luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo (Custodio & Llamas).

Es importante estimar los volúmenes de recarga de los acuíferos, ya que es necesario saber la cantidad de agua que llega a ellos, su calidad, procedencia y la identificación de las zonas donde se presenta la recarga o descarga del flujo de agua subterránea; por este motivo, la cuantificación es un aspecto importante dentro del balance hídrico.

La recarga a un acuífero puede darse de manera natural, debido a las precipitaciones o a las aguas superficiales a través de ríos o lagos, por medio de la transferencia desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial, producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento, o por infiltraciones de embalses y depósitos (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997).

3.5.1 PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA RECARGA ACUÍFERA

Para tener en cuenta todos los factores que afectan la recarga y que por lo tanto intervienen en su estimación Rushton (1988) hizo una lista de ellos:

La Superficie de la Tierra: Topografía; precipitación, donde importa la magnitud, intensidad, duración y distribución espacial de las lluvias; escorrentía; patrón de cosechas y la evapotranspiración real.

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

Ríos: Cantidad de ríos y el caudal que fluye por ellos, cuyos cauces están dentro del área de estudio, los que salen del área de estudio y los que ganan o pierden agua del acuífero.

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

Zona no Saturada entre el Suelo y el Acuífero: Mecanismos de flujo a través de la zona no saturada, zonas con diferentes conductividades hidráulicas, etc.

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

3.5.2 BALANCE HÍDRICO.

Cuando se habla de balance hídrico se refiere a la cuantificación de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, así como los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios en un área determinada (cuenca, Subcuenca, micro cuenca) y la interrelación existente entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad, aprovechamiento y demanda en dicha área. Dado que el balance hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permitiendo tomar medidas y estableciendo lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice la disponibilidad en cantidad, calidad y tiempo.

El balance hídrico se utilizará para el análisis de las entradas, salidas y cambios de humedad del suelo dentro de la zona de estudio. La infiltración y/o recarga

es una de las salidas que se analiza por medio del balance hídrico, el cual involucra para su determinación los componentes básicos del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración, infiltración, etc.), definidos a continuación:

- **Precipitación Efectiva**

Se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrar en el suelo, y que se encuentra disponible para ser utilizada por las plantas o para recargar el acuífero. Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva como, por ejemplo: intensidad de la precipitación, velocidad de infiltración del agua en las formaciones geológicas de la zona, la cobertura vegetal y la topografía.

- **Evapotranspiración (ETP)**

Es la pérdida del agua contenida en el suelo, producto de la evaporación más la pérdida del agua contenida en la vegetación por medio de la transpiración, también constituye un factor de gran importancia para conocer la cantidad de agua infiltrada en el subsuelo, es un importante elemento para el balance hídrico ya que nos permite estimar el máximo de pérdidas causado por el complejo planta-suelo, que a la vez nos sirve para conocer la cantidad que logra percolar hasta el acuífero.

- **Contenido de Humedad del Suelo**

Es la cantidad de agua retenida que se encuentra en el suelo, generalmente se expresa en proporción al peso del agua con respecto al peso total de una muestra de suelo, o en proporción al volumen ocupado por el agua en dicha muestra, teniéndose valores de contenido de humedad de suelo característicos: la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (INTA, 2005).

- **Capacidad de Campo**

Es la máxima humedad que puede tener un suelo contra la fuerza de la gravedad sostenida por capilaridad, expresada en porcentaje por peso seco (%) o en lámina de agua (cm o mm) (Citizen Science, 2008).

Así mismo se define como la cantidad de agua que un suelo puede retener frente a la acción de la gravedad. Esta generalmente ocurre a una tensión 1/10 atmósferas para suelos ligeros a 1/13 atmósferas para suelos pesados. La velocidad lenta de circulación del agua ocurre cuando el potencial matricial esta alrededor de 33 KPa (1/3 de atmósferas). En esta etapa se dice que el suelo está en Capacidad de Campo (Gurovich, 1990).

- **Punto de Marchitez**

Es el límite inferior del contenido de humedad, a partir del cual el agua no puede ser adsorbida por las raíces. Se expresa en lámina de agua o en peso seco de suelo (Citizen Science, 2008).

El punto de marchitez permanente (PMP), es el contenido de humedad en el suelo cuando las plantas no pueden adsorber el agua que se encuentra en el suelo por la presión que existe, por tal motivo las plantas se marchitan y no recobran su turgencia, este estado ocurre entre 10 a 20 atmósferas de tensión. Grado de humedad en el que el suelo ha perdido su agua de gravedad (Gurovich, 1990).

Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos, son las condiciones que determinan la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las

raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, la retención de nutrientes y la velocidad de infiltración del agua.

Es importante conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, para mantener las mejores condiciones físicas del suelo (Rucks, 2004).

- **Infiltración del Agua**

La infiltración es el proceso por el cual, el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua y el exceso se acumula sobre la superficie, este exceso escurre si las condiciones de pendiente lo permiten.

La capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es el flujo de agua que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica (Ruiz, 2004).

- **Conductividad Hidráulica**

Es el factor de proporcionalidad de la ley de Darcy, que trata del flujo de agua en el suelo, es decir el flujo de agua por unidad de gradiente del potencial hidráulico, en el sistema de unidades de longitud, tiempo y masa (Forsythe, 1985). Es también la cantidad de agua por unidad de tiempo que fluye o pasa a través de una columna de flujo saturado.

La ley de Darcy dice que la velocidad del flujo del agua a través de una columna de suelo saturado, es directamente proporcional a la diferencia en carga hidráulica e inversamente proporcional a la longitud de la columna. (Forsythe, 1985, Kutílek y Nielsen, 1994; citados en Gabriels et al., 2014).

3.6 VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.

3.6.1 ¿PORQUE LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA MERECE PROTECCIÓN?

- El agua subterránea es un recurso natural vital para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y rural, y juega un papel fundamental (pero frecuentemente poco apreciado) en el bienestar del ser humano y de muchos ecosistemas acuáticos.
- A escala mundial, los acuíferos (formaciones geológicas que contienen recursos hídricos utilizables) están experimentando una creciente amenaza de contaminación causada por la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y emprendimientos mineros.
- Por ello existe una gran necesidad de llevar a cabo campañas proactivas y acciones prácticas destinadas a proteger la calidad natural del agua subterránea (que por lo general es excelente), las cuales se pueden justificar sobre la base tanto de criterios amplios de sustentabilidad ambiental como de criterios más estrechos de beneficio económico.

3.6.2 ¿CUÁLES SON LAS CAUSAS COMUNES DEL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA?

- Existen varias causas potenciales del deterioro de la calidad de un acuífero y/o las fuentes de agua subterránea. Estas se clasifican por su génesis y se explican más adelante en la TABLA 3.

TABLA 10. Clasificación de los problemas de calidad del agua subterránea.

Tipo de problema	Causa subyacente	Contaminantes de interés.
CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO.	Protección inadecuada de acuíferos vulnerables contra descargas y lixiviados provenientes de actividades humanas/industriales e intoxicación de cultivos agrícolas.	Patógenos, nitratos o amonio, cloruro, sulfato, boro, arsénico, metales pesados, carbono orgánico disuelto, hidrocarburos aromáticos y halogenados, algunos pesticidas.
CONTAMINACIÓN DE LA CABECERA DEL POZO	Construcción/diseño inadecuado del pozo que permite el ingreso directo de agua superficial o agua subterránea poco profunda contaminada.	Principalmente patógenos.
INTRUSIÓN SALINA	Agua subterránea salada (y a veces contaminada) inducida a fluir hacia acuíferos de agua dulce como resultado de una extracción excesiva.	Principalmente cloruro de sodio, pero puede incluir además contaminantes persistentes provenientes de la acción del hombre.
CONTAMINACIÓN QUE OCURRE NATURALMENTE.	Relacionado con la evolución química del agua subterránea y la solución de minerales (puede estar agravado por la contaminación antrópica y/o la extracción excesiva).	Principalmente hierro y flúor solubles, a veces sulfato de magnesio, arsénico, manganeso, selenio y otras especies inorgánicas.

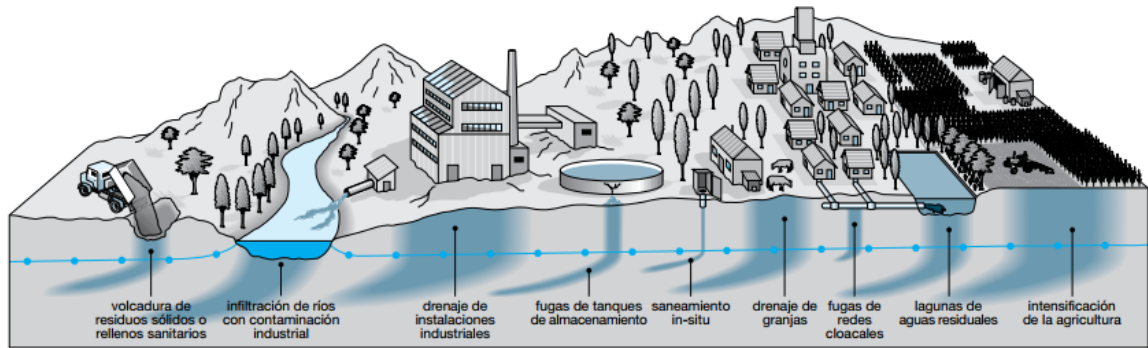


FIGURA 13. Procesos comunes de contaminación del agua subterránea

3.6.3 ¿DE QUÉ MANERA SE CONTAMINAN LOS ACUÍFEROS?

- Las aguas subterráneas se originan principalmente por exceso de precipitación que se infiltra directa o indirectamente en la superficie del suelo. Como consecuencia, las actividades humanas en la superficie pueden constituir una amenaza a la calidad del agua subterránea. La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes (FIGURA 13).
- Los perfiles naturales del subsuelo atenúan muchos contaminantes en forma activa, e históricamente han sido considerados potencialmente eficaces para la disposición segura de excretas humanas y aguas residuales domésticas. La autoeliminación de contaminantes durante el transporte subterráneo en la zona vadosa (no saturada) es resultado de la degradación bioquímica y de la reacción química, pero los procesos de retardo de contaminantes por fenómenos de adsorción son igualmente importantes, ya

que aumentan el tiempo disponible para los procesos que conducen a su eliminación.

- Sin embargo, no todos los perfiles del subsuelo y estratos subyacentes son igualmente eficaces en la atenuación de contaminantes, y los acuíferos son particularmente vulnerables a la contaminación cuando, por ejemplo, se encuentran rocas consolidadas altamente fisuradas. El grado de atenuación también variará ampliamente según el tipo de contaminante y el proceso de contaminación en un ambiente determinado.
- La preocupación sobre la contaminación del agua subterránea se refiere principalmente a los acuíferos no confinados o freáticos, especialmente donde su zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo, pero un peligro de contaminación significativo puede estar presente también en los acuíferos semiconfinados, si las capas acuitardas confinantes son relativamente delgadas y permeables.
- La TABLA 6 presenta un resumen de los tipos más comunes de actividades capaces de ocasionar contaminación del agua subterránea significativa y los componentes contaminantes encontrados con mayor frecuencia. Es importante reconocer que éstos difieren de los que generalmente contaminan las aguas superficiales, consecuencia de los diferentes controles que gobiernan la movilidad y persistencia de los contaminantes en los respectivos sistemas hídricos.
- Es igualmente importante resaltar que a menudo determinadas actividades (y procesos específicos o prácticas adicionales dentro de tales actividades)

representan amenazas desproporcionadas a la calidad del agua subterránea. Por ello la adopción de una serie de medidas de control de la contaminación claramente enfocadas y bien afinadas puede resultar en grandes beneficios a un costo relativamente modesto.

- La actividad humana en la superficie del terreno modifica los mecanismos de recarga de los acuíferos e introduce otros nuevos, cambiando la distribución, frecuencia, tasa y calidad de la recarga del agua subterránea. Esto se da especialmente en climas áridos pero también ocurre en regiones más húmedas. La comprensión de estos mecanismos y el diagnóstico de tales cambios resultan críticos para la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea.
- El movimiento del agua y transporte de contaminantes desde la superficie del suelo a los acuíferos puede ser, en muchos casos, un proceso muy lento. Puede tomar años o décadas antes que el impacto de un episodio de contaminación (por contaminantes persistentes) resulte evidente en un suministro de agua, especialmente en casos de pozos profundos.

Este factor puede simultáneamente traer aparejado un gran beneficio y un grave problema debido a que:

- da tiempo suficiente para la descomposición de contaminantes degradables
- puede favorecer una actitud complaciente ante la probabilidad de penetración de contaminantes persistentes.
- La implicancia es también que una vez que la calidad del agua se ha deteriorado notoriamente, grandes volúmenes del acuífero estarán normalmente involucrados. Las medidas de limpieza, por lo tanto, casi siempre tienen un alto costo económico y a menudo son problemáticas desde el punto de vista técnico.

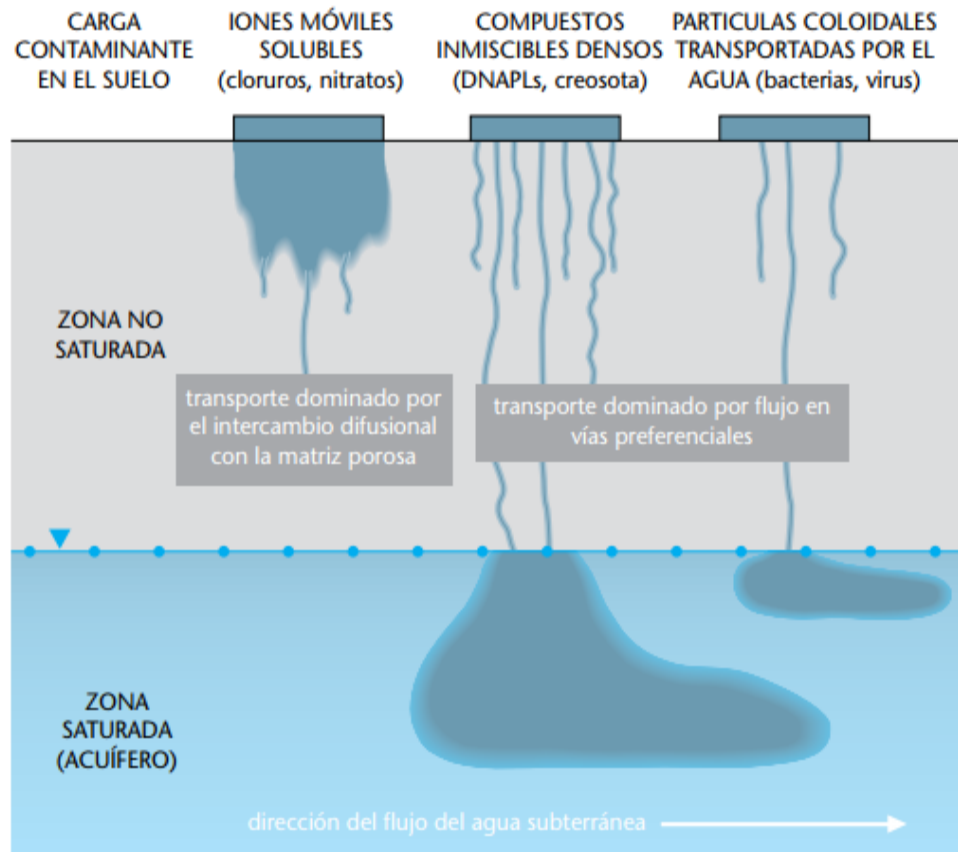


FIGURA 14. *Desarrollo y consecuencias del flujo preferencial en la zona no saturada.*

3.6.4 ¿CÓMO PUEDE EVALUARSE EL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA?

- El enfoque más lógico sobre el peligro de contaminación del agua subterránea es considerarlo como la interacción entre:
 - la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, consecuencia de las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del suelo

- a carga contaminante que se aplica, será o podría ser aplicada en el medio subterráneo como resultado de la actividad humana.

Si adoptamos este enfoque podremos tener alta vulnerabilidad, pero ningún peligro de contaminación en los casos en que no exista una carga contaminante significativa al subsuelo y viceversa. Ambas situaciones son perfectamente consistentes en la práctica. Por otra parte, la carga contaminante puede ser controlada o modificada, pero la vulnerabilidad de los acuíferos está determinada esencialmente por el entorno hidrogeológico natural.

- El término vulnerabilidad a la contaminación del acuífero intenta representar la sensibilidad de un acuífero a ser afectado en forma adversa por una carga contaminante impuesta (FIGURA 14). En efecto, es lo inverso a la “capacidad de asimilación de contaminación de un cuerpo de agua receptor” en la jerga utilizada en la gestión de calidad de aguas superficiales.
- La vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos puede mapearse con facilidad. En tales mapas los resultados de los reconocimientos de cargas contaminantes potenciales pueden superponerse con el fin de facilitar la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea. El término peligro de contaminación del recurso hídrico subterráneo se refiere a la probabilidad de que el agua subterránea de un acuífero se contamine, en concentraciones que superen los valores guía de la OMS para la calidad del agua potable.
- El que este peligro resulte en una amenaza para una determinada fuente de abastecimiento dada, depende fundamentalmente de su ubicación con respecto al área de captación de la fuente de agua subterránea y secundariamente de la movilidad y dispersión del o

los contaminantes involucrados en el régimen local de flujo de agua subterránea.

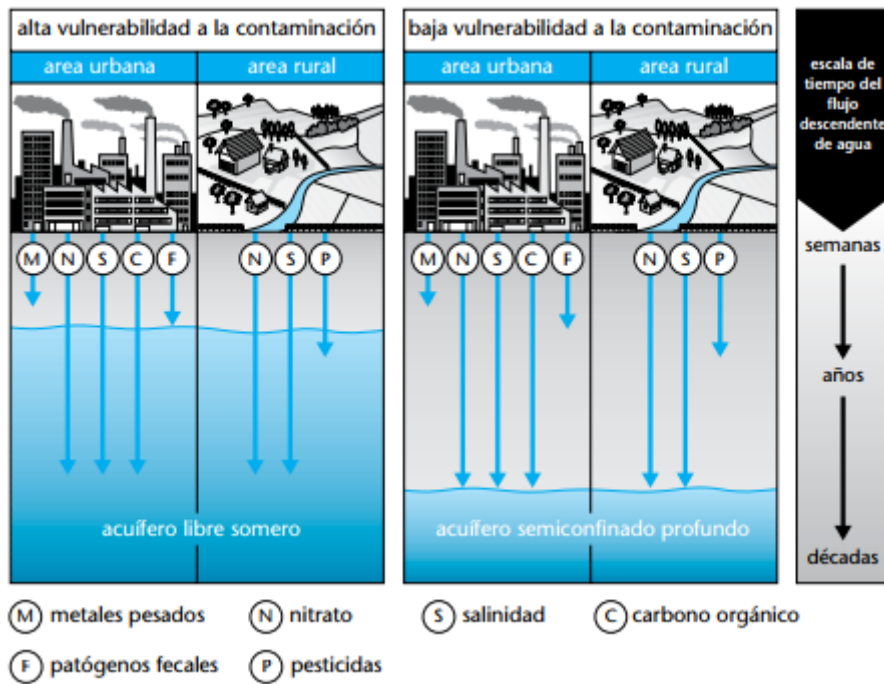


FIGURA 15. Significado de vulnerabilidades contrastantes a la contaminación de acuíferos

La evaluación del peligro de contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua subterránea puede llevarse a cabo superponiendo los perímetros de protección del pozo sobre el mapa de vulnerabilidad (FIGURA 16), y de manera subsiguiente, relacionando las zonas así definidas con mapas elaborados sobre la base del inventario de las cargas potencialmente contaminantes al subsuelo. Debe señalarse aquí, sin embargo, que no está dentro del alcance de la presente Guía la evaluación del riesgo que tal peligro representa para los usuarios del agua, en términos de la exposición a contaminantes o del incremento en costo del tratamiento del agua.

1. Las escalas de reconocimiento y mapeo de los diversos componentes requeridos para evaluar el peligro de contaminación del agua subterránea varían de forma significativa según el enfoque principal del trabajo—protección de fuentes específicas de agua subterránea o del recurso hídrico subterráneo en su totalidad (*FIGURA 15*) y esto se discute más adelante.

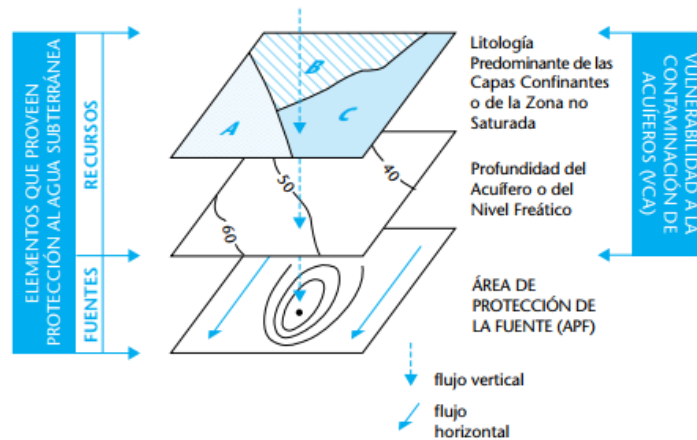


FIGURA 16. Componentes de la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea usados para zonificar la superficie del terreno con fines de protección del agua subterránea

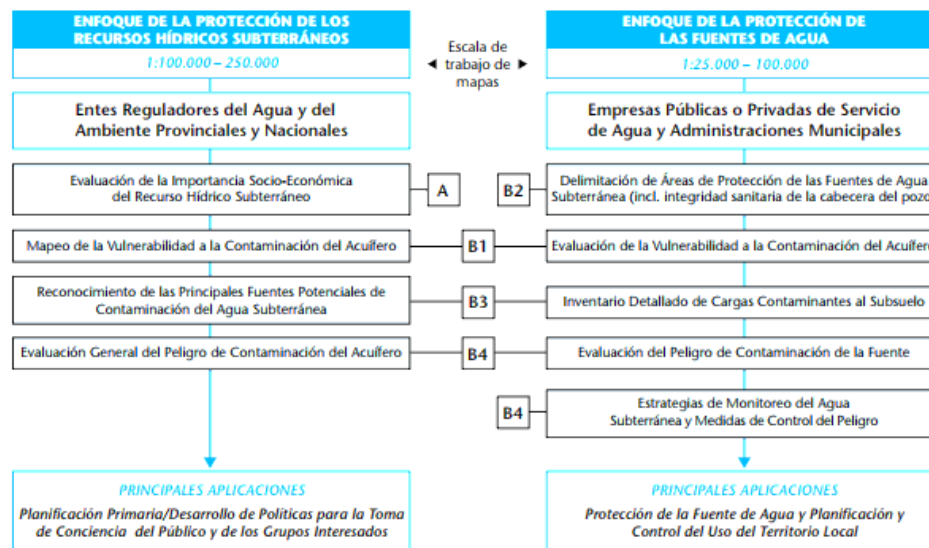


FIGURA 17. Enfoque y aplicación de los diferentes niveles de evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea.

3.6.5 EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD.

En hidrogeología el término vulnerabilidad se comenzó a utilizar intuitivamente a partir de la década de los '70 en Francia (Albinet y Margat, 1970) y más ampliamente en los '80 (Haertle, 1983; Aller et. al., 1987; Foster e Hirata, 1988). Inicialmente el término fue usado sin definición formal alguna, aunque hacía referencia a la susceptibilidad del acuífero a ser afectado por la contaminación antrópica.

La expresión empezó teniendo diferentes significados para diferentes personas. Una definición útil y consistente sería considerar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero como aquellas características intrínsecas de los estratos que separan la zona saturada del acuífero de la superficie del terreno, lo cual determina su sensibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante aplicada en la superficie (Foster, 1987). Así, la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero sería función de:

- la accesibilidad de la zona saturada del acuífero a la penetración de contaminantes, en un sentido hidráulico
- la capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada resultantes de la retención o reacción físico-química de los contaminantes.

En este sentido, el peligro de contaminación del agua subterránea se definiría luego como la probabilidad de que el agua subterránea en la parte superior de un acuífero sea contaminada en un nivel inaceptable por las actividades que se desarrollan en la superficie del terreno suprayacente (Foster e Hirata, 1988; Adams y Foster, 1992). Posteriormente dos importantes grupos de profesionales revisaron y se pronunciaron sobre la aplicabilidad del concepto de vulnerabilidad resaltando su utilidad (NRC, 1993; IAH/Vrba y Zaporzec, 1994). Sin embargo hubiera sido deseable un pronunciamiento más claro del uso del término, por ejemplo asociarlo específicamente con las características intrínsecas de los estratos (zona no saturada o capas confinantes) que separan la zona saturada del acuífero de la superficie del terreno (Foster y Skinner, 1995) y lo más importante, relacionarlo directamente con el impacto potencial de las decisiones del uso del territorio suprayacentes al acuífero.

Por otra parte algunos profesionales consideraron que en el concepto de vulnerabilidad debería incluirse un factor que represente la movilidad natural y persistencia de los contaminantes en la zona saturada. Sin embargo, esto no parece que contribuya, desde una perspectiva útil, al mapeo de vulnerabilidad como herramienta en la planificación y control de actividades en la superficie del terreno.

3.6.6 NECESIDAD DE CONTAR CON UN ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ABSOLUTO INTEGRADO.

Científicamente es más consistente evaluar la vulnerabilidad a la contaminación para cada contaminante o bien para cada tipo de contaminante (nutrientes, patógenos, microorganismos, metales pesados, etc.) o en forma separada para cada grupo de actividades contaminantes (saneamiento sin red cloacal, agricultura, disposición de efluentes industriales, etc.). Por esta razón, Andersen y Gosk (1987) sugirieron realizar el mapeo de vulnerabilidad para cada grupo de contaminantes en escenarios de contaminación específicos. Sin embargo, esto conduciría a la elaboración de un atlas de mapas para cada área particular cuya utilización sería muy engorrosa en la mayoría de los casos, excepto tal vez para la evaluación y control de la contaminación agrícola difusa (Carter et. al., 1987; Sokol et. al., 1993; Loague, 1994).

Además, no existen normalmente datos técnicos adecuados y/o recursos humanos suficientes para lograr este objetivo ideal. Por lo tanto es necesario contar con un sistema menos refinado y más generalizado para el mapeo de la vulnerabilidad de acuíferos. El camino a seguir entonces, es producir un mapa de vulnerabilidad integrado donde los términos usados estén claramente definidos y las limitaciones claramente indicadas. (Foster e Hirata, 1988). Para ello es fundamental tener presente las tres ‘leyes sobre la vulnerabilidad del agua subterránea’ expresadas como advertencias en recientes revisiones realizadas en los Estados Unidos (NRC, 1993):

- todo acuífero tiene algún grado de vulnerabilidad a la contaminación
- cualquier evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos contiene incertidumbres
- en los sistemas más complejos se corre el riesgo de que al evaluar la vulnerabilidad lo obvio sea velado y lo sutil no se distinga.

TABLA 11. Definición practica de clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos

Clase de vulnerabilidad	Definición correspondiente
EXTREMA	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
ALTA	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.
MODERADA	Vulnerable a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
BAJA	Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
DESPRECIABLE	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

3.6.7 APLICACIÓN DEL MÉTODO GOD PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.

El método considera dos factores básicos:

- El grado de in accesibilidad hidráulica de la zona saturada.
- la capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero.

Estos factores no son directamente medibles, dependen a su vez de la combinación de distintos parámetros. Dado que la información relacionada con la mayoría de estos parámetros no está generalmente disponible, para desarrollar el mapeo de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos de una forma práctica, es inevitable realizar una simplificación de esta lista.

Sobre la base de tales consideraciones, el índice de vulnerabilidad GOD, (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) caracteriza a la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en función de los siguientes parámetros (generalmente disponibles o fácilmente determinables):

- **G**rado de confinamiento hidráulico del acuífero en consideración.
- **O**currencia del sustrato suprayacentes (zona no saturada o capas confinantes) en términos de características litológicas y grado de consolidación, que determinan su capacidad de atenuación de contaminantes.
- **D**istancia al agua determinada como: la profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o la profundidad al techo de acuíferos confinados.

Consecuentemente, la estimación del índice de vulnerabilidad GOD (Foster e Hirata, 1988) involucra una serie de etapas concretas:

- primera, identificar el grado de confinamiento hidráulico del acuífero y asignarle un índice a este parámetro en una escala de 0,0 a 1,0
- segunda, especificar las características del sustrato suprayacentes a la zona saturada del acuífero en términos de: (a) grado de consolidación (teniendo en cuenta la probable presencia o ausencia de permeabilidad por fisuras) y (b) tipo de litología (considerando indirectamente porosidad efectiva, permeabilidad de la matriz y contenido de humedad en la zona no

saturada o retención específica) y, asignar un índice a este parámetro en una escala de 0,4 a 1,0

- tercera, estimar la distancia o profundidad al nivel del agua (en acuíferos no confinados) o profundidad al techo del primer acuífero confinado, con la consiguiente asignación de un índice en una escala de 0,6 a 1,0

TABLA 12. Factores hidrogeológicos que controlan la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos

Componente de la vulnerabilidad	Información hidrogeológica	
	Idealmente requerida	Normalmente disponible
Hidráulica	Grado de confinamiento del acuífero	Tipo de acuífero
	Profundidad al agua subterránea o al techo del acuífero	Profundidad al agua subterránea o al techo del acuífero.
	Contenido de humedad de la zona no saturada	
	Conductividad hidráulica vertical de los estratos no saturados o de las capas confinantes.	
Capacidad de atenuación	Distribución del tamaño de granos y fisuras en la zona no saturada o en las capas confinantes.	Grado de consolidación/fisuración de estos estratos.
	Mineralogía de los estratos de la zona no saturada o capas confinantes	Características litológicas de estos estratos.

El índice final integrado de vulnerabilidad de acuíferos GOD es el producto de los índices obtenidos para cada uno de estos parámetros. Es importante tener en cuenta que esta figura contiene ligeras modificaciones respecto de la versión original (Foster e Hirata, 1988) que consideran las experiencias obtenidas por su aplicación en los años '90. Estas modificaciones incluyen:

- una pequeña reducción en los índices del parámetro de “distancia al agua
- una simplificación en la caracterización geológica del sustrato suprayacentes, para las “rocas potencialmente fracturadas de vulnerabilidad intrínseca intermedia”
- una aclaración para el índice de “confinamiento del acuífero” en acuíferos semiconfinados.

Se debe notar también que, cuando se presenta una secuencia de depósitos diferentes, se debe seleccionar la litología predominante o limitante para caracterizar al sustrato suprayacentes.

3.6.8 OTROS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

TABLA 13. Resumen de métodos para evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas.

(Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicadas al antiguo botadero de desechos sólidos de Mariona, Gonzalo de Jesús Mena López, 2010)

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
DRASTIC	J.M. Vías et al (1999) manifiesta que este método fue desarrollado por Aller en 1987, es utilizado para cartografiar la vulnerabilidad a la contaminación en acuíferos, forma parte de los métodos nominados de sistemas paramétricos, se aplica independientemente del Contaminante potencial y permite trabajar con unidades espaciales homogéneas. En este método se consideran 7 variables cuyas iniciales (en inglés) dan nombre al método: D: Depth to water (Profundidad al nivel piezométrico) R: Recharge (Recarga) A: Aquifer media (Material acuífero) S: Soil media (Tipo de suelo)

	<p>T: Topography (Topografía o pendiente) I: Impact of the Vadose Zone Media (Impacto de la zona no saturada según su litología) C: Hydraulic Conductivity of the aquifer (Conductividad Hidráulica)</p>
SINTACS	<p>Auge (2006) nos explica que SINTACS es un método derivado de DRASTIC, desarrollado por Civita et al en 1990, para adecuarlo a las características hidrogeológicas de Italia, el acrónimo (en italiano) SINTACS comprende:</p> <p>S: Profundidad del agua I : Infiltración N: Sección subsaturada T: Tipo de suelo A: Características hidrogeológicas del acuífero C: Conductividad hidráulica S: pendiente topográfica.</p>
AVI:	<p>Acrónimo de aquifer vulnerability index (índice de vulnerabilidad de acuífero), desarrollado por Van Stempvoort et al en 1992, para el mapeo de la vulnerabilidad del agua subterránea de la provincia de Prairie en Canadá. Cuantifica la vulnerabilidad a través de un parámetro llamado resistencia hidráulica (C) función del espesor de la zona subsaturada (d) y la permeabilidad vertical de los componentes de la misma (k). En la siguiente formula podemos visualizar lo dicho anteriormente: [Auge, 2006]</p> $C = \sum_{i=estratos} \frac{di}{ki}$
EKv	<p>Es un método creado para ser usado en acuíferos libres, y cuyos parámetros a determinar son la profundidad de la superficie freática (E) y la permeabilidad vertical en la zona subsaturada (Kv), parámetros que también son considerados en el método AVI; se les asigna índices que van de 1 a 5, posteriormente ambos valores se suman y nos brindan un índice final, con extremos de 2 y 10, lo escrito lo podemos visualizar en la siguiente fórmula: [Auge, 2006]</p> $EK_v = E + K_v$

<p>EPIK</p>	<p>Método paramétrico desarrollado por Doerfliger y Zwahlen en 1997, para ser usado específicamente en acuíferos kársticos, el acrónimo significa: Zona de fisuras y grietas en terreno kárstico (Epikarst, E), Cubierta de protección (Protective cover, P), Condiciones de infiltración (Infiltracion conditions, I), Desarrollo de la red kársticas (Karst network development, K); el método incluye 4 factores de ponderación (α, β, γ y δ), aplicables a cada parámetro, y para valorar su peso relativo en el cálculo del índice de vulnerabilidad intrínseca, podemos representarlo en la siguiente fórmula: [Auge, 2004]</p> $VULNERABILIDAD_i = (\alpha \cdot E_i) (\beta \cdot P_i) (\gamma \cdot I_i) (\delta \cdot K_i)$
<p>$\Delta hT'$</p>	<p>Auge (2004), nos explica que este método fue desarrollado para acuíferos semiconfinados, la vulnerabilidad de estos está controlada por propiedades físicas y geométricas del acuitardo que conforma su techo y también por la diferencia de potencial hidráulico que guarda con el libre sobrepuesto; donde las variables a determinar serán: Δh: diferencia de potencial hidráulico, T': transmisividad vertical del acuífero. Considerando las dos variables mencionadas (Δh y T') se establecen tres grados de vulnerabilidad, determinados en primer lugar por el gradiente vertical de potenciales hidráulicos y secundariamente por la transmisividad del acuitardo.</p>
<p>GODE</p>	<p>Auge et al (2004) desarrolla una modificación al método GOD, para usarlo en acuíferos confinados o semiconfinados; la diferencia entre GODE y GOD es que además de incluir los parámetros tipo de acuífero (G), litología de la cobertura (O), profundidad del acuífero (D); el primero agrega una nueva variable a determinar, la cual es el espesor de la zona saturada correspondiente al acuífero libre sobrepuesto y el espesor del acuitardo (E).</p>

<p style="text-align: center;">GODS</p>	<p>Desarrollado por Foster et al, en 1996, el presente método utiliza los mismos parámetros que el índice GOD que son tipo de acuífero (G), litología de la cobertura (O), profundidad del acuífero (D), surge debido al consenso de algunos investigadores en que al método GOD le faltaba incluir el efecto que tiene el suelo (S), y se representa mediante la siguiente formula: [Ríos y Vélez, 2008].</p> <p style="text-align: center;">VULNERABILIDAD_{GOD} = G*O*D*S</p>
<p style="text-align: center;">PATHS</p>	<p>Método creado por Valcarce y Rodríguez en 2004, cuyo índice se obtiene a partir del análisis de factores como la Precipitación (Pp), profundidad del nivel freático (P), litología del acuífero (A), tectónica (T), pendiente topográfica (PT) y la resistencia hidráulica del suelo (HS). Cada uno de los parámetros es ponderado por un factor W, según su importancia. La valoración del índice se hace según la siguiente ecuación: [Ríos y Vélez, 2008]</p> <p style="text-align: center;">VULNERABILIDAD_{PATHS} = WP+WP_p+WA+WT+WPT+WHS</p>
<p style="text-align: center;">BGR</p>	<p>Creado por Hölting et al en 1995, el método estima la protección de los materiales de la zona no saturada al acuífero, los parámetros que son necesarios determinar en la evaluación de la protección (PT) son: la capacidad de campo efectiva del suelo (S), recarga natural del acuífero (W), litología (R), espesor de cada una de las capas de la zona no saturada (T), presencia de acuíferos colgados (Q), condiciones de presión (HP). A cada uno de estos parámetros se les asocia un puntaje, los cuales ponderados y sumados entre sí, dan como resultado un valor que se traduce en vulnerabilidad [Ríos y Vélez, 2008]</p> <p style="text-align: center;">P_T = W*S+W (∑_{I=1}^N R_S * T_i)+Q+H_P</p>

3.7 CARGA CONTAMINANTE Y PELIGROS A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Los programas modernos de protección de los recursos hídricos subterráneos tienen como base técnica la restricción de la ocupación del terreno con relación a la vulnerabilidad de los acuíferos y/o a perímetro de protección de pozos o manantiales (PPP). La decisión de la instalación o remoción de una actividad potencialmente contaminante debe considerar el peligro de la degradación del acuífero o del pozo/manantial, lo cual es determinado por la interacción de la probabilidad de generación de una carga contaminante con los diferentes grados de vulnerabilidad o PPP. Estudios de caso han mostrado que las cargas contaminantes son las que controlan la contaminación del acuífero, excepto en áreas de vulnerabilidad elevada o captaciones mal construidas. De esta forma, identificar, entender y clasificar las fuentes de contaminación es prioritario en programas de gestión de la cualidad de acuíferos. A pesar de que las actividades potencialmente contaminantes sean complejas, es posible dimensionar la probabilidad de generación de una carga poluidora, identificando las sustancias tóxicas manipuladas y/o almacenadas y la existencia de cargas hidráulicas asociadas a estos compuestos, en el proceso o en la destinación final de sus residuos. Esta técnica es conocida como POSH, que es un acrónimo de estas características: Pollutant Origen e Hydraulic Surcharge.

3.7.1 EL CONCEPTO DE PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS

Una de las mayores dificultades de un programa de protección de las aguas subterráneas es establecer cuáles son las actividades antrópicas que requieren mayor atención ambiental. La gran cantidad y complejidad de actividades

existentes en un área, sumada a los elevados costos de investigaciones detalladas y del monitoreo hidrogeológico, obliga a los órganos de control ambiental a llevar a cabo una estrategia de identificación de actividades o zonas de mayor peligro de contaminación de los acuíferos.

3.7.2 LAS ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES

La TABLA 1 muestra un resumen de las actividades potencialmente generadoras de carga contaminante al subsuelo y que pueden afectar los acuíferos. Es importante señalar que aquellas actividades de mayor potencial de generación están asociadas a la utilización o manejo de compuesto de gran toxicidad, persistencia y movilidad en los acuíferos, así como a importantes cargas hidráulicas impuestas como lagunas e irrigación, en el caso de actividades agrícolas.

Aunque se considera por la gran complejidad de las actividades potencialmente contaminantes, tendrían que ser estudiadas individualmente, un análisis de los casos de contaminación conocidos permite obtener algunas conclusiones importantes:

- a) Una gran cantidad de actividades humanas es potencialmente capaz de generar importantes cargas contaminantes, aunque solamente unas pocas son responsables por la mayoría de los casos de contaminación de las aguas subterráneas.
- b) El volumen de sustancias químicas usadas en una actividad no tiene una relación directa con su presencia en los acuíferos. Esto ocurre debido al comportamiento de las mismas en subsuperficie.
- c) La intensidad de la contaminación de un acuífero no es una función directa del tamaño de la actividad antrópica. Muchas veces pequeñas actividades, como talleres mecánicos y pequeñas industrias, pueden causar gran impacto en las aguas subterráneas. Las actividades grandes son más fáciles de identificar y localizar, manipulan los compuestos químicos de forma más controlada, lo que no

ocurre con las pequeñas actividades, que muchas veces actúan clandestinamente, sin registros comerciales ni fiscalización de entidades de control ambiental y de salud pública.

d) En zonas urbanizadas, las pequeñas actividades son responsables por la mayoría de los casos de contaminación. Por la economía poco estable de los países en desarrollo es común la abertura y cierre de muchas actividades en pocos años. Esto dificulta la identificación de la actividad y también su acompañamiento. Se tiene conocimiento de muchas áreas industriales abandonadas que generaron contaminación a los acuíferos. La situación agravante en muchos casos es que esas áreas acaban teniendo otros usos, muchas veces incompatibles con el grado de contaminación existente en el suelo.

e) Pequeñas cantidades de compuestos químicos pueden generar grandes plumas de contaminación, sobre todo cuando el acuífero impactado presenta gran velocidad de circulación de agua y los compuestos son muy tóxicos, como los hidrocarburos halogenados (MACKEY; CHERRY, 1989).

Es posible, entonces, percibir que algunas actividades antrópicas, asociadas a ciertos tipos de contaminantes, tendrán mayor probabilidad de contaminar un acuífero. De esta forma, un inventario y una clasificación de fuentes de contaminación específica es un paso fundamental para la implementación de un programa de protección de las aguas subterráneas, sobretodo porque son las cargas contaminantes las que determinan si existirá o no una contaminación.

Es posible, entonces, percibir que algunas actividades antrópicas, asociadas a ciertos tipos de contaminantes, tendrán mayor probabilidad de contaminar un acuífero. De esta forma, un inventario y una clasificación de fuentes de contaminación específica es un paso fundamental para la implementación de un programa de protección de las aguas subterráneas, sobretodo porque son las cargas contaminantes las que determinan si existirá o no una contaminación.

3.7.3 EL INVENTARIO DE FUENTES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES.

El inventario es una actividad que comprende la identificación, localización espacial, período de funcionamiento y la caracterización de las prácticas utilizadas, de forma sistemática (WHO, 1982).

Una de las mayores dificultades en un inventariado es la obtención de la información.

En muchos casos, una gran parte de los datos está concentrada en organismos del gobierno, empresas estatales y privadas. Estudios anteriores, realizados con otros fines, son también importantes fuentes de información, así como los directorios telefónicos (incluyendo las páginas amarillas) y los registros de asociaciones y juntas comerciales de la ciudad.

Fotografías aéreas antiguas o imágenes de satélite de gran escala pueden facilitar el mapeo del uso y ocupación del suelo, inclusive desde una perspectiva histórica.

Debido a los aspectos socio-económicos particulares en cada país o en una región, los inventarios deben tener características propias, aunque existan muchos puntos comunes. El inventario debe realizarse con criterios claros, mensurables y reproducibles, con el fin de que haya homogeneidad en los datos y que sea comparable con otros estudios que utilicen la misma técnica. Para esto, es preferible diseñar fichas estándar y listas con las principales preguntas y con las respuestas esperadas. Siempre que sea posible, deben incluirse preguntas que permitan una verificación cruzada de las informaciones suministradas.

3.7.4 LA CLASIFICACIÓN DEL ACTIVIDAD DE POTENCIALMENTE CONTAMINANTE

Algunos investigadores se han dedicado a establecer métodos para evaluar las cargas contaminantes al subsuelo y proponer clasificaciones (FOSTER; HIRATA, 1988; ZAPOROZEC, 2001; JOHANSSON; HIRATA, 2001; FOSTER et al., 2001), donde se define la mayor probabilidad de generación de cargas contaminantes hacia el acuífero. Algunos trabajos hacen esta clasificación de forma integral con mapeo de vulnerabilidad, programas de monitoreo o incluso estudios de detalle.

La clasificación de las actividades por tipos de ocupación del área, dispersa o puntual, permite visualizarlas más fácilmente en un programa de gestión. Las fuentes dispersas normalmente provocan plumas de contaminación con concentración más baja que las fuentes puntuales, aunque ocupan una gran área dificultando la determinación de su extensión y su monitoreo. Las fuentes puntuales producen plumas más intensas y en puntos específicos, facilitando su identificación. Sin embargo cuando estas actividades son pequeñas y están dispersas dentro del área urbana, acaban siendo de difícil localización, exigiendo un inventario de campo para su identificación.

3.7.5 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Los datos de fuentes puntuales de contaminación deben representarse en mapas elaborados a la misma escala del mapa de vulnerabilidad de acuíferos o de la zonificación basado en PPP para que sean correlacionales y permitan la identificación del peligro de contaminación de los acuíferos. Es importante que cada actividad sea identificada con un código y esté registrada en un banco de datos, con todas las informaciones disponibles sobre ella.

Para fuentes de contaminación multipuntuales y dispersa, generalmente será más práctico delinear el área ocupada por estas actividades en el mapa de carga contaminante, con diferentes tonos que representen la intensidad relativa del índice de carga contaminante.

La clasificación de cargas contaminante es una importante herramienta para identificar las actividades que presentan la mayor probabilidad de generación de importantes cargas contaminantes al acuífero. Es fundamental establecer prioridades para definir las actividades que deberán ser estudiadas más detalladamente, incluyendo monitoreo, investigaciones de campo y evaluación del riesgo ambiental y a la salud humana.

3.8 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA.

La caracterización fisicoquímica de un sistema hidrogeológico, es de gran aporte para definir el modelo de circulación del flujo subterráneo y de cómo, se da el proceso de interacción agua-roca. Las características físicas y químicas forman parte de la caracterización fisicoquímica de las aguas subterráneas ya que de ellas depende en gran medida la clasificación que se le da al agua y si esta es adecuada para el consumo humano. En la tabla se mencionan dichas características por separado.

TABLA 14. Clasificación fisicoquímica del agua (Elaboración propia)

Caracterización Física del Agua	Caracterización Química del Agua
Color	Dureza
Olor	pH
Turbiedad	Alcalinidad
Conductividad	Acidez
Sabor	Iones Mayoritarios
Sólidos	Metales Pesados
Temperaturas	

A continuación, se presentan algunas definiciones de las características físicas y químicas del agua sobre las cuales nuestro estudio dará mayor importancia.

3.8.1 POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)

De acuerdo con Guarnido y Martínez (Guarnizo y Martínez, 2007) El potencial de hidrogeno es una medida de la acidez o basicidad de una solución, en otras palabras, es la concentración de iones (Cationes o aniones) de Hidrogeno (H⁺) presentes en una determinada sustancia.

Es una de las pruebas más comunes para conocer la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H⁺). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro.

Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado.

La escala de pH (FIGURA 18) es logarítmica, por lo que cada cambio de la unidad del pH en realidad representa un cambio de diez veces en la acidez. En otras palabras, pH 6.0 es diez veces más ácido que el pH 7.0; pH 5 es cien veces más ácido que el pH 7.0.



FIGURA 18. Escala del PH.

En general, un agua con un $\text{pH} < 7$ se considera ácido y con un $\text{pH} > 7$ se considera básica o alcalina. El rango normal de pH en agua superficial es de 6.5 a 8.5 y para las aguas subterráneas 6.0 a 8.5. La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para resistir un cambio de pH por debajo donde este es neutro. Es necesaria la medición del pH para determinar la corrosividad del agua. El pH del agua pura (H_2O) es 7 a 25 °C, pero cuando se expone al dióxido de carbono en la atmósfera este equilibrio resulta en un pH de aproximadamente 5.2. Debido a la asociación de pH con los gases atmosféricos y la temperatura.

En general, un agua con un pH bajo < 6.5 podría ser ácida y corrosiva. Por lo tanto, el agua podría disolver iones metálicos, tales como: hierro, manganeso, cobre, plomo y zinc, accesorios de plomería y tuberías. Por lo tanto, un agua con un pH bajo corrosiva podría causar un daño prematuro de tuberías de metal, y asociado a problemas estéticos tales como un sabor metálico o amargo.

Un agua con un $\text{pH} > 8.5$ podría indicar que el agua es alcalina. Puede presentar problemas de incrustaciones por dureza, aunque no representa un riesgo para la salud, pero puede causar problemas estéticos. Estos problemas incluyen, la formación de sarro que precipita en tuberías y accesorios que causan baja presión del agua y disminuye el diámetro interior de la tubería.

Típicamente se encuentran estos problemas cuando la dureza excede de 100 a 200 miligramos (mg) / litro (L) o partes por millón (ppm), que es equivalente a 12 gramos por galón. El agua puede ser suavizada mediante el uso del intercambio iónico, aunque este proceso puede aumentar el contenido de sodio en el agua.

3.8.2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA (CE)

Según Barrio y Andrés Cabrerizo (Barrio y Andrés Cabrerizo, 2008), la conductividad eléctrica (CE) es una propiedad característica que sirve para averiguar si una sustancia es un compuesto iónico, un metal o una sustancia covalente pues los metales conducen electricidad en estado sólido, los compuestos iónicos solo lo hacen fundidos o disueltos y las sustancias covalentes no conducen electricidad.

Al determinar la conductividad eléctrica se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (Fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio).

Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl^{-1} , NO_3^{-1} y SO_4^{-2} , u otros iones. Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (Aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (Aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad. La unidad básica para medir las conductividades el Siemens¹ por centímetro (S/cm) o el micro siemens² por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (RED MAPSA, 2007).

El agua destilada tiene una conductividad eléctrica en el rango de 0.5 a 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad eléctrica de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En sistemas de agua dulce, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. Es por esto que la conductividad eléctrica es una medida generalmente útil como indicador de la calidad de aguas dulces. Cada cuerpo de agua tiene un rango relativamente

constante de conductividad eléctrica, que una vez conocido, puede ser utilizado como línea de base para comparaciones con otras determinaciones puntuales (RED MAPSA, 2007).

3.8.3 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Las sales empleadas en algunos países para eliminar el hielo de las carreteras también contribuyen a aumentar el contenido de SDT en el agua de consumo. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de SDT en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras.

3.8.4 CLORUROS DE SODIO

Los compuestos de sodio finalizan de forma natural en el agua. El sodio procede de rocas y de suelos como así también del mar. Donde encontramos concentraciones significantes es en los ríos y en los lagos, sin embargo, estas dos últimas se encuentran en concentraciones mucho más bajas, su valor depende de las condiciones geológicas y de la contaminación por aguas residuales.

3.8.5 TEMPERATURA

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes del agua, ya que influye en el retardo o aceleración de alguna actividad biológica, en la

precipitación de compuestos, en la desinfección, en la floculación, sedimentación y filtración.

3.8.6 COLIFORMES FECALES

No todos los Coliformes son de origen fecal, por lo que es necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los Coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los Coliformes fecales aquellos de origen intestinal.

Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

Se define como Coliformes fecales a aquellos que fermentan la lactosa a 44,5 – 45,5 °C, análisis que permite descartar a *Enterobacter*, puesto que ésta no crece a esa temperatura. Si se aplica este criterio crecerán en el medio de cultivo principalmente *Escherichia coli* (90%) y algunas bacterias de los géneros *Klebsiella* y *Citrobacter*. La prueba de Coliformes fecales positiva indica un 90% de probabilidad de que el Coliformes aislado sea *E. coli*.

Las Coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias Coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias Coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

Contaminación fecal humana o animal La *Escherichia coli* de origen animal y la de origen humano son idénticas. Sin embargo, algunos investigadores han

encontrado que las bacterias del género *Rodococcus* se asocian solamente a la contaminación fecal por animales.

3.8.7 DIAGRAMAS PARA CLASIFICACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA

El agua se puede clasificar en diversas categorías, teniendo en cuenta su composición química, dependiendo del parámetro que se utilice (Salinización, pH e Iones mayoritarios) y de las propiedades (Físicas o químicas) o características de la muestra de agua que se analice.

Los diagramas utilizan la concentración de los iones mayoritarios para la clasificación del agua y entre estos diagramas podemos encontrar: Piper, Stiff, Schoeller y Durov, a continuación, se describe el uso de alguno de estos diagramas.

Diagrama de Piper

El Diagrama de Piper es de los más utilizados para el estudio de interpretación de datos derivados de los análisis de hidroquímicas, en él se incluyen aniones y cationes en forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas. (<http://www.aguaysig.com>)

El diagrama de Piper está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca^{2+} , Mg^{2+} y $\text{Na}^{++} \text{K}^{+}$. Los vértices del triángulo de aniones son SO_4^{2-} , Cl^{-1} y HCO_3 . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un

rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones dadas en meq/l se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo tres aniones y tres cationes. A cada vértice le corresponde el 100% de un anión o catión (FIGURA 19).

Iones Mayoritarios

La mayoría de las sustancias disueltas en el agua subterránea se encuentran en estado iónico. Algunos iones están presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos. Estos iones mayoritarios son los cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio; y los aniones: bicarbonato, sulfato y cloruro. Es frecuente que el anión nitrato se considere dentro del grupo de iones mayoritarios, aun cuando su concentración es pequeña, si los efectos antrópicos son poco importantes. La presencia del ion carbonato está condicionada a un pH > 8.3, lo cual es poco frecuente.

A pH bajo, una parte importante del carbono inorgánico disuelto está como ácido carbónico (H_2CO_3) o CO_2 disuelto. Además, las aguas subterráneas suelen contener cantidades apreciables de ácido silícico no disociado, que se suele expresar como sílice disuelta. (www.fundacionbotin.org)

Las especies químicas disueltas en las aguas subterráneas van a estar condicionadas, entre otros factores, por el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto del agua subterránea. El pH suele variar entre 6.5 y 8.0. Respecto al oxígeno disuelto, la mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 mg/L. Las aguas superficiales y subterráneas, en función de la concentración de sustancias disueltas pueden ser clasificadas como dulces (Contienen como máximo 1,000 –2,000 mg/L de sustancias disueltas).

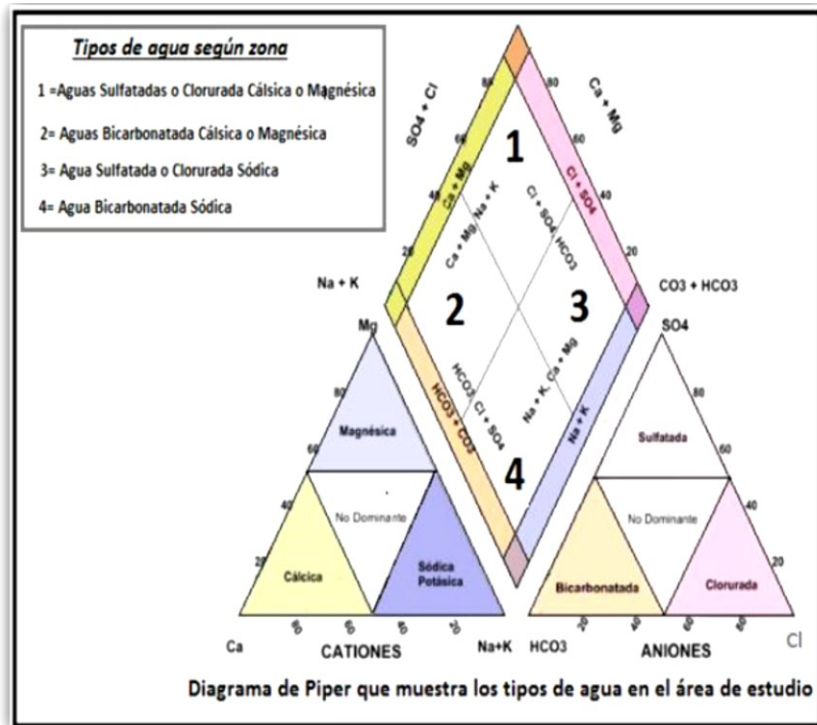


FIGURA 19. Diagrama de Piper

CAPITULO IV

DIAGNOSTICO

4.1 CARACTERIZACIÓN FISIOGRAFICA DEL SITIO RAMSAR

4.1.1 UBICACIÓN GENERAL:

Se encuentra ubicada entre los $13^{\circ}27'$ y $13^{\circ}16'$ Latitud Norte y $88^{\circ}10'$ $88^{\circ}17'$ Longitud Oeste. Aproximadamente a 120 km de la capital del país, se ubica en el extremo nororiental de la Planicie Costera Central, dentro de los municipios: El Tránsito, San Miguel, Chirilagua y Jucuarán. La Cordillera de Jucuarán se ubica al sur del humedal, mientras que al norte se encuentra el volcán de San Miguel. Al Este y Oeste, se ubica la gran planicie costera. Al sur también se encuentra el río Grande de San Miguel que en numerosas precipitaciones intensas confluye con el agua por el Este. Al Oeste, existe un drenaje artificial que confluye con el río antes mencionado.

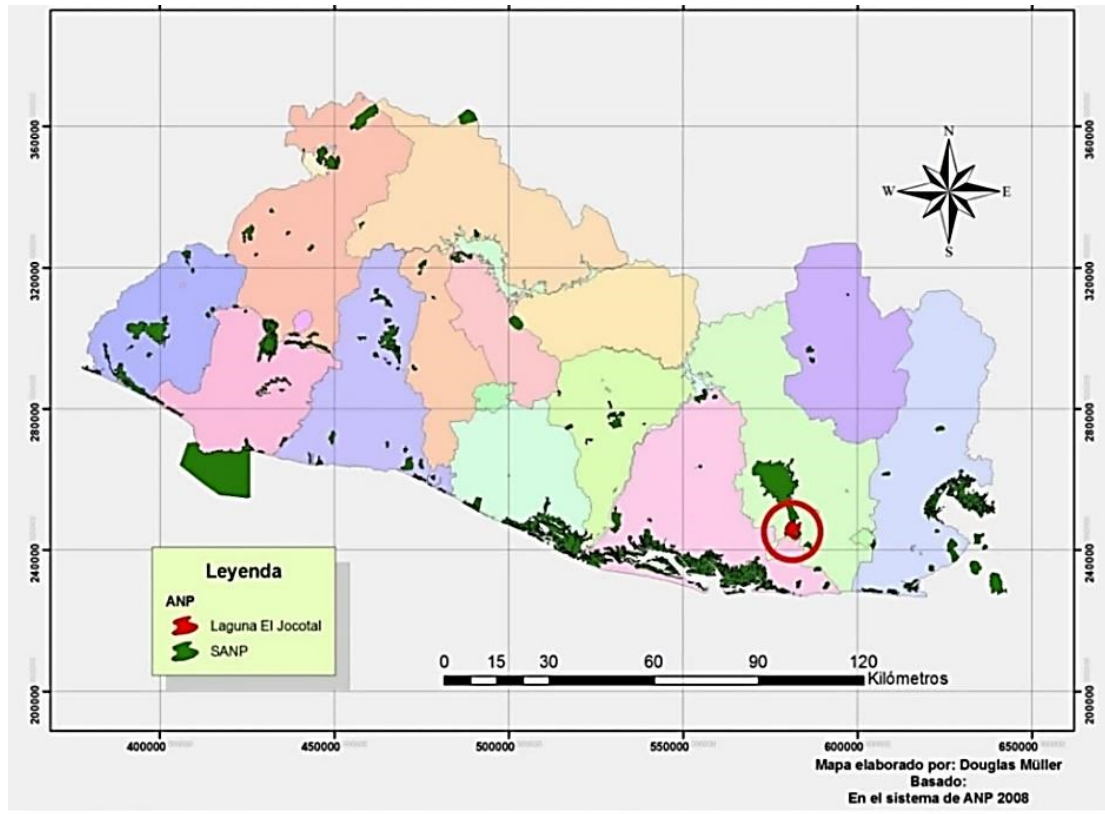


FIGURA 20. Mapa de ubicación ANP Laguna El Jocotal

4.1.2 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA.

Como área de estudio de la investigación se tomó el sitio Ramsar Área Natural Protegida Laguna El Jocotal establecido en la convención Ramsar que se describe a continuación:

Al norte del sitio Ramsar Área Natural Protegida Laguna El Jocotal, se encuentran las lavas del volcán de San Miguel, en el sector este, sur y oeste hay zonas de inundación de la laguna. En la zona Oeste existe un drenaje regulado mediante niveles artesanales que confluye con el río Grande de San Miguel. Al sur del cuerpo de agua principal existe un complejo lagunar estacional y

permanente asociado a las inundaciones de la época lluviosa de la cuenca, dentro de las cuales podemos mencionar: las lagunetas Agua caliente, Los Piches, San Juan, colindando con las orillas de la sierra de Jucuarán. Se encuentra ubicado El humedal es parte de la cuenca del río Grande de San Miguel.



FIGURA 21. Delimitación geográfica de La Laguna El Jocotal

4.1.3 GEOLOGÍA

La geología de la zona de estudio se determinó en base al Mapa Geológico proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). En base a esta información se hallan las siguientes formaciones en el área natural:

TABLA 15. Geología presente en el área de estudio,

Información obtenida en base al mapa geológico del MARN, Fuente: Elaboración propia

Edad	Formación	Miembro	Litología
Holoceno	FM San Salvador	Qf	Gravas, arenas y limos de origen fluvial, aluvial y coluvial.
		S5b	materiales piro clásticos básicos: brechas, bombas, lapilli y cenizas
		S3a	Piroclastitas acidas y epiclastitas (toba color café)
Pleistoceno		s2	Volcánicas básicas-intermedias y piroclastitas subordinadas.

4.1.4 TIPO DE SUELO:

Los tipos de suelos pueden caracterizarse como:

- Las unidades pedológicas que comprenden el área natural corresponden a suelos andosoles y regosoles situados a ambos lados de las coladas de lava volcánica del volcán de Chaparrastique; andosoles y regosoles que rodean casi la totalidad de la laguna a excepción de su lado norte. litosoles y regosoles correspondientes a las coladas de lava del volcán Chaparrastique. Continuando hacia el Sur los latosoles arcillo rojizos.
- Andosoles. Que van desde el margen Sur del rio Grande de San Miguel²⁸. Corresponden a áreas onduladas de pie de monte o faldas bajas de los volcanes o macizos volcánicos. Los materiales parentales son rocas piroclásticas y existen tobas claras superficiales su origen es de cenizas y escorias volcánicas de textura media a moderadamente gruesa con buen drenaje. Son suelos de alta productividad aptos para cultivar café a los 600 m.s.n.m. sin embargo son fácilmente erosionables lo que representa un problema en partes bajas por arrastre de sedimento a la Laguna.

- Regosoles. Se da en las planicies de pie de montaña y faldas de volcanes con topografía suaves, son áreas de drenaje con textura media a fina son suelos profundos no pedregosos. Aptos para todo cultivo de partes intermedias y bajas.
- Litosoles y regosoles. Constituyen áreas muy accidentadas. La roca madre predomina es de tobas mezclada con lavas y aglomerados volcánicos. Forman un complejo de suelos no desarrollados de textura moderada a gruesa no muy profundo y frecuentemente pedregoso cuando las rocas son lavas o sin piedras si son tobas.
- Los aluviales Se caracterizan por ser áreas casi a nivel ligeramente inclinadas en algunos valles aluviales. Drenaje variable, pero con predominio de ares de drenaje restringidas. Son suelos transportados de origen reciente aun sin desarrollo o muy poco desarrollo con texturas medianas por lo general suelen ser suelos de alta productividad para la agricultura intensiva y mecanizada., aptos para todos los cultivos de zonas bajas adaptados al país como los cereales, algodón, caña de azúcar o pastos.
- Los latosoles arcillo rojizos. Se localizan en áreas alomadas o montañosas disecionadas y de pedregosidad variable con la roca madre de lava basáltica y adesitica y materiales pedregosos del mismo origen, cementados (aglomerados). Los latosoles son semejantes a suelos profundos y fuertemente desarrollados, derivados en su mayoría de materiales volcánicos consolidados. El suelo es franco arcilloso y el subsuelo es arcilloso rojizo usualmente sin piedra

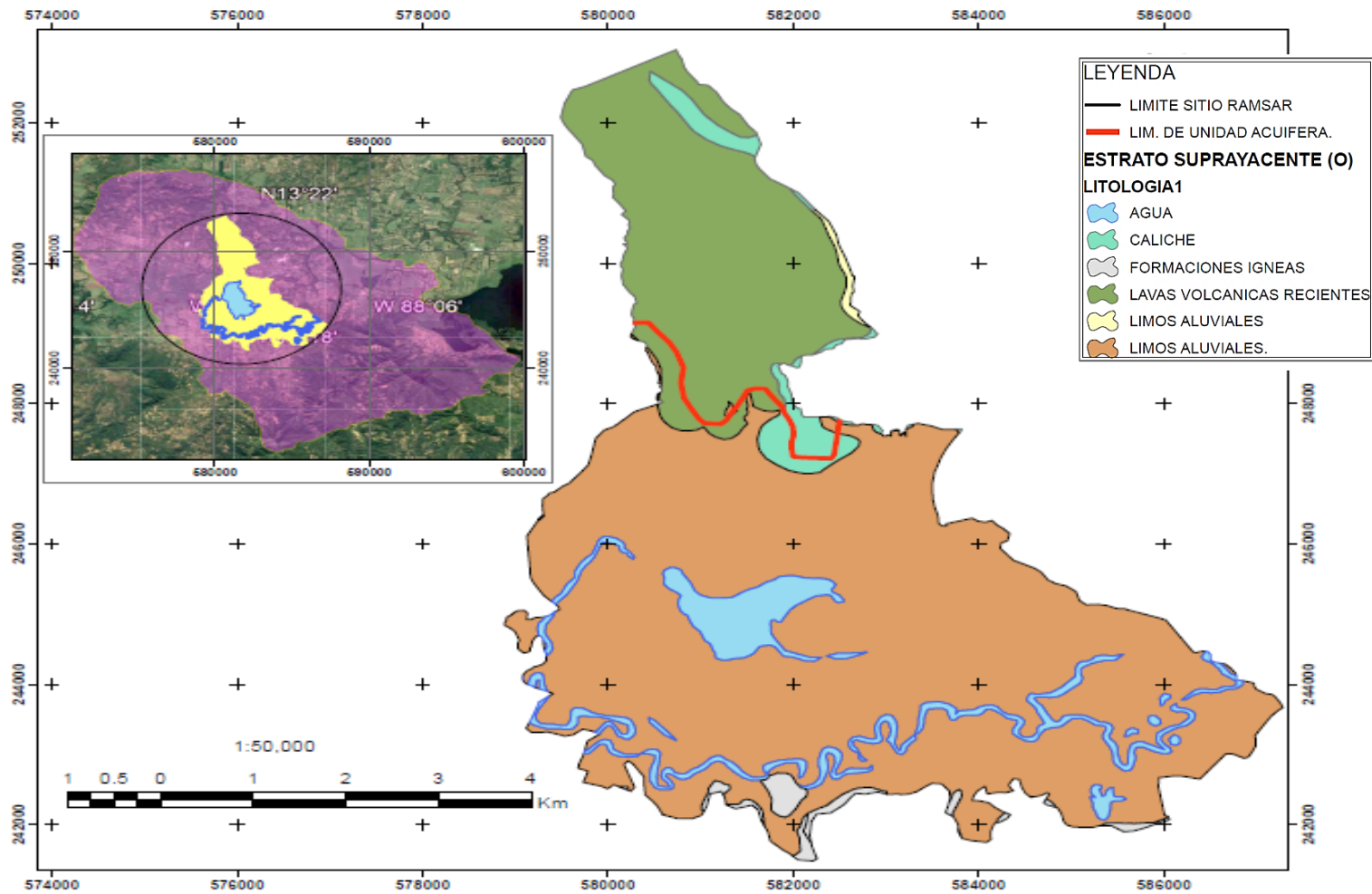


FIGURA 22. Geología de la zona de estudio

4.1.5 CLIMA

Los datos climáticos se han calculado en base a los registros de dos estaciones meteorológicas según Benítez (1981) y Gómez (1986) ubicadas en El Papalón y La Carrera próximas a las poblaciones de San Miguel y Usulután.

De acuerdo a la descripción de Köppen la Laguna de El Jocotal tiene clima de Sabana tropical Caliente entre altitudes de 0 a 800 msnm con dos estaciones marcadas: lluvias y seca. La temperatura media anual es de 26°C con una media mensual máxima de 28.8°C en abril, como mes más cálido, y mínima de 25.1 en diciembre.

La precipitación media anual se cifra en 1,750 mm concentrados principalmente entre los meses de mayo a octubre, considerándose el mes de septiembre como el más lluvioso (355 mm) y el mes de enero el más seco por la ausencia de lluvias. La época de lluvias se prolonga de mayo a noviembre y la estación seca de diciembre hasta abril existiendo un periodo de canícula entre julio y agosto variable, de unos diez días como promedio. La evapotranspiración anual es de 1,499 mm. Siendo la humedad relativa de 70% y de acuerdo con las estaciones, con oscilaciones que van del 83% en el mes más lluvioso y el mínimo de 58% en marzo/abril.

Las horas de insolación tienen un promedio de 8.5 horas/día. Existe una diferencia en el promedio entre la época seca y la lluviosa que va de 9.8 horas día en febrero a 7.0 horas/día de luz en septiembre. Los vientos de la zona son considerados como muy débiles durante todo el año. La velocidad máxima se da en febrero con 9 km/h. y mínima de 5.8 km/h en octubre. La velocidad promedio anual es de 6.8 km/h. Los datos consignados se corresponden a un periodo de retorno de 24 años.

4.1.6 HIDROGRAFÍA

La Laguna se alimenta por medio de dos cursos torrenciales la quebrada seca y calle nueva que aportan sus aguas en épocas de lluvias. Se nutre igualmente de las aguas de manantiales de alta conductividad (500- 600 micro Siemens/cm²), situados en las bases de las lavas del volcán que a su vez recibe las aguas de infiltración en las propias lavas. El arrastre de sedimentos en época lluviosa es considerable, lo que está dando un progresivo aterramiento de La Laguna. Por otro lado la Laguna actúa como una zona de embalse en la época de crecidas del Río Grande de San Miguel mitigando el posible efecto de inundaciones, como en el caso de la tormenta 12 E (octubre 2011), en el que La Laguna amortiguó la crecida del río Grande de San Miguel. Anteriormente el desagüe de la Laguna se efectuaba por el cauce natural que fue desecado en la actualidad por medio de un canal artificial y la época de lluvias sus aguas se evacuan unidas a las del desbordamiento del Río Grande de San Miguel. La precipitación media anual es de 1759 mm concentrados principalmente entre los meses de mayo-octubre considerándose el mes de septiembre como el más lluvioso (335mm) y el mes de enero el más seco por ausencia de lluvias la ausencia de lluvia se prologa de mayo a noviembre y la época seca de diciembre hasta abril extendiéndose un periodo de canícula entre julio y agosto variable, de unos diez días promedio la evotranspiración anual es de un promedio de 1,499 mm. Siendo la humedad relativa de un 70% y de acuerdo con las estaciones con oscilaciones que van desde un 83% en el mes más lluvioso y 58% mínimo en marzo-abril.

4.2 CARACTERIZACIÓN SOCIO AMBIENTAL

4.2.1 MEDIOS DE PRODUCCIÓN

La pesca y los cultivos tradicionales. La caña de azúcar y el maicillo. Cultivándose en menor medida el maíz y el frijol principalmente para el consumo. Además de cultivarse yuca, ajonjolí y sandía. En el caserío el brazo existe una granja de aves de tamaño mediano en la que se emplea algunas personas.

Extracción de lava. La quiebra recolección y venta de piedras de lava volcánica es una fuente de ingresos para la población que habita en la zona norte de La Laguna. La cual es comprada a mediana escala por transportistas intermediarios quienes luego la venden en centros urbanos de San Miguel y Usulután en los últimos años la extracción de piedra se podría clasificar como una explotación industrial. La alcaldía de El Transito otorga los permisos para la extracción sin embargo no cuenta con un plan de control ya que lo considera como una fuente de ingreso para la comuna.

Ganadería y crianza de aves de corral.

En el área que circunda La Laguna El Jocotal ramonean entre 50 a 100 cabezas de ganado vacuno. En el caserío el brazo hay una granja de pollos la cual emplea unas 70 personas de la localidad.

Comercio.

La actividad comercial y los servicios se concentran en los cascos urbanos de El Transito y San Miguel, las mujeres comercializan el pescado ya sea en los centros urbanos o en la localidad. Dentro de las especies más aprovechadas "tilapia", "guapote tigre", "plateada" y "bagre".

4.2.2 BIODIVERSIDAD

FLORA

El bosque estacionalmente saturado, situado entre la laguna El Jocotal y el río Grande destaca por presentar una dominancia absoluta del "pimiento" con la aparición de otras especies propias de este tipo de hábitat en pequeñas elevaciones del terreno, como es el caso del Papaturre, "Carreto", "Mangollano" y el "palmera espinosa". Además de estos árboles, se encuentran pequeños rodales de mangle de agua dulce. En la ribera del río Grande aparece un bosque de galería con árboles de "sauce llorón", "amate", "Capulamate" "Salamate", "amate de río" (*Ficus* spp.), "hule", "Is canal", "Aguijote" y "huesito".



FIGURA 23. Concentración de "pimientos" a los costados de La Laguna

FAUNA

En la Laguna El Jocotal se registran 4 especies de invertebrados acuáticos, siendo estos: "caracol", "jute", "almeja" y "camarón de agua dulce". Es importante señalar sobre la reducida distribución de la almeja mencionada, ya que en el territorio nacional ocurre solamente en la cuenca del río Grande de San Miguel, particularmente laguna El Jocotal y laguna de Olomega, ambos sitios Ramsar.

La ictiofauna de la Laguna del Jocotal es una de las más diversas y mejor estudiadas de los cuerpos de agua dulce de El Salvador, con un estimado total de 12 especies entre las que se encuentran especies nativas y exóticas, exclusivas de aguas dulces y, adaptadas también a ambientes marinos como: "robalo" que incursiona dentro de la Laguna El Jocotal en época lluviosa en especial en el mes de septiembre.

El Jocotal destaca internacionalmente por su abundancia y diversidad de aves acuáticas residentes y migratorias, entre las que se encuentran tres especies de podiciformes y dos de "pelícanos", "cormorán", "pato aguja", 14 especies de ardeidos, entre las que destacan por estar amenazadas, "ibis oscuro", "espátula Rosada", "cigüeña", siete especies de rálidos, el "caracolero", el "rascón pinto" y numerosas especies de playeros.

Mención aparte merecen las anátidas al constituir agrupaciones de varios miles de individuos en la época migratoria y donde se han identificado especies amenazadas como: "pato real", "pato enmascarado" y "pato candilejo". En la actualidad se ha observado una nueva especie de ave acuática que visita la laguna conocida como "playerito pico largo", aunque, ha sido vista en otros sitios del país. De igual forma la abundancia de varias especies de patos del género *Calidris*.

Dentro del bosque de La Pimentera se encuentran diferentes especies de aves forestales y mamíferos como: "venado de cola blanca", "coyote" y "gato zonto"

además, se ha observado nuevamente el "murciélago de líneas blancas menor", que no se había registrado desde hace 85 años en la laguna El Jocotal.

Especies de fauna prioritarias (en peligro, amenazadas, escasas o endémicas). En el grupo de invertebrados acuáticos sobresale la almeja por su escasez dentro del territorio nacional. Entre los peces destaca la "mojarra negra" escasa en el país. La laguna del Jocotal sirve como refugio de dos especies de reptiles catalogados como en peligro de extinción en el país: el "cocodrilo americano" y el "Caimán". Muchas de las especies de aves acuáticas citadas en el apartado anterior están consideradas como amenazadas o en peligro de extinción en el país y algunas incluso a internacional según la lista roja de la UICN.



FIGURA 24. Población de pelicanos migratorios

4.2.3 USO DEL AGUA

La población de los caseríos la Corruncha, El Borbollón, Calle Nueva, San Carlos y El Brazo cuentan con una red domiciliar de distribución de agua, que llega desde el nacimiento el Arenal, ubicado en la falda occidental del volcán Chaparrastique. Según la promotora de salud el 20 % de la población que habita la riberia de la laguna se abastece de agua por medio de pozos artesanales.

4.2.4 CONFLICTOS.

Gravedad alta: Reducción de los niveles de la Laguna El Jocotal por uso manejo hidráulico inapropiado.

Gravedad media: transformación de pastizales inundados en pastos secos, contaminación y deterioro de las especies nativas por acumulación de desechos sólidos y sedimentos en parte sur de la laguna debido al arrastre del río Grande de San Miguel.

Gravedad baja: pesca inapropiada, cacería y ganadería descontrolada en los pantanos, lagunas y en el bosque.

En la zona circundante: Situación compleja de saneamiento ambiental (falta de lavaderos con tuberías adecuadas para evitar la contaminación directa de jabón en el humedal). Falta de agua potable para los habitantes de la Laguna El Jocotal. Generación de aguas residuales por parte de una empresa procesadora de aves de corral, que se encuentra tramitando el permiso ambiental, para lo cual debe reducir los impactos ambientales que genera.

4.2.5 PLAN DE MANEJO DEL SITIO RAMSAR

Existe una oficina administrativa por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, denominada ‘‘Centro de Operaciones Área Natural Protegida y Sitio Ramsar El Jocotal donde se reúnen funcionarios con actores locales para planificación de actividades. También funcionan como hospedaje provisional para investigadores y funcionarios. Además, el MARN realiza monitoreo de parámetros físico-químicos y determinación de bacterias coliformes fecales, así como conteos de aves en la laguna principal.

El Centro de Operaciones cuenta con un Plan de Manejo del área natural, con el objetivo de asegurar el mantenimiento de los componentes y procesos físicos, ecológicos, y evolutivos naturales presentes actualmente en la zona para las futuras generaciones. Además el plan incluye programas:

- Programa Investigación de la Biodiversidad y Los Recursos
- Programas de Recreación y Turismo
- Programa de Educación y Capacitación
- Programa de Control y Vigilancia
- Programas de Administración.

CAPITULO V

RECOLECCIÓN DE DATOS, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

En este apartado se presenta toda la información recolectada necesaria con la que realizo la investigación medular de este trabajo de investigación que es obtener la caracterización hidrogeológica del área de influencia de La Laguna El Jocotal, San Miguel.

5.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE RECARGA POTENCIAL DEL ACUÍFERO

Para realizar la recarga potencial del acuífero se realizaron pruebas de infiltración en la zona de estudio, esto para obtener la permeabilidad del suelo que se utilizó para calcular el coeficiente que infiltra por textura del suelo (K_{fc}), además se obtuvieron datos proporcionados por el MARN, los cuales se detallan a continuación.

DATOS DE INFILTRACIÓN EN CAMPO

Se realizaron un total de 6 pruebas de infiltración, distribuidas en toda la zona de estudio de acuerdo a los tipos de suelos identificados, así como la distribución espacial y el acceso. El equipo utilizado fue un Permeámetro de Guelph propiedad del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con el apoyo de personal técnico y auxiliar del departamento de Hidrología.

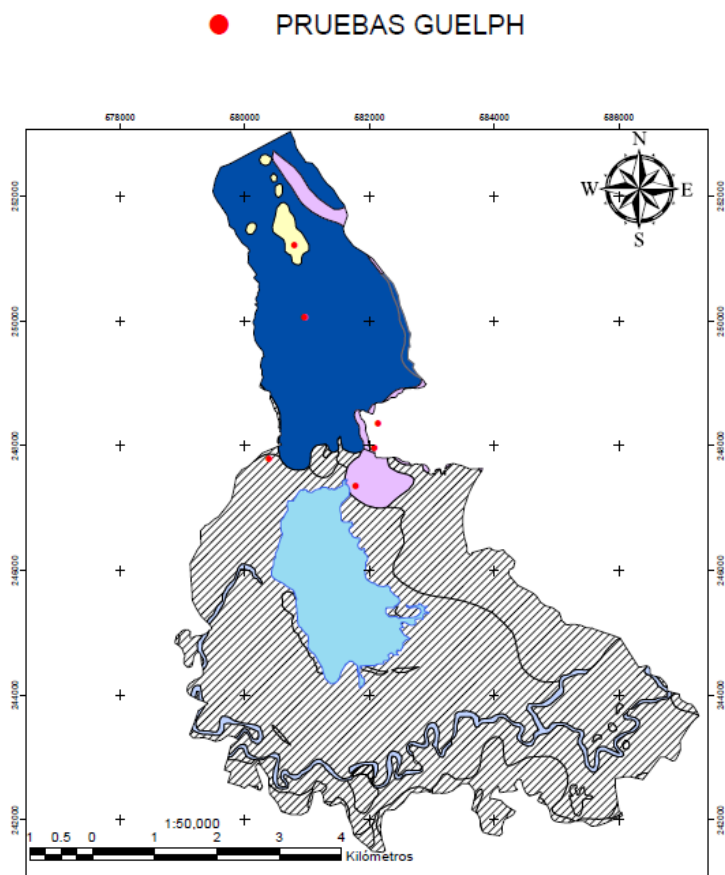


FIGURA 25. Mapa de ubicación de pruebas Guelph realizadas

Por medio del desarrollo de las pruebas de infiltración, se determina la capacidad de infiltración del suelo y a partir de ello se determina la recarga por precipitación al acuífero en la zona.

TABLA 16. Equipo utilizado en las pruebas de infiltración

Cantidad	Descripción
1	Permeámetro de Guelph
1	Cronometro
1	Cinta métrica
1	Barreno
1	GPS

El Permeámetro de Guelph consiste en la base del principio físico del tubo de Marriot; es una técnica de medición del caudal a nivel constante y evalúa de manera precisa la conductividad hidráulica del suelo. Se perfora un agujero no mayor a 50 centímetros y se instala el equipo ya armado como puede visualizarse en el esquema de la FIGURA 26.

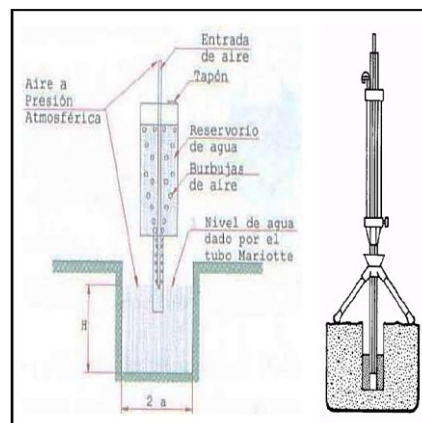


FIGURA 26. Montaje de permeámetro de Guelph

A continuación, se describe el procedimiento para la realización de la prueba Guelph:

- Previo a realizar la prueba en base al mapa geológico de la zona de estudio, se identificaron los diferentes miembros geológicos existentes. Se eligieron Los lugares donde se ejecutaron las pruebas. Se realizó al menos una prueba de infiltración en cada miembro geológico.
- Al haber escogido el lugar del sondeo, se procedió a realizar la medición. Se deben buscar lugares donde la características del suelo no hayan sido alteradas, se limpia la zona si fuese necesario. Posteriormente se realizó la excavación del agujero con el barreno.



FIGURA 28. Excavación de pozo mediante barreno

- Se miden las dimensiones del agujero o pozo. La profundidad de los pozos deben estar entre los 30 cm y 50 cm.



FIGURA 29. Medición de las dimensiones del pozo

- Se procedió a montar el permeámetro, se colocó sobre el pozo y se llenaron los depósitos con agua.



FIGURA 30. Montaje y llenado de depósitos de agua del permeámetro

- Se registraron los niveles de agua en los depósitos. Las lecturas se deben tomar en periodos regulares de tiempo. Se utilizó periodos de un minuto en las pruebas realizadas. Se registraron los datos en la hoja de campo, y se calculan la tasa de infiltración en cada periodo. Cuando la tasa de infiltración es constante en más de tres periodos de un minuto, se termina la prueba.



FIGURA 31. Toma de lecturas de niveles de agua en los depósitos

DATOS DE PRECIPITACIÓN.

El cálculo de la precipitación se hizo en base a un periodo de estudio de 10 años (2008 -2017) de la estación meteorológica San Miguel UES M-24. Los datos son precipitaciones mensuales proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

TABLA 17. Precipitaciones mensuales por cada año de estudio (Periodo 2008-2017) estación UES San Miguel.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL (mm/año)
2008	0.1	1	3	22.9	232.2	108.9	289	370.1	176.1	409.7	0.5	0	1613.50
2009	0	0.1	0.4	0	325.9	231.4	179.4	221.2	251.4	95.2	159.8	106.7	1571.50
2010	0	0	0.5	48.3	466.3	342.1	335.2	313.8	341.9	69.9	16.8	0	1934.80
2011	0.4	1.5	7.4	32.4	62.9	303.4	351.5	260.8	218	488.1	60.6	0	1787.00
2012	0	0	0.5	159.9	206.3	109.6	10.5	366.2	337	297.3	13.9	11.8	1513.00
2013	0	0.6	0	6.7	131.3	297	224.9	182.6	292	282	87	3	1507.10
2014	0	2.6	23.8	1.2	143.4	249.6	29.7	279.8	552.9	288.8	32.3	0	1604.10
2015	0	0	0.6	20	57.2	158.8	29.1	13.4	354.4	399	179.9	0.4	1212.80
2016	0.1	0	0.3	34.3	106	166.5	121.7	127.8	226.4	173.6	59.5	4.9	1021.10
2017	0	0	2.4	20.9	175.5	193.6	211.7	298.2	162.2	242.9	0	0.4	1307.80
PROMEDIO (mm/mes)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	

DATOS DE TEMPERATURA

Se solicitaron datos de temperatura mensual máxima, mínima y promedio, al Ministerio De Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para un período de estudio de diez años (2008 – 2017), los cuales se muestran en las TABLAS.

TABLA 18. Temperaturas mensuales máximas (°C) por cada año de estudio (Periodo 2008-2017) estación UES San Miguel.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL (°C)
2008	36.7	37.9	38.6	38.5	35.9	35.2	34.7	34.9	34.2	32.7	34.7	35.6	35.80
2009	36.5	37.9	38.1	39.3	36.6	34	35.8	36.2	35.4	34.6	33.9	35.1	36.12
2010	35.7	37.1	38.7	38.1	35.6	33.4	33.5	33.7	32.6	34.6	34.4	34.8	35.18
2011	36.7	38.2	38.1	36.9	37.5	34.4	34.4	34.5	34.3	31.3	34.8	35.2	35.53
2012	35.8	37.5	38.5	36.4	34.7	34.1	37.7	35.1	34.4	33.3	34.9	35.8	35.68
2013	36.7	37.1	38	37.1	35.9	34.6	34.6	35	32.3	33.6	33.4	35.4	35.31
2014	36.1	37.5	38.2	38.5	35.3	34.8	38.2	35.8	33.1	32.7	34.2	35.3	35.81
2015	36.7	37.5	38.6	39	38.9	36	38.1	39.7	34.5	33.2	33.7	35.7	36.80
2016	36.1	37.6	38.1	38.1	37.1	34.6	36.4	35.8	34.6	34.1	34.6	36.2	36.11
2017	36.3	37.1	38.4	38.7	35.5	33.3	35.8	34.8	33.9	32.6	35	36.1	35.63
PROMEDIO	36.33	37.54	38.33	38.06	36.3	34.44	35.92	35.55	33.93	33.27	34.36	35.52	

TABLA 19. Temperaturas mensuales mínimas (°C) por cada año de estudio (periodo 2008-2017) estación UES San Miguel Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL (°C)
2008	19.4	20.3	21.2	23.2	23.5	23.1	22.3	22.6	23	22.4	20.7	19.4	21.76
2009	19.7	19.7	20.1	22.6	23.2	22.9	22.8	22.7	23.1	22.8	21.7	20.2	21.79
2010	20.2	21.8	22.2	34.6	24.2	23.7	23.1	23.2	23.3	22	20.5	18.7	23.13
2011	19.8	20.2	21	23	24.1	23.3	22.8	22.9	22.9	22.1	20.7	19.2	21.83
2012	19.6	21	21.4	22.7	23.7	23.2	22.9	22.8	22.7	22.3	21	19.7	21.92
2013	20.7	20.5	22.1	24	23.7	23.3	22.6	22.8	22.8	22.9	22.1	20.7	22.35
2014	19.9	20.5	21.8	23	24.2	23.4	23.1	22.6	22.5	22.7	21.4	19.5	22.05
2015	20.5	20.7	22.9	23.9	24	23.8	23.5	24.1	23.1	23.5	22.5	21.5	22.83
2016	20.9	21.3	23.2	24.9	25	23.3	22.8	22.9	22.7	22.3	20.9	21.4	22.63
2017	19	20.3	22.6	23.8	24.1	23.7	22.9	22.5	23	22.6	21	20.8	22.19
PROMEDIO	19.97	20.63	21.85	24.57	23.97	23.37	22.88	22.91	22.91	22.56	21.25	20.11	

TABLA 20. Temperaturas mensuales promedio (°C) por cada año de estudio (periodo 2008-2017) estación UES San Miguel. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL (°C)
2008	26.4	27.2	28	28.6	27.5	26.9	26.1	26.3	26.3	25.3	25.7	25.5	26.65
2009	26.2	27	27.6	29.3	27.6	26.7	27.2	27.2	26.9	26.8	25.8	25.7	27.00
2010	26.1	27.8	28.7	29.5	28.3	26.9	26.3	26.3	26	26.3	25.4	27	27.05
2011	26.5	27.6	27.9	28.2	28.8	27	26.3	26.4	26.3	25.1	25.7	25.4	26.77
2012	26.2	27.9	28.7	27.9	27.2	26.8	28.2	26.7	26.5	25.7	26.4	25.8	27.00
2013	27.2	27.4	28.3	29.1	28.2	27	26.8	26.8	25.6	26.1	25.9	26	27.03
2014	26.2	27.4	28	29	28	27.3	28.9	27	25.7	25.7	25.9	25.6	27.06
2015	26.8	27.6	29	29.9	29.6	28.5	29.2	29.9	26.9	26.4	26.1	26.5	28.03
2016	26.7	27.6	29	29.8	29.3	27	27.5	27.1	26.1	26	25.6	26.8	27.38
2017	25.8	27.2	28.9	29.4	27.5	26.7	26.8	26.3	26.3	25.6	25.9	26.3	26.89
PROMEDIO	26.41	27.47	28.41	29.07	28.2	27.08	27.33	27	26.26	25.9	25.84	26.06	

5.1.2 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL MAPA DE VULNERABILIDAD INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES

Para poder determinar la vulnerabilidad del acuífero a través del método GOD es necesario conocer los niveles de los pozos, para ello se requiere implementar una red de pozos de monitoreo, por lo cual se realizó un inventario con los pozos existentes en la zona.

Se identificó y georreferenció las fuentes de agua (pozos y manantial) que existen en el área de estudio, utilizando Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con precisión de 6 metros, marca Garmin modelo Etrex.



FIGURA 38. Levantamiento georreferenciado con equipo GPS de pozos y manantiales

TABLA 21. Inventario de pozos y manantiales existentes dentro de la zona de estudio

CÓD.	TIPO	LONGITUD (O)	LATITUD(N)	ALTURA (msnm)	PROPIETARIO
P1	EXCAVADO	88°14 '38.17 "	13°21' 3.34"	38	Silvia Marisol Portillo
P2	EXCAVADO	88°14'37.32"	13°21'3.72"	39	Dora del Rosario Herrera
P3	EXCAVADO	88°14'42.71"	13°21'4.39"	38	Centro Escolar El Borbollón
P4	EXCAVADO	88°14'42.58"	13°21'4. ³⁹ "	38	José Alejandro Portillo
P5	EXCAVADO	88°14'41.04"	13°21'6.46"	40	Transito Paz
P6	EXCAVADO	88°14 57.74' "	13°21'5.52"	33	Mariana Zenteno
P7	EXCAVADO	88°15'5.76"	13°21'2.27"	44	Pozo propiedad de ANDA
P8	EXCAVADO	88°15'6.37"	13°20'58.89"	43	Lucía Torres
P9	PERFORADO	88°15'16.31"	13°20'53.36"	37	Napoleón Murillo
P10	EXCAVADO	88°15'31.06"	13°20'53.18"	30	José Alberto Rivas
P11	EXCAVADO	88°15'19.79"	13°20'54.11"	34	José Alberto Rivas
P12	EXCAVADO	88°15'19.05"	13°20'52.88"	32	Zuleyma Ramos
M1	MANANTIAL	88°15'17.39"	13°20'52.08"	31	-
M2	MANANTIAL	88°15'15.66"	13°20'51.82"	32	-
M3	MANANTIAL	88°15'14.03"	13°20'51.56"	32	-
M4	MANANTIAL	88°14'48.35"	13°20'47.23"	29	-
M5	MANANTIAL	88°14'46.11"	13°20'47.80"	32	-
M6	MANANTIAL	88°14'55.43"	13°20'49.18"	35	-
P13	EXCAVADO	88°15'9.31"	13°20'49.46"	30	-
P14	EXCAVADO	88°14'44.47"	13°20'43.51"	36	Arnoldo Carrillo
P15	EXCAVADO	88°14'34.29"	13°20'33.67"	42	-
P16	EXCAVADO	88°14'45.40"	13°20'48.15"	34	Deysi Portillo
P17	EXCAVADO	8814'45.72"	13°20'48.93"	33	Ana Iris Portillo
P18	EXCAVADO	88°14'44.89"	13°20'50.91"	33	José Adán Portillo Hernández
P19	EXCAVADO	88°14'43.76"	13°20'52.59"	34	-
P20	EXCAVADO	88°14'42.60"	13°20'54.15"	34	-

P21	EXCAVADO	88°14'41.83"	13°20'55.42"	32	Melkin Ponce
P22	EXCAVADO	88°14'37.52"	13°20'56.80"	44	-
P23	EXCAVADO	88°14'38.04"	13°20'59.19"	37	Arely de Flores
P24	EXCAVADO	88°14'37.42"	13°20'59.20"	38	Ángela Benítez
P25	EXCAVADO	88°14'37.99"	13°21'0.23"	36	Iglesia Evangélica
P26	EXCAVADO	88°14'37.87"	13°21'1.12"	36	-
P27	EXCAVADO	88°14'36.72"	13°21'0.79"	38	-
P28	EXCAVADO	88°14'35.78"	13°21'0.57"	39	Elena Orellana
P29	EXCAVADO	88°14'35.75"	13°21'1.38"	38	Francisco Guandique
P30	EXCAVADO	88°14'35.75"	13°21'1.84"	38	Raúl Herrera
P31	EXCAVADO	88°14'37.43"	13°21'2.50"	38	Ilda López
P32	EXCAVADO	88°14'37.07"	13°21'2.76"	38	Laura López



FIGURA 39. Ubicación de pozos y manantiales.

Imagen obtenida de Google Earth Pro.

P= pozo.

m=manantial

- Al finalizar el inventario se procedió a seleccionar los pozos y manantiales a monitorear de la cual se tomó una muestra de 8 pozos y un manantial para la investigación, ya que por la disponibilidad de los recursos no fue factible el monitoreo de toda la red existente.

TABLA 22. Pozos y manantiales seleccionados para la red de monitoreo

NUMERO	CÓDIGO	TIPO	LONGITUD (O)	LATITUD (N)	ALTURA (msnm)
5	LEJ-01	EXCAVADO	88°14'41.04"	13°21'6.46"	40
9	LEJ-02	PERFORADO	88°15'16.31"	13°20'53.36"	37
10	LEJ-03	EXCAVADO	88°15'31.06"	13°20'53.18"	30
16	MLEJ-01	MANANTIAL	88°14'48.35"	13°20'47.23"	29
18	LEJ-04	EXCAVADO	88°15'9.31"	13°20'49.46"	30
20	LEJ-05	EXCAVADO	88°14'44.47"	13°20'43.51"	36
24	LEJ-06	EXCAVADO	88°14'44.89"	13°20'50.91"	33
30	LEJ-07	EXCAVADO	88°14'37.42"	13°20'59.20"	38
11	LEJ-08	EXCAVADO	88°15'19.79"	13°20'54.11"	34

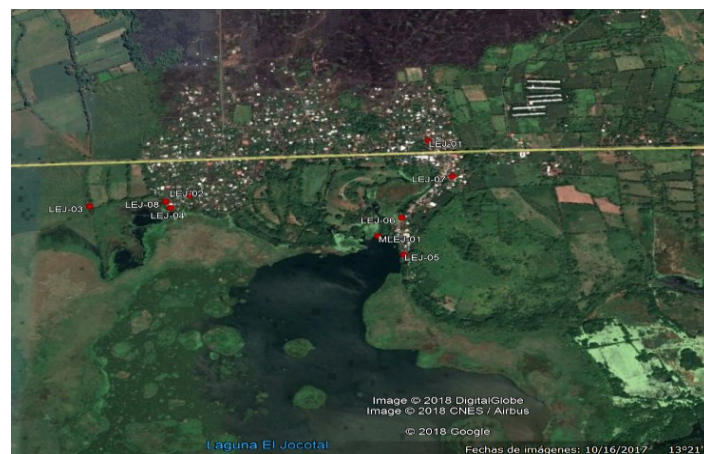


FIGURA 40. Ubicación de los pozos de monitoreo

MEDICIÓN DE NIVELES DE LA RED DE POZOS MONITOREADOS

Existen muchas técnicas y herramientas utilizadas para la recolección de datos necesarios para la creación de mapas de vulnerabilidad, para el caso de esta investigación se realizó una medición de niveles en los pozos que forman parte del estudio por medio de una sonda eléctrica, que funciona emitiendo un sonido cuando esta entra en contacto con el agua, entonces se lee en la cinta métrica la profundidad a la que se encuentra el agua. Los niveles obtenidos se registraron en una hoja de campo, la cual contiene la información general de cada pozo y manantial a monitorear.

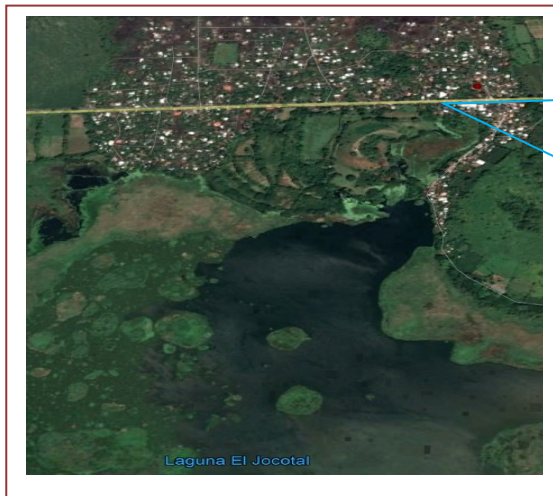


FIGURA 41. Medición de profundidad de pozos y nivel de agua.



DESCRIPCIÓN DEL POZO

CÓDIGO:	<u>LEJ-01</u>	ALTURA BROCAL:	<u>0.78 m</u>
TIPO:	<u>EXCAVADO</u>	DIÁMETRO POZO:	<u>2 m (externo) 1.20 m (interno)</u>
ALTURA	<u>40 MSNM</u>	PROPIETARIO:	<u>TRANSITO PAZ</u>
LONGITUD (O):	<u>88°14'41.04"</u>	CONDICIÓN:	<u>EN USO</u>
LATITUD (N):	<u>13°21'6.46"</u>	PROFUNDIDAD TOTAL:	<u>11.01 m</u>



parámetro	unidad	FECHAS DE SONDEOS					Prom
		11/05/18	26/06/18	24/07/18	28/08/18	30/11/18	
PH	-	6.50	7.10	7.54	7.09	7.46	7.138
TEMPERATURA	°C	28.2	28.2	28.2	28.3	28.2	28.22
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	351.5	364.6	524.1	454.3	555.4	449.98
SOLIDOS	PPM	187	193.8	278.3	242.4	279.5	236.2
CLORURO	PPM	181.7	187.90	271.9	236.6	273.9	230.4
PROFUNDIDAD	m	10.54	10.33	10.48	10.33	9.92	10.32

FIGURA 42. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-01



DESCRIPCIÓN DEL POZO

<u>CÓDIGO:</u>	<u>LEJ-02</u>	<u>ALTURA BROCAL:</u>	<u>0.18 m</u>
<u>TIPO:</u>	<u>PERFORADO</u>	<u>DIÁMETRO POZO:</u>	<u>0.10 m</u>
<u>ALTURA</u>	<u>37 MSNM</u>	<u>PROPIETARIO:</u>	<u>NAPOLEÓN MURILLO</u>
<u>LONGITUD (O):</u>	<u>88°15'16.31"</u>	<u>CONDICIÓN:</u>	<u>EN USO</u>
<u>LATITUD (N):</u>	<u>13°20'53.36"</u>	<u>PROFUNDIDAD TOTAL:</u>	<u>17.90</u>



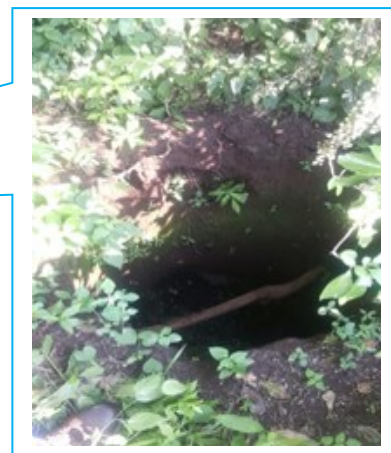
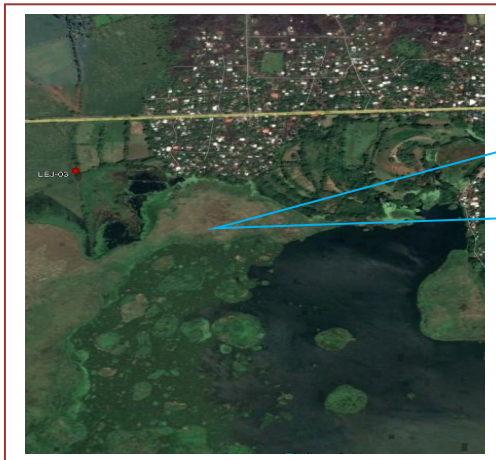
parámetro	unidad	FECHAS DE SONDEOS					prom
		11/05/18	26/06/18	24/07/18	28/08/18	30/11/18	
PH	-	6.89	7.08	6.58	6.91	6.53	6.798
TEMPERATURA	°C	29.7	29.0	29.3	29.8	27.1	28.98
CONDUCTIVIDA	μS/cm	636.9	659.4	365.2	606.0	690.10	591.52
SOLIDOS	PPM	347.1	350.5	338.1	321.3	350.2	341.44
CLORURO	PPM	344.7	342.4	331.8	318.2	343.3	336.08
PROFUNDIDAD	m	10.90	10.80	10.86	10.84	10.59	10.80

FIGURA 43. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-02



DESCRIPCIÓN DEL POZO

<u>CÓDIGO:</u>	<u>LEJ-03</u>	<u>ALTURA BROCAL:</u>	<u>N/A</u>
<u>TIPO:</u>	<u>EXCAVADO</u>	<u>DIÁMETRO POZO:</u>	<u>1.10 m</u>
<u>ALTURA</u>	<u>30 MSNM</u>	<u>PROPIETARIO:</u>	<u>JOSÉ ALBERTO RIVAS (POTRERO)</u>
<u>LONGITUD (O):</u>	<u>88°15'31.06"</u>	<u>CONDICIÓN:</u>	<u>EN USO</u>
<u>LATITUD (N):</u>	<u>13°20'53.18"</u>	<u>PROFUNDIDAD TOTAL:</u>	<u>6.31 m</u>



DATOS RECOLECTADOS

PARÁMETRO	unidad	FECHAS DE SONDEOS					PROM
		11/05/18	26/06/18	24/07/18	28/08/18	30/11/18	
PH	-	7.04	7.17	7.16	7.12	7.35	7.168
TEMPERATUR	°C	28	28.2	27.9	27.8	28.8	28.14
CONDUCTIVID	µS/cm	639.2	706.8	745.4	783.1	946.4	764.18
SOLIDOS	PPM	340.5	376.4	366.0	417.0	476.9	395.36
CLORURO	PPM	338.3	368.9	358.9	415.2	478.08	391.876
PROFUNDIDAD	m	1.38	1.22	1.53	1.48	0.56	1.23

FIGURA 44. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-03



DESCRIPCIÓN DEL POZO

<u>CÓDIGO:</u>	<u>LEJ-04</u>	<u>ALTURA BROCAL:</u>	<u>0.70 m</u>
<u>TIPO:</u>	<u>EXCAVADO</u>	<u>DIÁMETRO POZO:</u>	<u>1.20 m (externo) 0.80 m (interno)</u>
<u>ALTURA</u>	<u>32 MSNM</u>	<u>PROPIETARIO:</u>	<u>ZULEYMA RAMOS</u>
<u>LONGITUD (O):</u>	<u>88°15'19.05"</u>	<u>CONDICIÓN:</u>	<u>EN USO</u>
<u>LATITUD (N):</u>	<u>13°20'52.88"</u>	<u>PROFUNDIDAD TOTAL:</u>	<u>2.26 m</u>



DATOS RECOLECTADOS

PARÁMETRO	UNIDA D	FECHAS DE SONDEOS					PROM
		11/05/18	26/06/18	24/07/18	28/08/18	30/11/18	
PH	-	7.28	7.29	6.44	6.73	7.20	6.988
TEMPERATURA	°C	26.6	26.5	26.2	25.9	26.6	26.36
CONDUCTIVIDA	μS/cm	1587	808.4	688.4	708.0	856.4	929.6
SOLIDOS	PPM	844.1	429.4	366.0	378.6	432.4	490.1
CLORURO	PPM	862.7	425.7	358.9	379.1	429.8	491.2
PROFUNDIDAD	m	1.82	1.72	1.74	1.73	1.55	1.71

FIGURA 45. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-04



DESCRIPCIÓN DEL POZO

<u>CÓDIGO:</u>	<u>LEJ-05</u>	<u>ALTURA BROCAL:</u>	<u>0.8 m</u>
<u>TIPO:</u>	<u>EXCAVADO</u>	<u>DIÁMETRO POZO:</u>	<u>1.10 m (externo) 0.80 m (interno)</u>
<u>ALTURA</u>	<u>36 MSNM</u>	<u>PROPIETARIO:</u>	<u>ARNOLDO CARRILLO</u>
<u>LONGITUD (O):</u>	<u>88°14'44.47"</u>	<u>CONDICIÓN:</u>	<u>EN USO</u>
<u>LATITUD (N):</u>	<u>13°20'43.51"</u>	<u>PROFUNDIDAD TOTAL:</u>	<u>6.91 m</u>



DATOS RECOLECTADOS

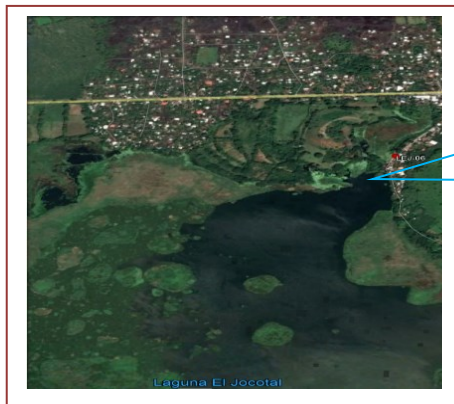
PARÁMETRO	UNIDAD	FECHAS DE SONDEOS					PROM
		11/05/18	26/06/18	24/07/18	28/08/18	30/11/18	
PH	-	6.80	7.12	6.53	6.76	7.46	6.934
TEMPERATURA	°C	29.3	29.1	29.1	28.8	28.7	29
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	477	458.2	429.8	411.1	623.3	479.88
SOLIDOS	PPM	254.1	243.8	228.5	219.0	313.7	251.82
CLORURO	PPM	249.1	236.9	222.0	215.4	309.7	246.62
PROFUNDIDAD	m	6.47	6.27	6.39	6.32	6.01	6.29

FIGURA 46. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-05



DESCRIPCIÓN DEL POZO

<u>CÓDIGO:</u>	<u>LEJ-06</u>	<u>ALTURA BROCAL:</u>	<u>0.75 m</u>
<u>TIPO:</u>	<u>EXCAVADO</u>	<u>DIÁMETRO POZO:</u>	<u>1.30 m (externo) 0.70 (interno)</u>
<u>ALTURA</u>	<u>33 MSNM</u>	<u>PROPIETARIO:</u>	<u>ADÁN PORTILLO</u>
<u>LONGITUD (O):</u>	<u>88°14'44.89"</u>	<u>CONDICIÓN:</u>	<u>EN USO</u>
<u>LATITUD (N):</u>	<u>13°20'50.91"</u>	<u>PROFUNDIDAD TOTAL:</u>	<u>3.47 m</u>



DATOS RECOLECTADOS

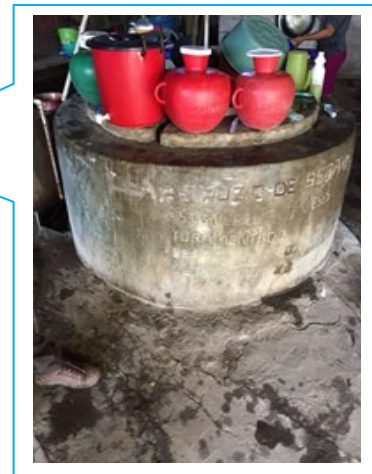
PARÁMETRO	UNIDAD	FECHAS DE SONDEOS					PROM
		11/05/18	26/06/18	24/07/18	28/08/18	30/11/18	
PH	-	6.62	6.92	6.68	6.55	7.08	6.77
TEMPERATURA	°C	29.7	29.5	29.6	29.2	29.2	29.44
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	480.5	463.40	475.9	468.9	507.8	479.3
SOLIDOS	PPM	255.7	246.6	252.8	249.6	256.0	252.1
CLORURO	PPM	251.7	241.6	248.2	243.4	249.1	246.8
PROFUNDIDAD	m	3.06	2.87	3.0	2.91	2.62	2.89

FIGURA 47. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-06



DESCRIPCIÓN DEL POZO

<u>CÓDIGO:</u>	<u>LEJ-07</u>	<u>ALTURA BROCAL:</u>	<u>0.80 m</u>
<u>TIPO:</u>	<u>EXCAVADO</u>	<u>DIÁMETRO POZO:</u>	<u>1.80 m (externo) 1.30 m (interno)</u>
<u>ALTURA</u>	<u>38 MSNM</u>	<u>PROPIETARIO:</u>	<u>IGLESIA EVANGÉLICA</u>
<u>LONGITUD (O):</u>	<u>88°14'37.42``</u>	<u>CONDICIÓN:</u>	<u>EN USO</u>
<u>LATITUD (N):</u>	<u>13°20'59.20``</u>	<u>PROFUNDIDAD TOTAL:</u>	<u>9.87 m</u>



DATOS RECOLECTADOS

PARÁMETRO	UNIDAD	FECHAS DE SONDEOS					PROM
		11/05/18	26/06/18	24/07/18	28/08/18	30/11/18	
PH	-	6.61	7.06	6.62	6.64	7.15	6.816
TEMPERATURA	°C	29.3	29.4	29.3	28.9	29.2	29.22
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	426.6	428.1	425.1	412.1	461.9	430.76
SOLIDOS	PPM	227.1	228.7	226.0	219.4	232.3	226.7
CLORURO	PPM	221.4	222.9	220.1	216.3	226.4	221.42
PROFUNDIDAD	m	9.77	9.62	9.70	9.63	9.29	9.60

FIGURA 48. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-07



DESCRIPCIÓN DEL POZO

<u>CÓDIGO:</u>	<u>LEJ-08</u>	<u>ALTURA BROCAL:</u>	<u>0.68 m</u>
<u>TIPO:</u>	<u>EXCAVADO</u>	<u>DIÁMETRO POZO:</u>	<u>1.40 m (externo) 0.90 m (interno)</u>
<u>ALTURA</u>	<u>34 MSNM</u>	<u>PROPIETARIO:</u>	<u>JOSÉ ALBERTO RIVAS</u>
<u>LONGITUD (O):</u>	<u>88°15'19.79"</u>	<u>CONDICIÓN:</u>	<u>EN USO</u>
<u>LATITUD (N):</u>	<u>13°20'54.11"</u>	<u>PROFUNDIDAD TOTAL:</u>	<u>7.0 m</u>



DATOS RECOLECTADOS

PARÁMETRO	UNIDA D	FECHAS DE SONDEOS					PRO M
		11/05/18	26/06/18	24/07/1	28/08/18	30/11/18	
PH	-	7.31	7.09	6.72	7.25	7.31	7.136
TEMPERATURA	°C	28.2	28.2	28.2	28.2	28.5	28.26
CONDUCTIVIDA	μS/cm	677.4	621.80	615.3	587.6	638.2	628.06
SOLIDOS	PPM	359.7	330.6	327.2	312.3	321.2	330.20
CLORURO	PPM	353.9	323.7	320.5	305.4	316.8	324.06
PROFUNDIDAD	m	6.64	6.54	6.58	6.55	6.40	6.54

FIGURA 49. Profundidades obtenidas del pozo LEJ-08

TABLA 23. Profundidades promedio obtenidas

COD.	ELEV.	LONGITUD	LATITUD	PROFUNDIDADES (m)					
				MAY	JUN	JUL	AGO.	OCT	PROM
LEJ-01	40	88°14'41.04 "	13°21'6.46"	10.54	10.32	10.48	10.33	9.92	10.32
LEJ-02	44	88°15'5.76"	13°21'2.27"	10.9	10.8	10.86	10.84	10.59	10.80
LEJ-03	30	88°15'31.06 "	13°20'53.18"	1.38	1.22	1.53	1.48	0.53	1.23
LEJ-04	30	88°15'9.31"	13°20'49.46"	1.82	1.72	1.74	1.73	1.55	1.71
LEJ-05	36	88°14'44.47 "	13°20'43.51"	6.47	6.27	6.39	6.32	6.01	6.29
LEJ-06	33	88°14'44.89 "	13°20'50.91"	3.06	2.87	3	2.91	2.62	2.89
LEJ-07	38	88°14'37.42 "	13°20'59.20"	9.77	9.62	9.7	9.63	9.29	9.60
LEJ-08	34	88°15'19.79 "	13°20'54.11"	6.64	6.54	6.58	6.55	6.4	6.54

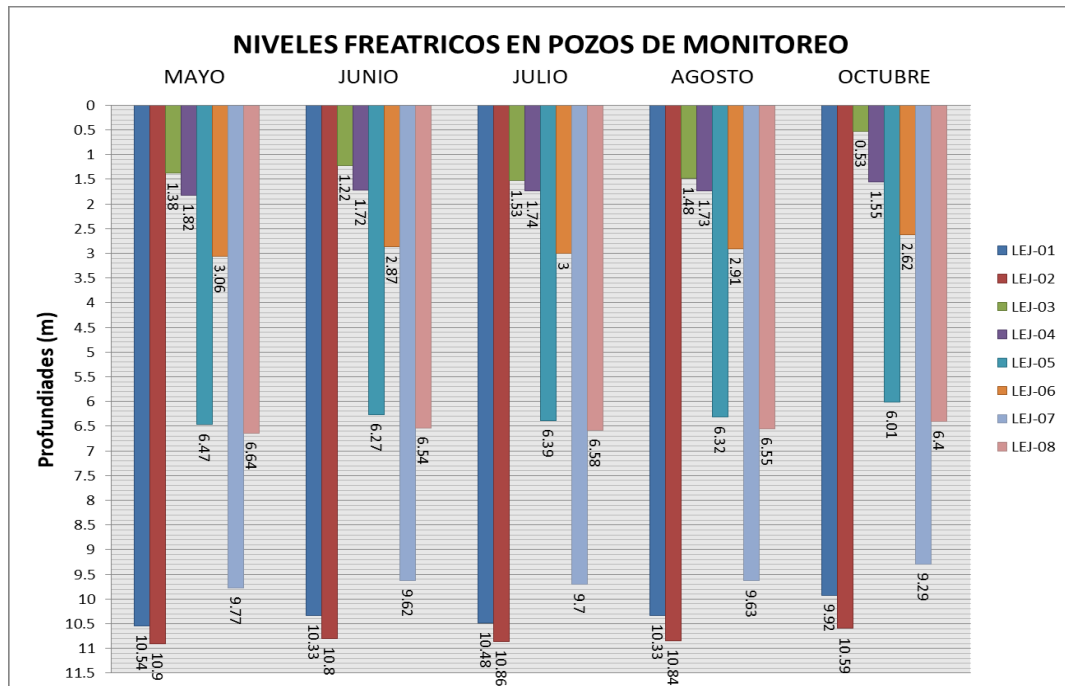


FIGURA 50. Gráfico con niveles freáticos obtenidos en cada monitoreo

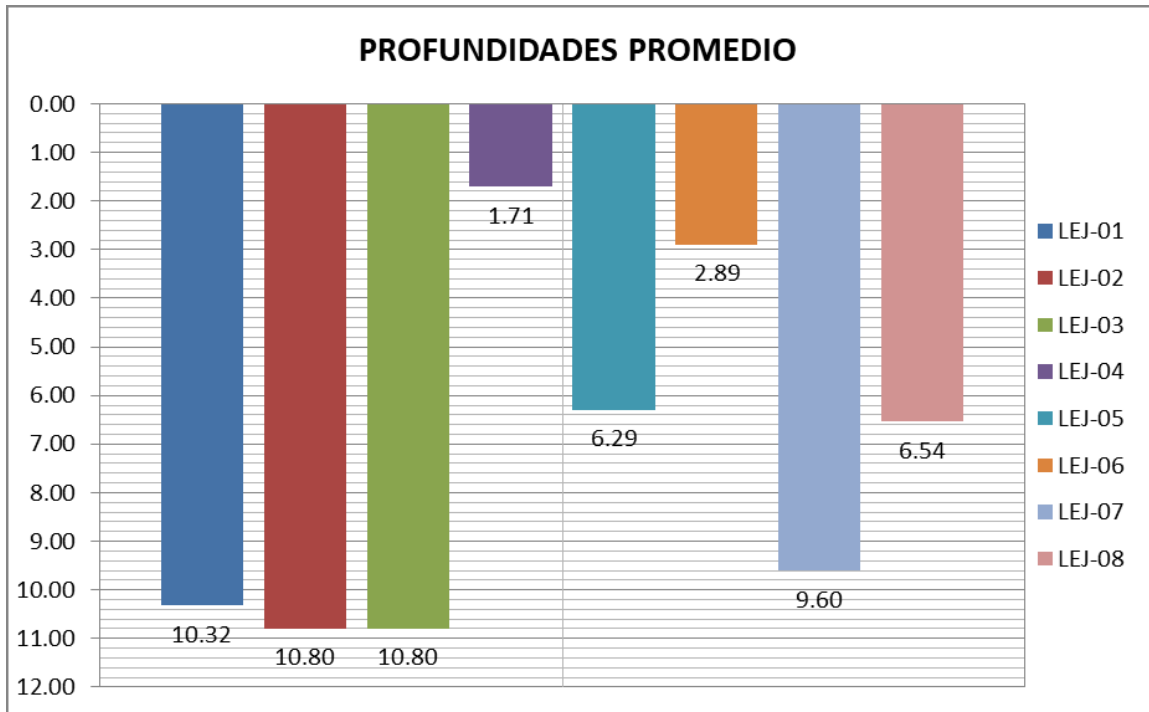


FIGURA 51. Profundidades promedio en cada pozo de monitoreo

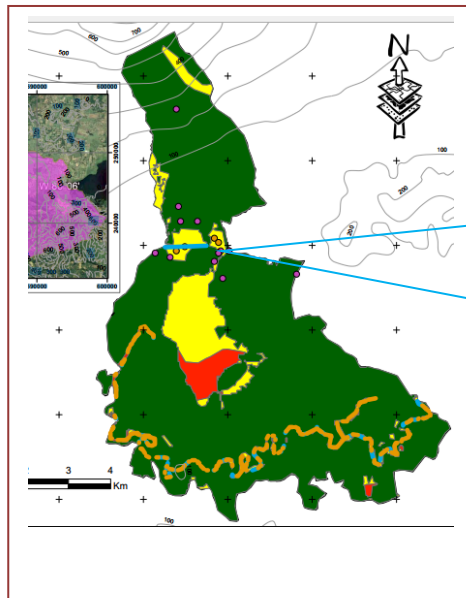
5.1.3 RECOLECCIÓN DE DATOS ANÁLISIS DE RIESGO

Para el análisis de riesgo mediante la metodología Posh se procedió al levantamiento mediante GPS de cada una de las fuentes potenciales de contaminación como se describe a continuación. Se hizo uso de una ficha para registrar la información recolectada en campo.



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR: LAGUNA EL JOCOTAL LONGITUD (O): 582032.001
FECHA: 17/12/18 LATITUD (N): 247878.1125
ACTIVIDAD: BOTADERO A CIELO ABIERTO. ELEVACIÓN: 49 MSNM



OBSERVACIÓN:

En la zona se observan conglomerados de desechos sólidos en los que se pueden distinguir materiales plásticos, orgánicos, se observan animales en estado de descomposición que representan un foco importante de contaminación.

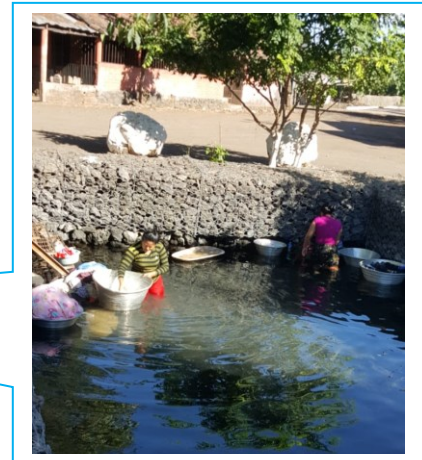
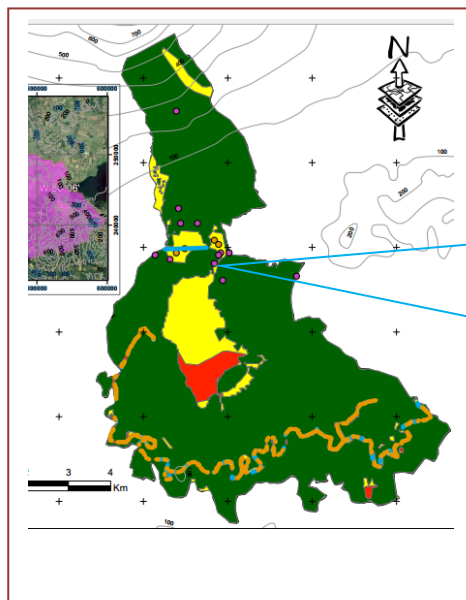
En toda la zona no se cumplen las disposiciones establecidas para el manejo de estos desechos.

FIGURA 52. Ficha de punto de contaminación de botadero de cielo abierto



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR:	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	LONGITUD (O):	<u>581827.1423</u>
FECHA:	<u>17/12/18</u>	LATITUD (N):	<u>247890.2541</u>
ACTIVIDAD:	<u>AGUAS GRISES (LAVADEROS)</u>	ELEVACIÓN:	<u>32 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

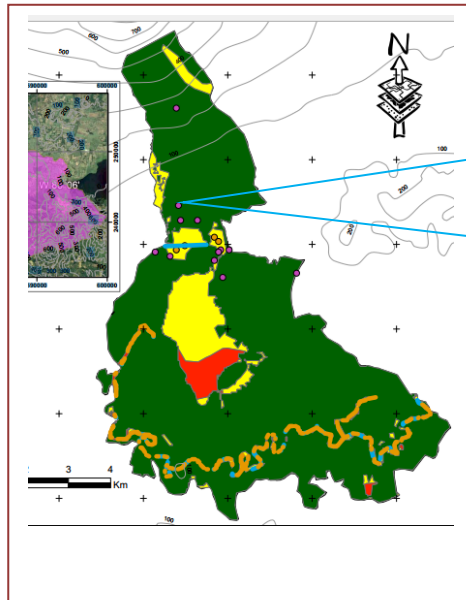
En el momento de la inspección se observó que personas se encontraban desarrollando actividades, haciendo usos de detergentes que son descargados directamente a un afluente de La Laguna.

FIGURA 53. Ficha de punto de contaminación de aguas grises



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

<u>LUGAR:</u>	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	<u>LONGITUD (O):</u>	<u>580823</u>
<u>FECHA:</u>	<u>17/12/18</u>	<u>LATITUD (N):</u>	<u>248928</u>
<u>ACTIVIDAD:</u>	<u>BOTADERO A CIELO ABIERTO (PEDRERA)</u>	<u>ELEVACIÓN:</u>	<u>60 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

En la zona se observan conglomerados de desechos sólidos en los que se pueden distinguir materiales plásticos, orgánicos, equipos electrónicos desechados.

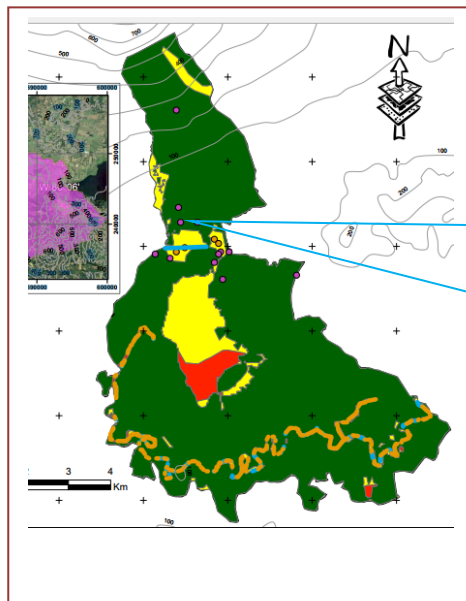
En toda la zona no se cumplen las disposiciones establecidas para el manejo de estos desechos.

**FIGURA 54. Ficha de punto de contaminación de botadero a cielo abierto
(La Pedrera)**



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR:	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	LONGITUD (O):	<u>580867</u>
FECHA:	<u>17/12/18</u>	LATITUD (N):	<u>248585</u>
ACTIVIDAD:	<u>BOTADERO DE DESECHOS ORGÁNICOS</u>	ELEVACIÓN:	<u>49 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

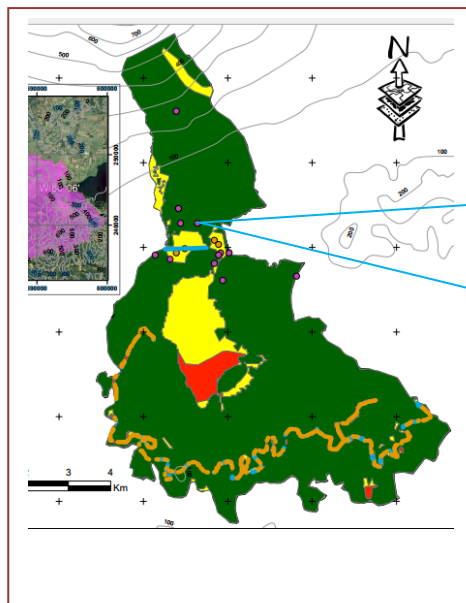
Existen conglomerados de materia orgánica, la cual personas no provenientes del lugar llegan a depositar estos residuos a la intemperie.

FIGURA 55. Ficha de punto de contaminación botadero a cielo abierto de desechos orgánicos



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

<u>LUGAR:</u>	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	<u>LONGITUD (O):</u>	<u>581306</u>
<u>FECHA:</u>	<u>17/12/18</u>	<u>LATITUD (N):</u>	<u>248579</u>
<u>ACTIVIDAD:</u>	<u>BOTADERO DE DESECHOS ORGÁNICOS</u>	<u>ELEVACIÓN:</u>	<u>58 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

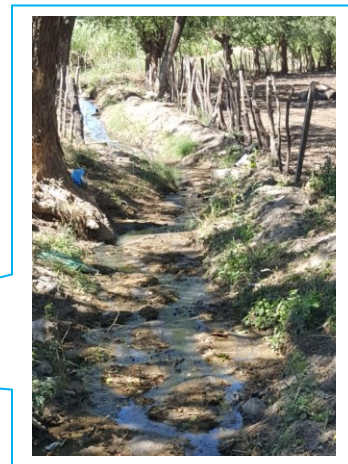
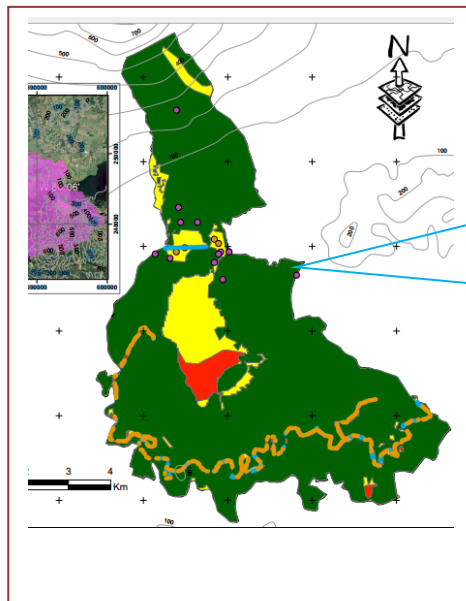
Existen conglomerados de materia orgánica, la cual personas no provenientes del lugar llegan a depositar estos residuos a la intemperie.

FIGURA 56. Ficha de punto de contaminación de botadero de desechos orgánicos



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

<u>LUGAR:</u>	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	<u>LONGITUD (O):</u>	<u>583613</u>
<u>FECHA:</u>	<u>17/12/18</u>	<u>LATITUD (N):</u>	<u>247294</u>
<u>ACTIVIDAD:</u>	<u>DRENAJE DE AGUAS RESIDUALES (INDUSTRIA CAMPESTRE)</u>	<u>ELEVACIÓN:</u>	<u>32 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

Las aguas que se observan provienen del lavado de los establos y granjas.

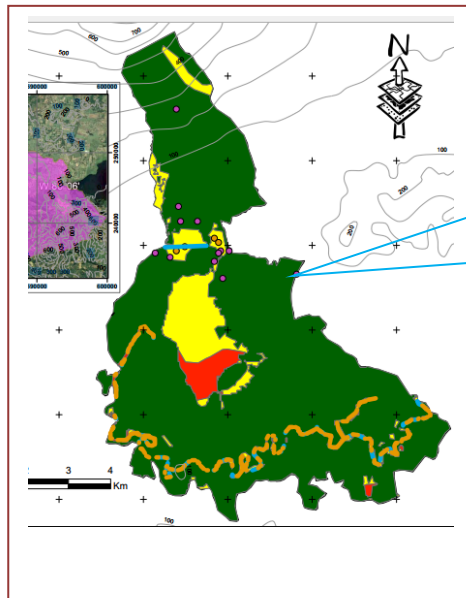
Las aguas que provienen de la actividad de aliñar pollos tienen un tratamiento previo a la descarga, pero aun así se considera una fuente contaminante.

FIGURA 57. Ficha de punto de contaminación de drenajes de aguas residuales (industria Campestre)



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

<u>LUGAR:</u>	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	<u>LONGITUD (O):</u>	<u>583861</u>
<u>FECHA:</u>	<u>17/12/18</u>	<u>LATITUD (N):</u>	<u>247465</u>
<u>ACTIVIDAD:</u>	<u>BIODIGESTOR INDUSTRIAL</u>	<u>ELEVACIÓN:</u>	<u>32 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

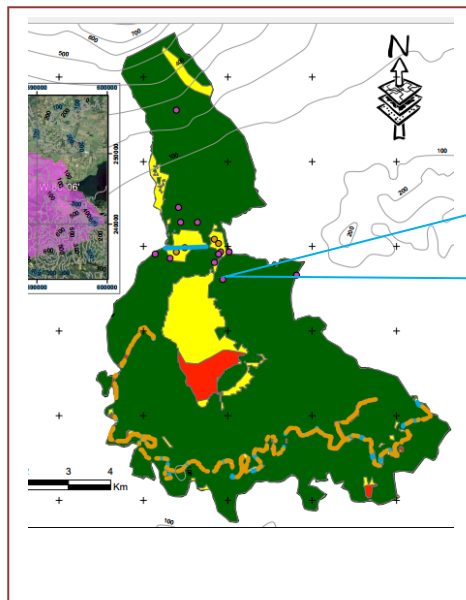
En la zona del biodigester se concentran los desechos orgánicos provenientes de heces fecales de los animales que son procesados para la fabricación de gases combustible.

FIGURA 58. Ficha de punto de contaminación de biodigester industrial



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

<u>LUGAR:</u>	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	<u>LONGITUD (O):</u>	<u>581890.20</u>
<u>FECHA:</u>	<u>17/12/18</u>	<u>LATITUD (N):</u>	<u>247218.01</u>
<u>ACTIVIDAD:</u>	<u>LA CHILERA</u>	<u>ELEVACIÓN:</u>	<u>45 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

Es una actividad de producción de diversas clases de chiles en la que se utilizan pesticidas como el monarca, foliares orgánicos, cenizas etc.

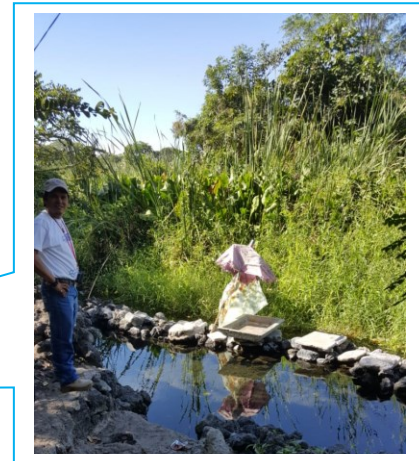
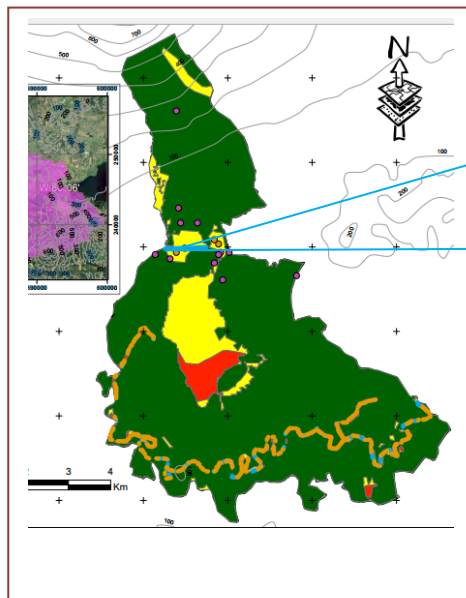
La actividad es de pequeña producción por la que todos estos químicos son utilizados en pequeñas proporciones.

FIGURA 59. Ficha de punto de contaminación de chilera



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

<u>LUGAR:</u>	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	<u>LONGITUD (O):</u>	<u>581665.0</u>
<u>FECHA:</u>	<u>17/12/18</u>	<u>LATITUD (N):</u>	<u>247637.64</u>
<u>ACTIVIDAD</u> :	<u>CONTAMINACIÓN CON AGUAS GRISES (LAVADEROS)</u>	<u>ELEVACIÓN:</u>	<u>30 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

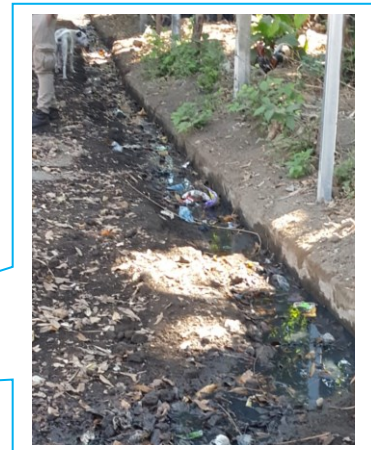
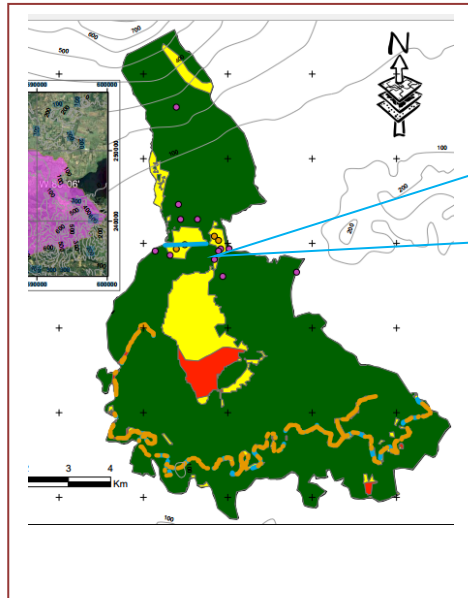
En el momento de la inspección se observó que personas se encontraban desarrollando actividades, haciendo usos de detergentes que son descargados directamente a un afluente de La Laguna.

FIGURA 60. Ficha de punto de contaminación con aguas grises (lavaderos)



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR:	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	LONGITUD (O):	<u>581781.71</u>
FECHA:	<u>17/12/18</u>	LATITUD (N):	<u>247842.71</u>
ACTIVIDAD:	<u>AGUAS GRISES (CANALETAS)</u>	ELEVACIÓN:	<u>30 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

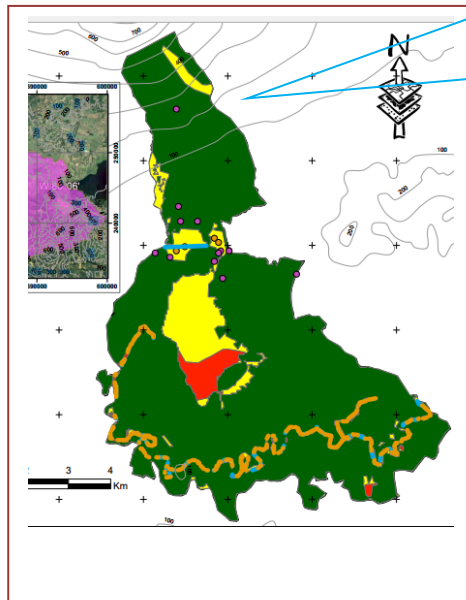
Se observó una canaleta que recolecta las aguas grises de varias viviendas que descargan directamente al suelo.

FIGURA 61. Ficha de punto de contaminación aguas grises (canaletas)



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR:	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	LONGITUD (O):	<u>580797.13</u>
FECHA:	<u>17/12/18</u>	LATITUD (N):	<u>251218.34</u>
ACTIVIDAD:	<u>ENTRENAMIENTO MILITAR</u>	ELEVACIÓN:	<u>251 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

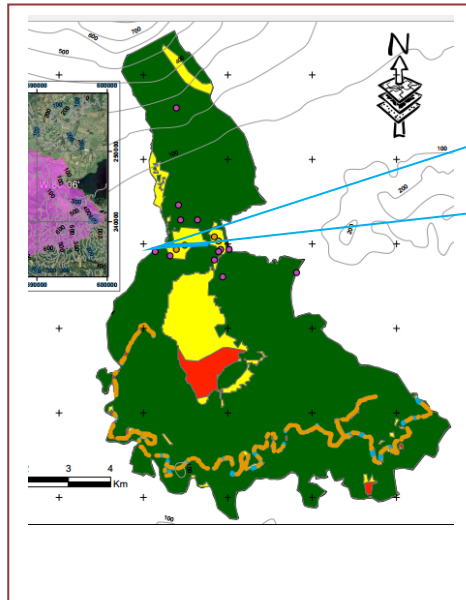
En la zona se desarrollan actividades de entrenamiento militar con artillería pesada el cual deja residuos de pólvora y plomo.

FIGURA 62. Ficha de punto de contaminación de área de entrenamiento militar



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR:	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	LONGITUD (O):	<u>580638.07</u>
FECHA:	<u>17/12/18</u>	LATITUD (N):	<u>247726.53</u>
ACTIVIDAD:	<u>POTRERO</u>	ELEVACIÓN:	<u>29 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

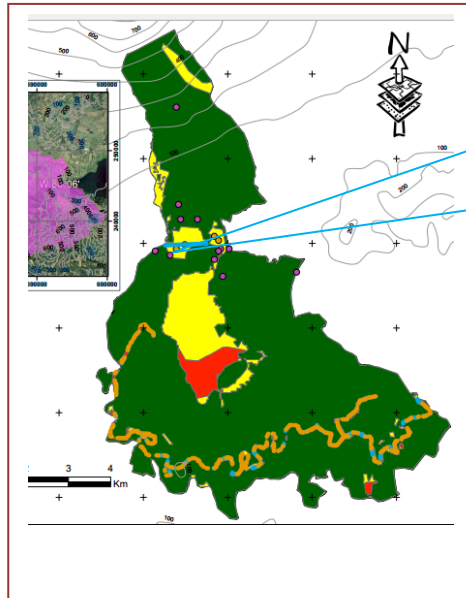
Genera una degradación del suelo así como también contaminación por heces fecales y las orinas del ganado.

FIGURA 63. Ficha de punto de contaminación potrero



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR:	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	LONGITUD (O):	<u>580995.21</u>
FECHA:	<u>17/12/18</u>	LATITUD (N):	<u>247952.05</u>
ACTIVIDAD:	<u>TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ</u>	ELEVACIÓN:	<u>29 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

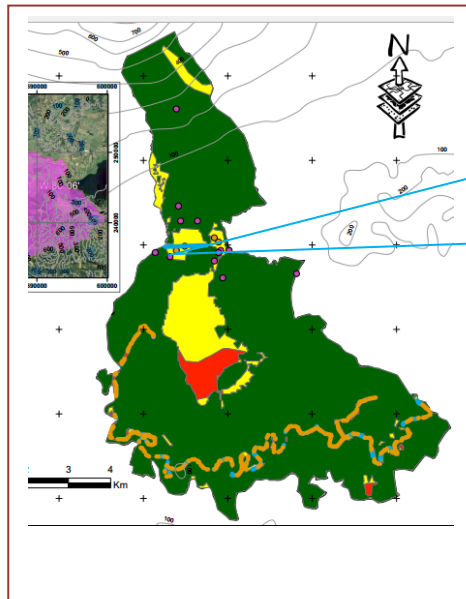
La actividad desarrollada en este lugar no tiene una disposición adecuada de los aceites y ácidos provenientes de los motores de vehículos, así como partículas de metal proveniente de transmisiones y fricciones de los vehículos cuando se genera una reparación preventiva o correctiva.

FIGURA 64. Ficha de punto de contaminación de taller mecánico automotriz



DESCRIPCIÓN DE PUNTO DE CONTAMINACIÓN

LUGAR:	<u>LAGUNA EL JOCOTAL</u>	LONGITUD (O):	<u>580793.59</u>
FECHA:	<u>17/12/18</u>	LATITUD (N):	<u>247892.78</u>
ACTIVIDAD:	<u>TALLER MECÁNICO AUTOMOTRIZ</u>	ELEVACIÓN:	<u>35 MSNM</u>



OBSERVACIÓN:

La actividad desarrollada en este lugar no tiene una disposición adecuada de los aceites y ácidos provenientes de los motores de vehículos, así partículas de metal proveniente de transmisiones y fricciones de los vehículos cuando se genera una reparación preventiva o correctiva.

FIGURA 65. Ficha de punto de contaminación de taller mecánico automotriz 2

TABLA 24. Inventario de fuentes contaminantes determinadas dentro de Sitio Ramsar (Diciembre 2018).

Fuente: Elaboración propia

Fuente contaminante	Descripción	Coordenadas	
		X	Y
Botadero a cielo abierto	Se observaron un conglomerado de basura, conteniendo plásticos, vidrios y materia orgánica	582032.0	247878.11
Lavaderos (Aguas grises)	Descarga directa al espejo de agua de detergentes por personas del lugar.	581827.14	247890.25
Botadero de desechos orgánicos	Desechos de materia orgánica, en su mayoría estopas de coco y animales en descomposición	580867.10	248585.06
Botadero de desechos orgánicos	Desechos de materia orgánica, en su mayoría estopas de coco	581306.03	248579.07
Drenaje de aguas residuales granjas industriales	Las aguas residuales provienen de crianza y de aliñar aves de corral. Del aseo de las granjas sin tratamiento	583613.62	247294.41
Biodigestor industrial		583861.65	247465.56
Chilera	Se utilizan componentes químicos, como abonos, fertilizantes, herbicidas, insecticidas etc.	581890.19	247218.00
Lavaderos (Aguas grises)	Descarga directa al espejo de agua de detergentes	581665.00	247637.64
Aguas grises en calle	Aguas de los domicilios sin tratamiento que drenan hacia las calles.	581781.70	247842.71
Zona de entrenamiento militar	Aquí se pudieron encontrar desechos de artillería con contenido de plomo.	580797.12	251218.33
Potrero	Se observan heces fecales de ganado los cuales pueden generar una contaminación al acuífero	580638.06	247726.52
Taller mecánico automotriz	Se generan derrames de aceites y combustibles.	580995.20	247952.04
Taller mecánica automotriz	Se generan derrames de aceites y combustibles.	580793.59	247892.77

Posteriormente se procede se determinan las fuentes difusas de contaminación en base al mapa de uso de suelos.

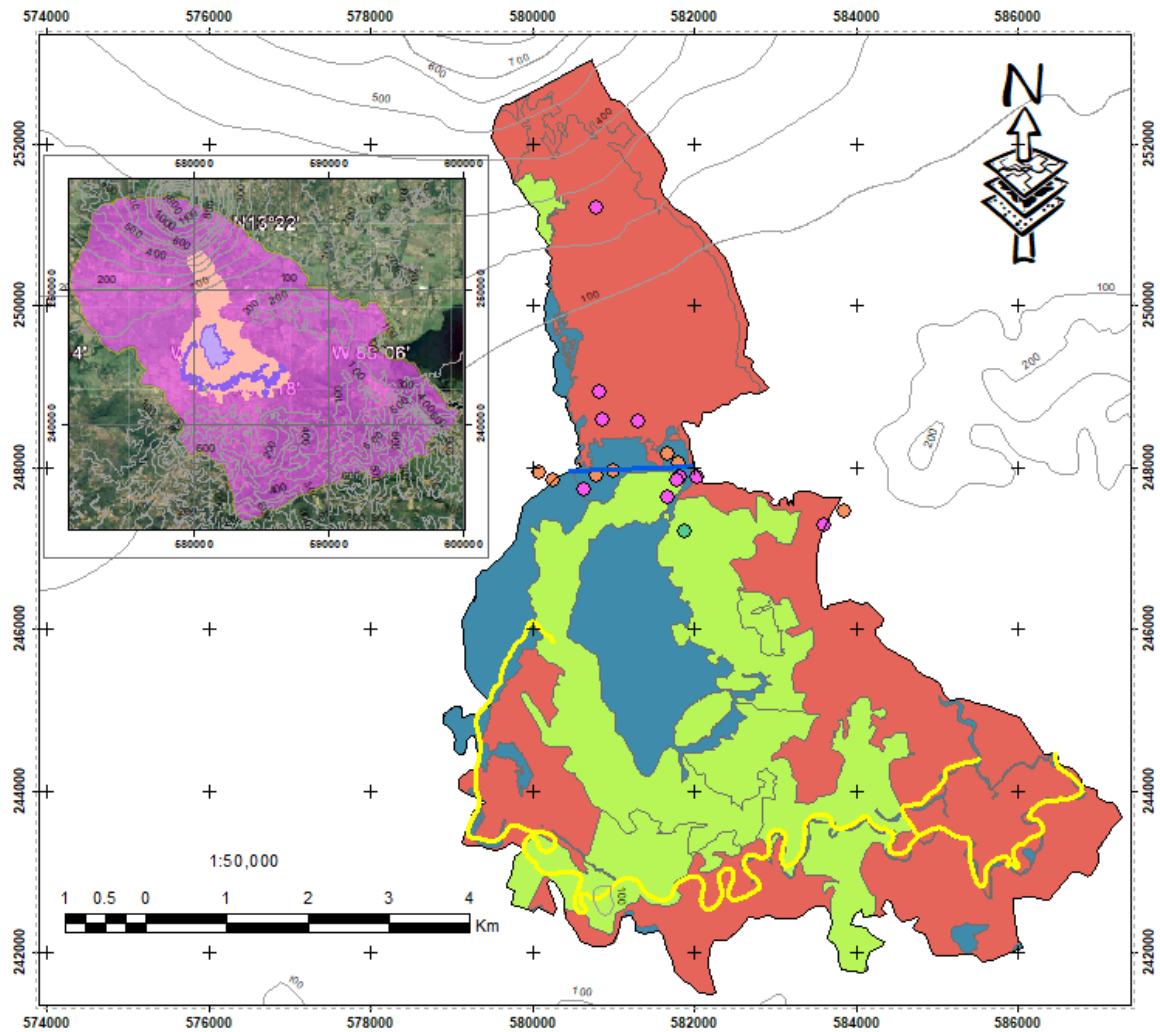


FIGURA 66. Referenciación de puntos y áreas de fuentes de contaminación.

Fuente: Elaboración propia

ACTIVIDADES CIRCUNDANTES AL ÁREA DE ESTUDIO.

Dentro de las actividades de campo y recolección de la información se detalló actividades agroindustriales y manufactureras que están teniendo un impacto

grande al acuífero que en el mapa no se reflejan por estar fuera del área de estudio FIGURA 67.

Cabe señalar que aunque el área de estudio es el **Sitio Ramsar Laguna El Jocotal**, el acuífero en cuestión tiene una extensión territorial mucho mayor a esta área de estudio por lo tanto estas actividades que se mencionan con anterioridad tienen una afectación directa a dicho acuífero, que inclusive pueden ser mucho mayores a las actividades que se pudieron encontrar dentro del área de estudio.



FIGURA 67. Actividades agroindustriales fuera del área de estudio.

5.1.4 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Para la determinación de pH, temperatura, la conductividad eléctrica, Sólidos totales disueltos y cloruros de sodio se hizo mediante el apoyo de un medidor multiparámetro. Se tomaron lecturas durante cinco meses.

En la campaña de obtención de datos multiparámetro se tomó como puntos de análisis los pozos establecidos para la campaña de medición de niveles, procediendo a extraer una muestra del pozo directamente e introduciendo el equipo electrónico para que este reconozca los diferentes parámetros. Se utilizó una hoja de campo para registrar los datos obtenidos. Los datos recolectados fueron registrados junto a los datos de profundidades obtenidos en la campaña de monitoreo. (FIGURA 42 hasta FIGURA 49). Los resultados obtenidos se muestran en la TABLA 25.



FIGURA 68. Recolección de datos del multiparámetro

TABLA 25. Resumen de datos obtenidos en la campaña de multiparámetro.

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIOS OBTENIDOS PARA CADA POZO DE MONITOREO							
		LEJ-1	LEJ-2	LEJ-3	LEJ-4	LEJ-5	LEJ-6	LEJ-7	LEJ-8
PH	-	7.138	6.798	7.168	6.988	6.934	6.77	6.816	7.136
TEMPERATURA	°C	28.22	28.98	28.14	26.36	29	29.44	29.22	28.26
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	449.98	591.52	764.18	929.64	479.88	479.3	430.76	628.06
SOLIDOS	PPM	236.2	341.44	395.36	490.1	251.82	252.14	226.7	330.2
CLORURO	PPM	230.4	336.08	391.88	491.24	246.62	246.8	221.42	324.06
PROFUNDIDAD	m	10.32	10.8	1.23	1.71	6.29	2.89	9.6	6.54

Para los iones mayoritarios se han analizado muestras de agua de 4 pozos en estudio, para ello se tomaron dos muestras de cada uno de los pozos los cuales se depositaron en dos recipientes con capacidad de 1000 ml.

Las dos muestras de cada pozo son colocados dentro de una hielera, (FIGURA 69) con el objetivo de preservar la muestra. Posteriormente son llevados al laboratorio para su respectivo análisis.



FIGURA 69. Muestras recolectadas, lista para análisis en laboratorio.

Los resultados obtenidos del laboratorio del Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES) para los 4 pozos analizados en el Sitio Ramsar se muestran de la TABLA 26, correspondientes a los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de agua obtenida de las visitas de campo.

TABLA 26. Resultados fisicoquímicos del agua

Fuente: Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES)

Parámetro	Unidad	LEJ-01	LEJ-02	LEJ-05	LEJ-06
Calcio (Ca)	mg/L	96.9	96.8	ND	92.3
Magnesio (Mg)	mg/L	16.5	26.8	13.6	15.1
Potasio (K)	mg/L	5.73	6.88	2.93	3.5
Sodio (Na)	mg/L	48.5	27.25	42.2	37.9
Sulfatos (SO4)	mg/L	60.14	67.98	46.34	41.08
Cloruros (Cl-)	mg/L	41.94	54.16	33.21	34.95
Carbonatos (CO3) y bicarbonatos (HCO3)	mg/L	207.4	145180	195.2	136.64
Coliformes fecales	NMP/100 MI	170	menor al 1.8	920	49
ND: NO DETECTADO NMP: NUMERO MAS PROBABLE					

5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

5.2.1 PROCESAMIENTO DE DATOS PARA RECARGA POTENCIAL

En este apartado se presentará el procesamiento de los datos obtenidos para el cálculo de la recarga potencial del acuífero, cabe señalar que se utilizará una hoja de Excel de la autoría del profesor Gunther Schosinsky Nevermann, ingeniero especialista en hidrogeología de la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR, construida especialmente para el método, posteriormente estos resultados se utilizarán para construir el mapa de recarga ya que conjuntamente se trabajó con el programa ArcGIS.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.

De los datos recolectados de temperaturas (TABLA 18, TABLA 19 y TABLA 20) se utilizarán para el cálculo de la evapotranspiración por medio de la Ecuación (2.15), además se hará uso del ANEXO 12 para determinar la radiación solar extraterrestre.

El resultado de la Ecuación (2.15) es un valor diario, por lo que se multiplico por el número de días de cada mes para poder obtener la evapotranspiración mensual que serán los datos a ingresar para el cálculo de la recarga potencial, también del ANEXO 12 se interpoló para poder obtener el valor de Ro (Radiación Solar), ya que las estaciones meteorológicas se encuentran en latitud 13 grados Norte.

En la TABLA 27, se muestran los resultados de evapotranspiración para cada mes.

TABLA 27. Evapotranspiración de zona de estudio

FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T.Max (°C)	36.3	37.5	38.3	38.1	36.3	34.4	35.9	35.6	33.9	33.3	34.4	35.5
T.Min (°C)	20	20.6	21.9	24.6	24	23.4	22.9	22.9	22.9	22.6	21.3	20.1
T.Media (°C)	26.4	27.5	28.4	29.1	28.2	27.1	27.3	27	26.3	25.9	25.8	26.1
Ro (mm/día)	12.4	13.65	14.8	15.55	15.6	15.45	15.45	15.45	15.05	13.95	12.7	12
ETP (Dia)	5.1	5.8	6.4	6.2	5.8	5.3	5.8	5.7	5.1	4.6	4.6	4.8
ETP (Mes)	157.7	163.6	197.3	184.8	179.4	158.7	179.0	175.8	151.8	142.1	138.2	147.3

CALCULO DE FRACCIÓN QUE INFILTRA POR PENDIENTE K_p

Para calcular este parámetro se generaron las pendientes a partir de la imagen satelital DEM (Modelo de Elevación Digital) de la zona, que se obtuvo por medio de la página de internet (<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>) en la cual se descargó la imagen que se necesitaba de la zona de estudio (FIGURA 70) y luego se utilizó el programa ArcGIS para generar las pendientes de la imagen.

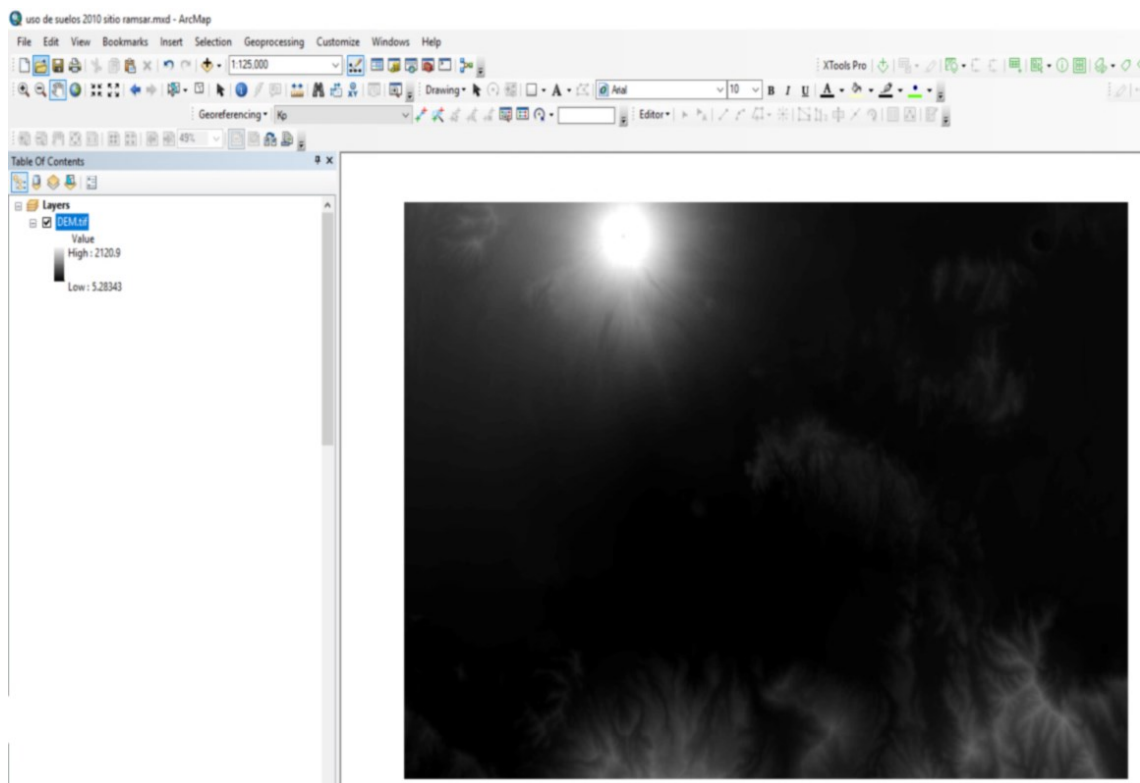


FIGURA 70. DEM zona donde se ubica el área de estudio

Fuente: <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>

En el resultado de generar las pendientes sobre la imagen satelital los rangos de pendientes son los que el programa creo por el mismo, valores que no nos sirven porque utilizaremos los rangos de pendientes de la TABLA 3. Para obtener los rangos que se necesitan, se utilizó la herramienta de reclasificar, contenida en el programa y agregar los rangos de pendientes que necesitamos.

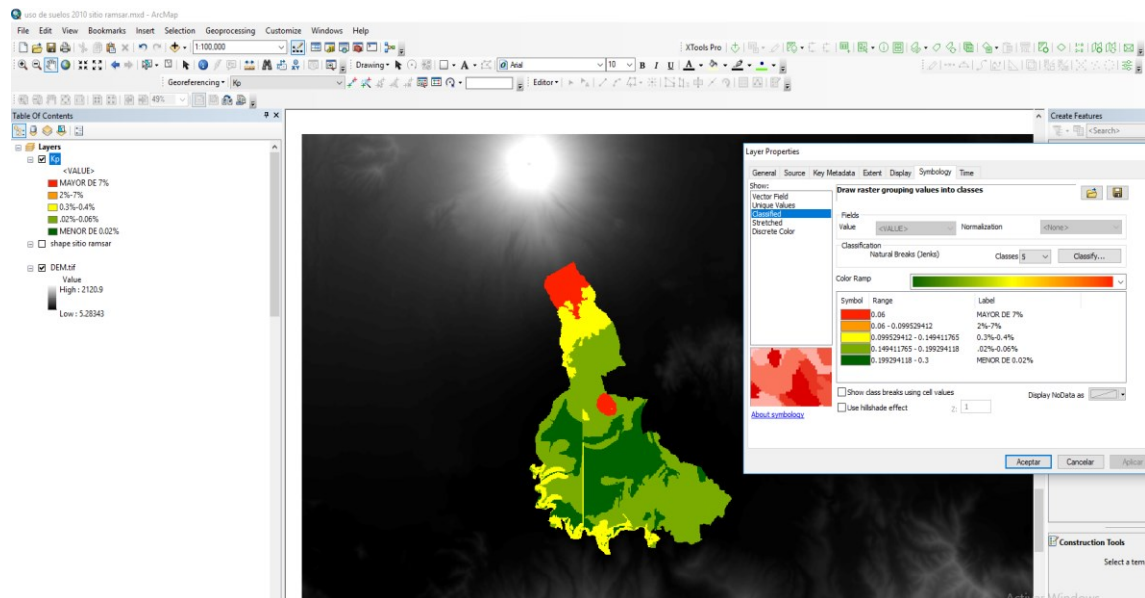


FIGURA 71. Elaboración de mapa de pendientes sobre la imagen satelital y reclasificación de rangos.

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DE FRACCIÓN QUE INFILTRA POR COBERTURA DEL SUELO KV

Para determinar este valor se utilizó un mapa de uso de suelos proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales (ANEXO 12), posteriormente se procedió a digitalizar el uso de suelos en ArcGIS de la zona de estudio; luego se reclasificó y se le asignó el valor de Kv (FIGURA 72), en base a la TABLA de coeficiente de Infiltración de la metodología de Schosinsky.

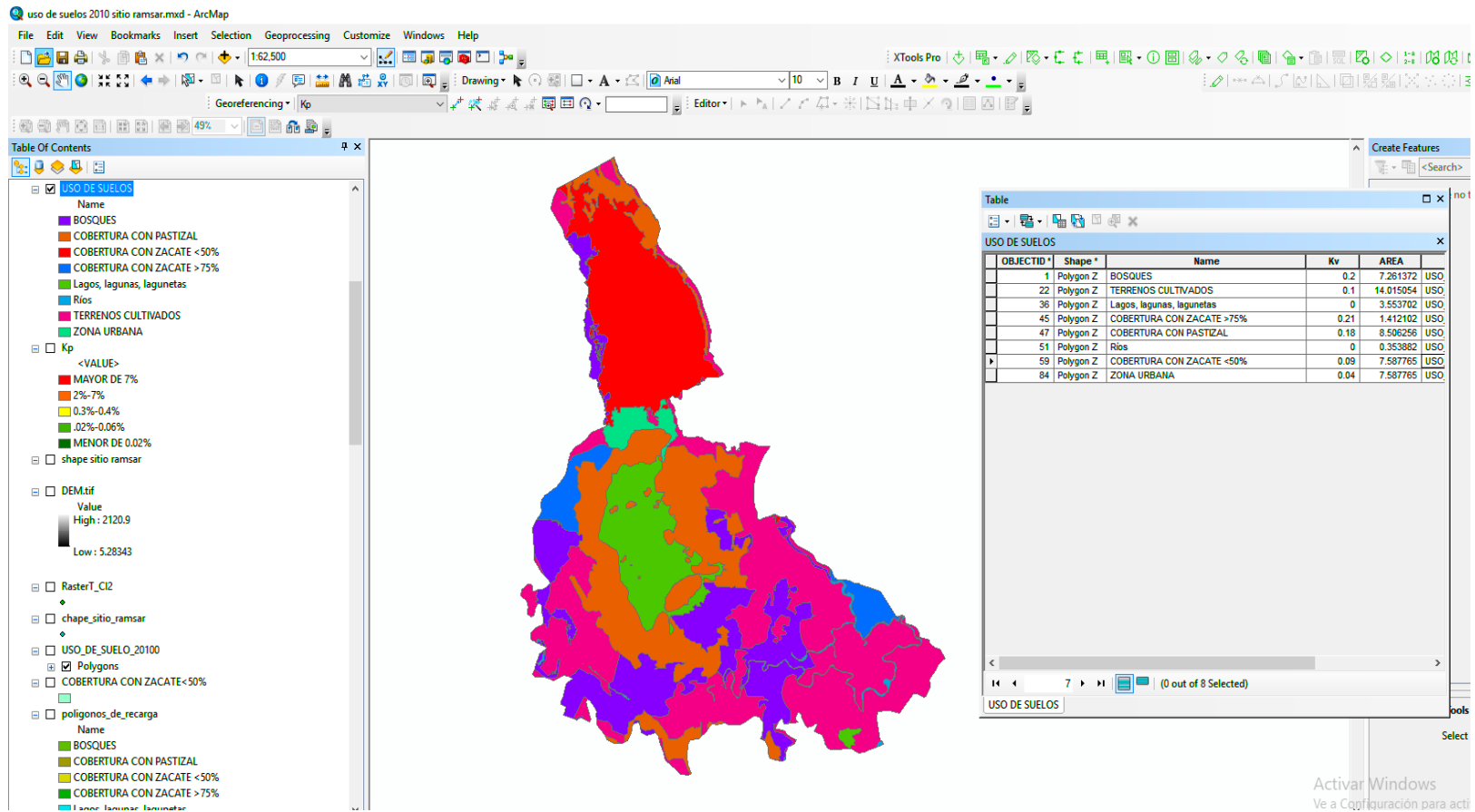


FIGURA 72. Reclasificación y asignación de valor de Kv, en base a la TABLA de la metodología de Schosinsky

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DE FRACCIÓN QUE INFILTRA POR TEXTURA DEL SUELO KFC

Los datos obtenidos en las pruebas de infiltración (FIGURA 32 hasta FIGURA 37) Pueden procesarse fácilmente usando la hoja electrónica Calculador de Permeámetro de Guelph. Después de ingresar todos los datos requeridos, la hoja reportó la velocidad de infiltración, valores que se utilizaron para calcular la recarga con la hoja de Excel de Schosinsky.

The screenshot shows the 'Guelph Permeameter Calculations' spreadsheet. It is divided into three main sections: 'Head #1', 'Head #2', and 'Average'. Each section contains input fields for Reservoir Type, water head height, borehole radius, soil texture category, and steady state rate of water level change. The 'Average' section provides a summary of the results, including the average infiltration rate K_{fs} and the fraction of water that infiltrates Φ_m .

Parameter	Head #1	Head #2	Average
Reservoir Type	2	2	-
Water Head Height (cm)	5	10	-
Borehole Radius (cm)	3.5	3.5	-
Soil Texture Category	2	2	-
Steady State Rate of Water Level Change (cm/min)	1.0000	0.2000	-
K_{fs} (cm/sec)	2.83E-05	3.77E-06	1.60E-05
K_{fs} (cm/min)	1.70E-03	2.26E-04	9.61E-04
K_{fs} (m/sec)	2.83E-07	3.77E-08	1.60E-07
K_{fs} (m/min)	6.88E-04	8.52E-05	3.78E-04
K_{fs} (inch/sec)	1.11E-05	1.49E-06	6.31E-06
Φ_m (cm ² /min)	7.07E-04	9.44E-05	4.01E-04

FIGURA 73. Calculador de permeámetro de Guelph

Fuente: www.soilmoisture.com

TABLA 28. Velocidades de Infiltración obtenidas del Calculador de Permeámetro de Guelph

Fuente: Elaboración propia

LUGAR DE LA PRUEBA	Velocidad de Infiltración (mm/día)
LA PEDRERA #1	6,168.96
LA PEDRERA #2	6,168.96
GRANJA CAMPESTRE	40.61
POTRERO ALBERTO RIVAS	24.45
LA CHÁCARA	36.63
CERRITO	48.82

Una vez obtenidos las velocidades de Infiltración se procedió a dividir las zonas en polígonos de Infiltración (FIGURA 74), tomando como base el mapa de uso de suelos, luego se sobrepusieron los mapas de pendientes y geológicos de cada zona. Esto con el fin de poder tener zonas con diferentes características y poder asignar a cada zona su respectivo valor de KP, KV y Kfc, así como los demás parámetros necesarios para el cálculo de la recarga potencial; obteniéndose estos valores se puede utilizar la hoja Excel creada por Schosinsky la cual da el resultado de la recarga potencial para cada una de las zonas obtenidas.

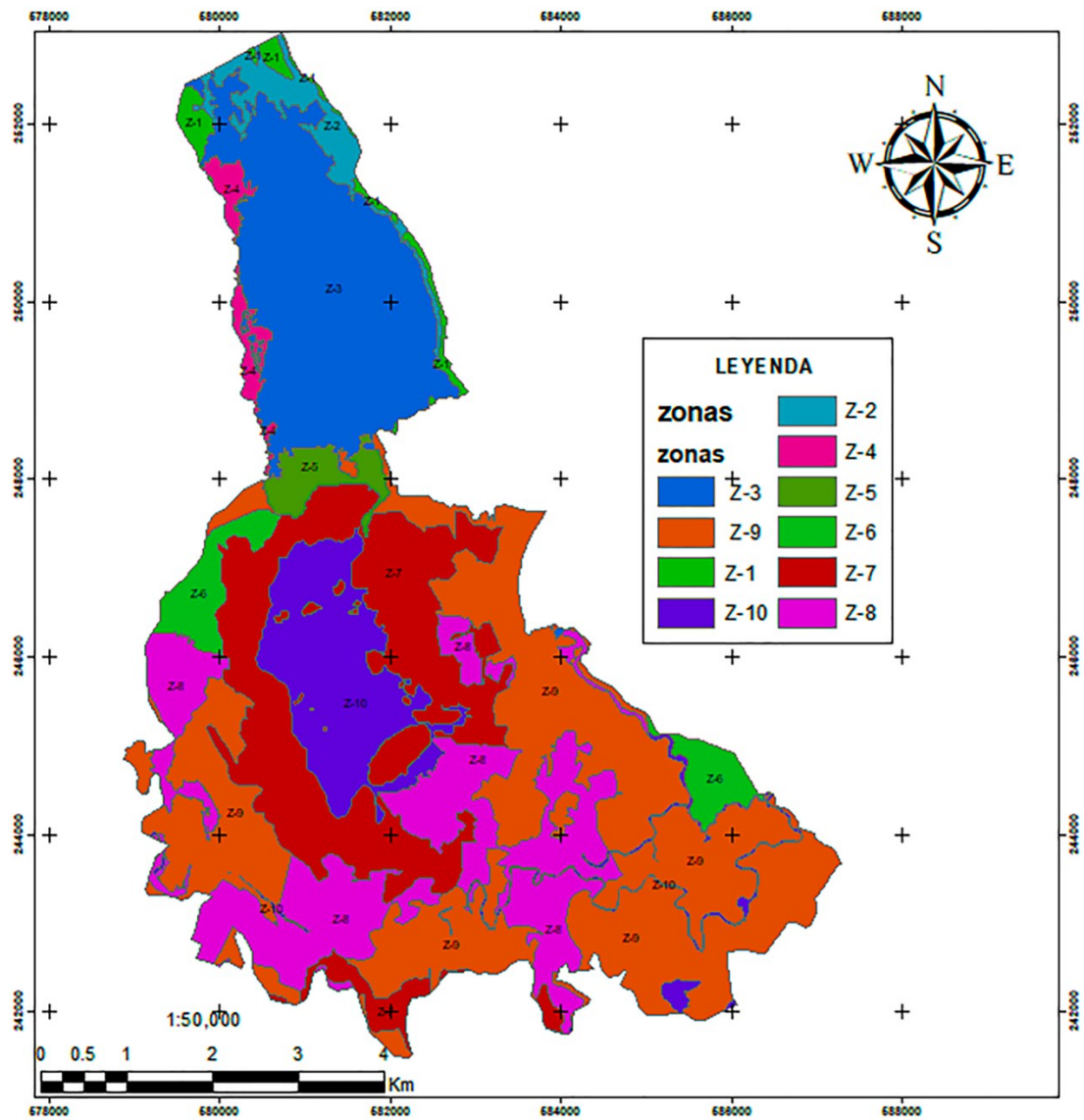


FIGURA 74. División en zonas de infiltración en base a mapa de uso de suelos

Fuente: Elaboración propia

TABLA 29. Parámetros requeridos para la hoja de Schosinsky

Fuente: Elaboración propia

PARÁMETRO	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	Z-6	Z-7	Z-8	Z-9
fc (mm/día)	6168.96	6168.96	6168.96	6168.96	6168.96	24.45	24.45	24.45	48.82
Kp	0.06	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.15	0.15	0.2
Kv	0.1	0.18	0.09	0.21	0.07	0.21	0.18	0.2	0.1
Ds (g/cm ³)	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.25	1.25	1.25	1.25
PR (mm)	600	1500	400	2500	2000	400	1500	2500	600
CC (%)	9	9	9	9	9	35	35	35	35
PM (%)	4	4	4	4	4	17	17	17	17
P (mm)	TABLA 17								
ETP (mm)	TABLA 27								
Lluvia retenida	0.12	0.12	0.12	0.2	0.12	0.12	0.12	0.2	0.12
Mes de inicio	10	10	10	10	10	10	10	10	10

TABLA 30. Recarga obtenidas en cada una de las zonas

ZONA	RECARGA (mm/año)
Z-1	316.75
Z-2	234.41
Z-3	353.18
Z-4	133.04
Z-5	219.35
Z-6	0
Z-7	0
Z-8	0
Z-9	4.75

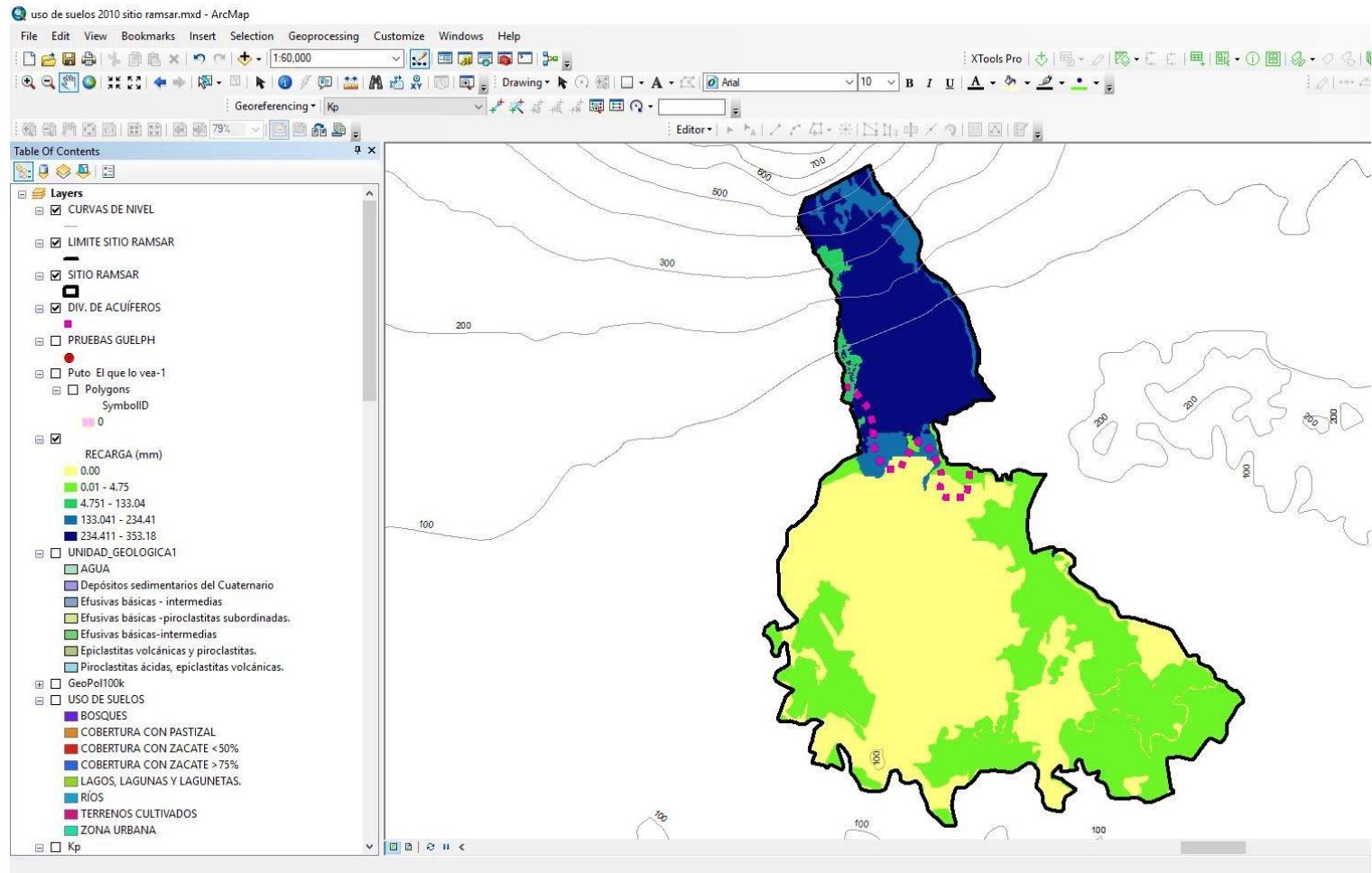


FIGURA 75. Mapa de recarga potencial de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 PROCESAMIENTO DE DATOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD.

Para obtener el mapa de vulnerabilidad del acuífero se hizo uso del programa ArcGIS. Para ello primero se obtuvo el mapa geológico de la zona de estudio (FIGURA 76), luego se le asigno los valores de Grado de Confinamiento (G), para la asignación de los valores de (G) se realizó basándose en el diagrama de evaluación de método GOD (FIGURA 6), variando estos valores para el acuífero dentro del rango de los no confinado (Libre).

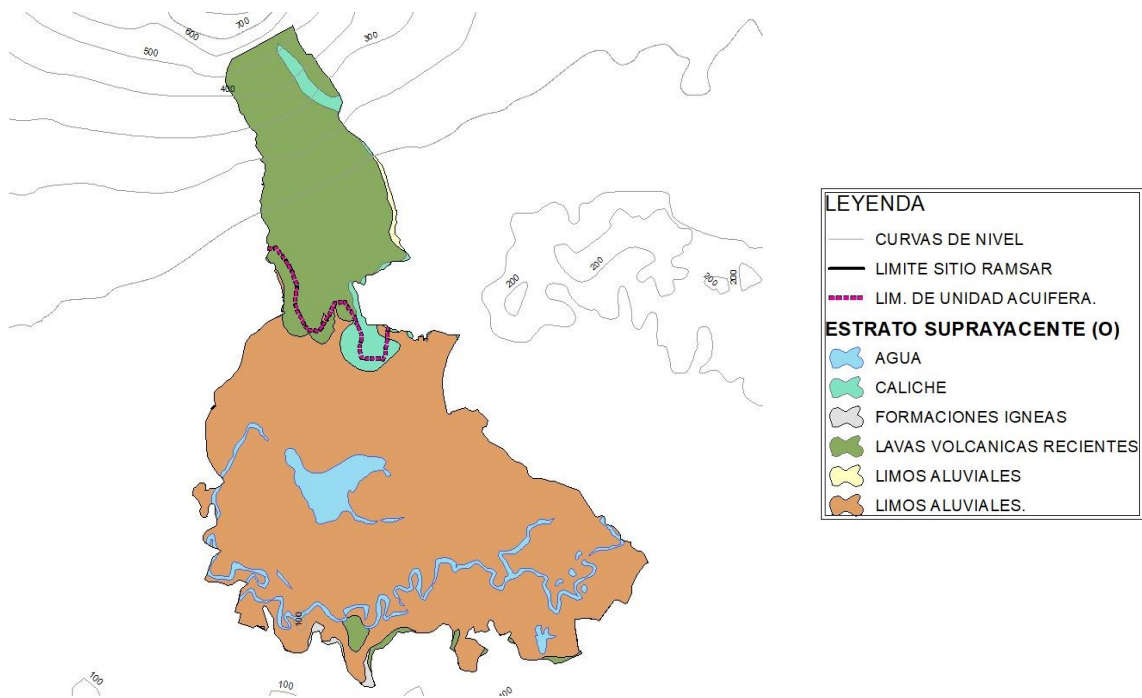


FIGURA 76. Mapa geológico de la zona de estudio.

Fuente: Ministerio de medio Ambiente y Recursos Naturales

Para la asignación de los valores de (O) observamos la geología de la zona y podemos ver que hay suelos dentro de la cuenca de estudio que están más consolidados, como lo es para el caso de la tobas por esa razón debemos de referirnos a la metodología GOD porque esta hace tres grandes grupos dentro de los que están, los sedimentos, las rocas porosas y rocas compactas.

Id	nombre	(G)	AREA
0	AGUA	1	3.896955
0	ACUIFERO NO CONFINADO (CUBIERTO).	0.6	9.449742
0	ACUIFERO SEMICONFINADO.	0.4	29.32934

SI	EDAD	CÓDIGO_MA	lmáx_mm_	VALOR_ALGE	Kfc
▶	Holoceno	s3a	150	0.4	0.26
	Mioceno	b1	50	0.4	0.26
	Holoceno	Qf	400	0.5	0.13
	Holoceno	s5a	1000	0.9	1
	Pleistocen	s2	275	0.9	0.31
			0	1	0

FIGURA 77. Asignación de valores G y O conforme a la geología

Fuente: Elaboración propia

Una vez se han asignado estos valores, se debe obtener el índice (D), en este caso se utilizaron las curvas de nivel y basándose en los niveles de los pozos (TABLA 23) estudiada, así como en su ubicación (FIGURA 78).

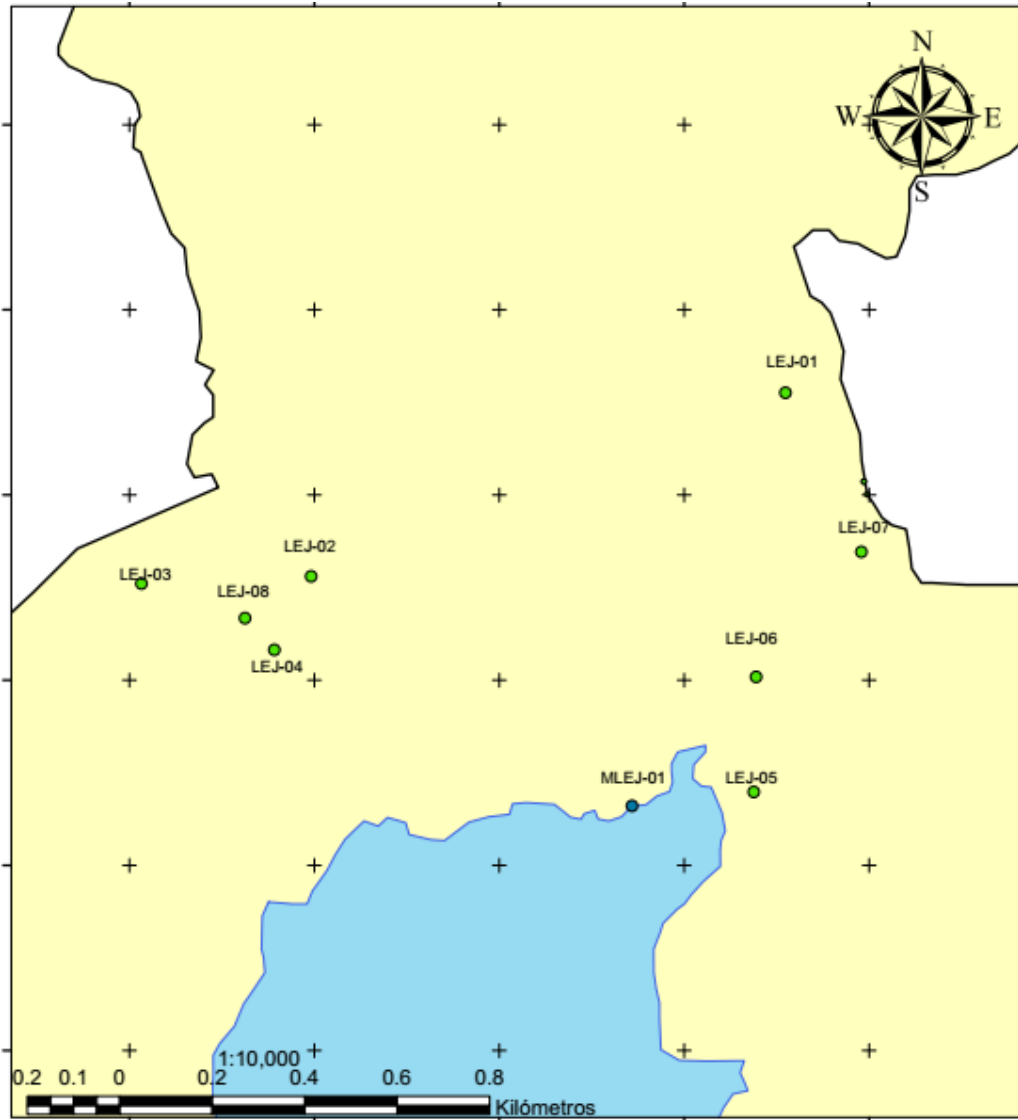


FIGURA 78. Ubicación de pozos de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia.

Se procedió a la elaboración de Shapefile de profundidad del nivel freático el cual se elaboró a partir de los pozos georreferenciados y a los niveles freáticos medidos en campo por medio de la herramienta de interpolación (idw) para la creación de isofreaticas, y su posterior reclasificación para tener los rangos que permite la tabla del método. Para zonificar los valores y obtener zonas con diferentes valores de (D)

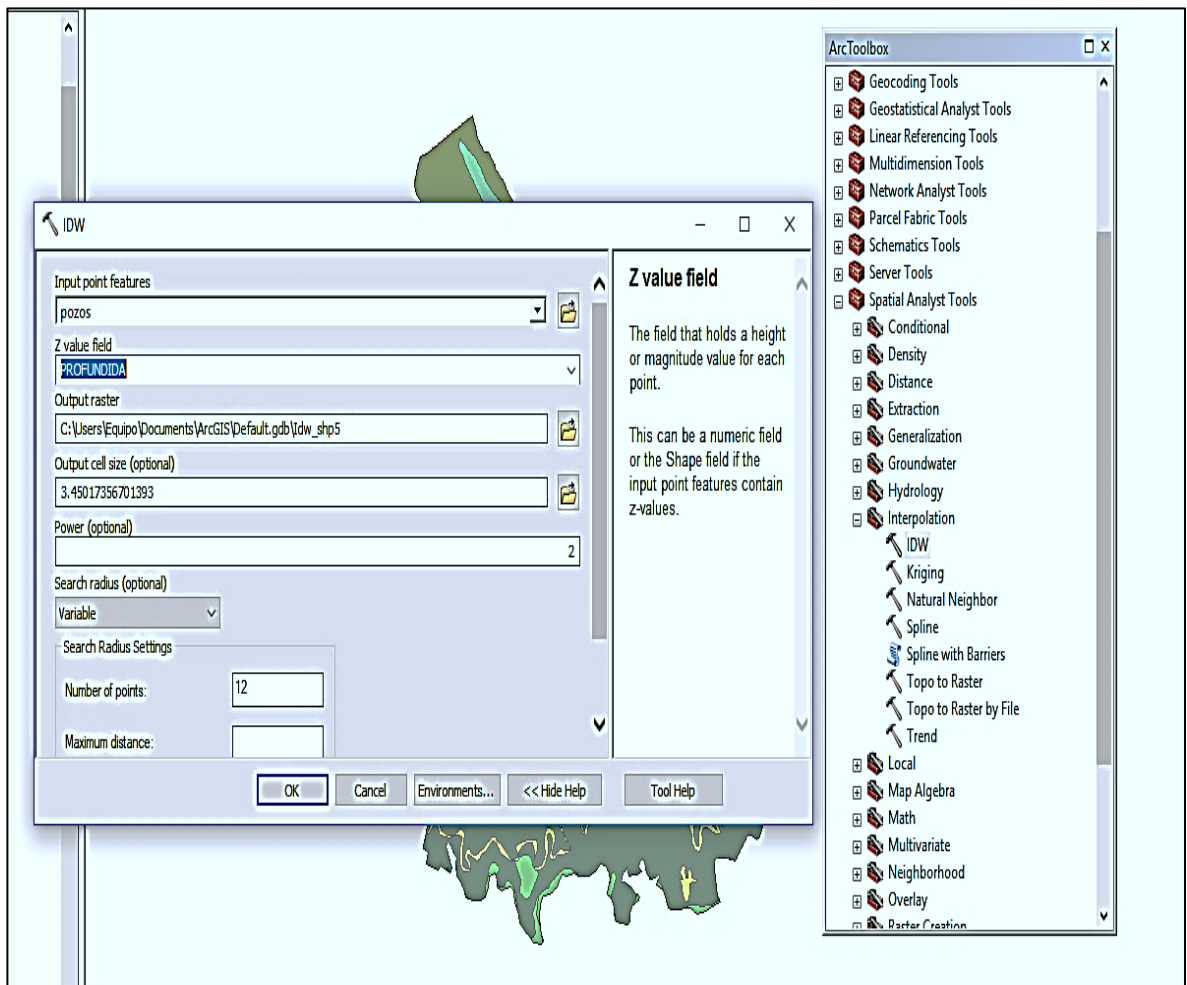


FIGURA 79. Elaboración del Shapefile de profundidad.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la zonificación realizada.

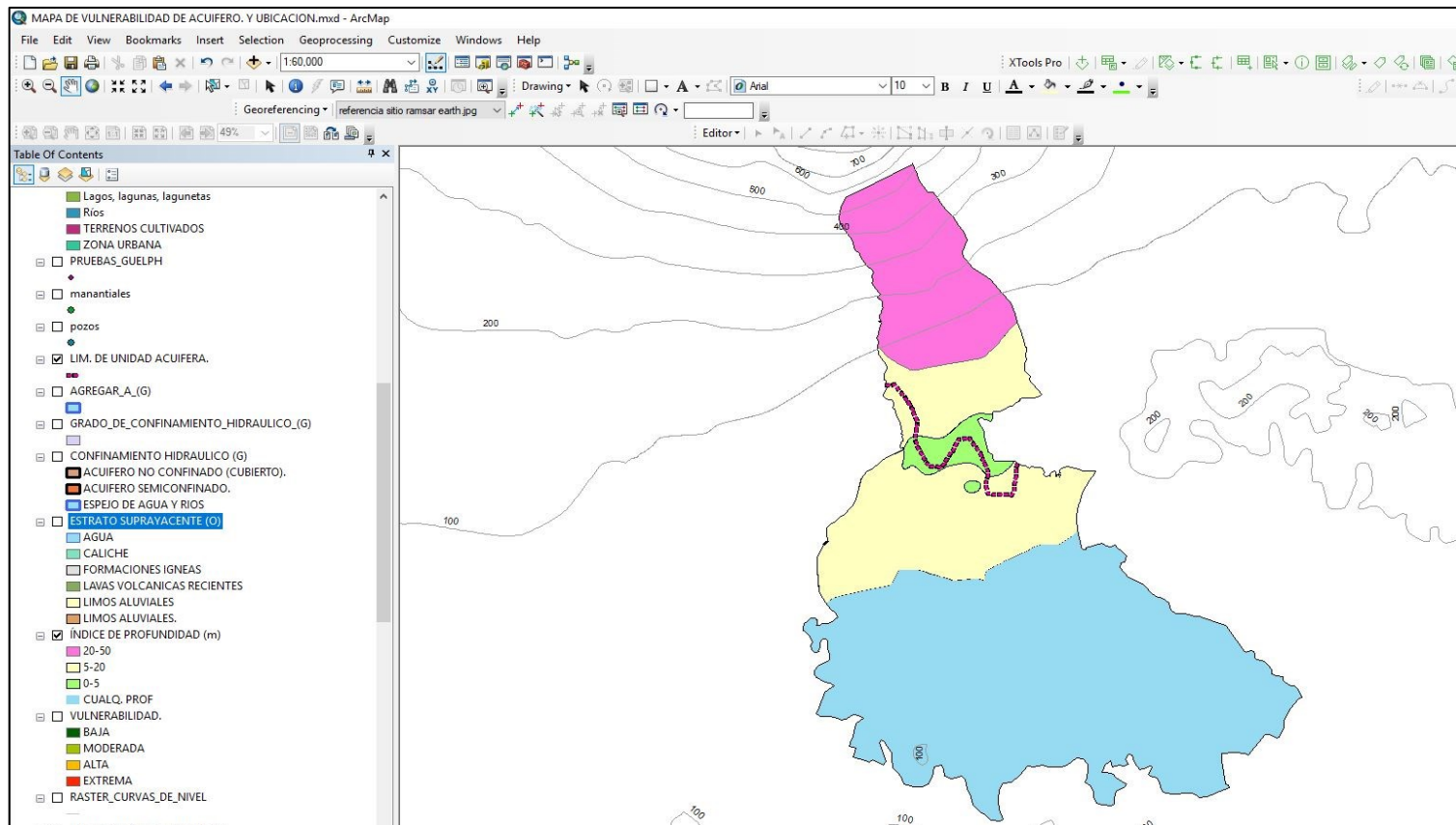


FIGURA 80. Distribución de áreas conforme a índice D

Fuente: Elaboración propia

Ahora se deben de realizar la conversión de cada Shapefile a ráster de tipo vectorial de cada uno de los parámetros G, O, D esto se debe a que se utilizarán más adelante para poder realizar el álgebra de mapas.

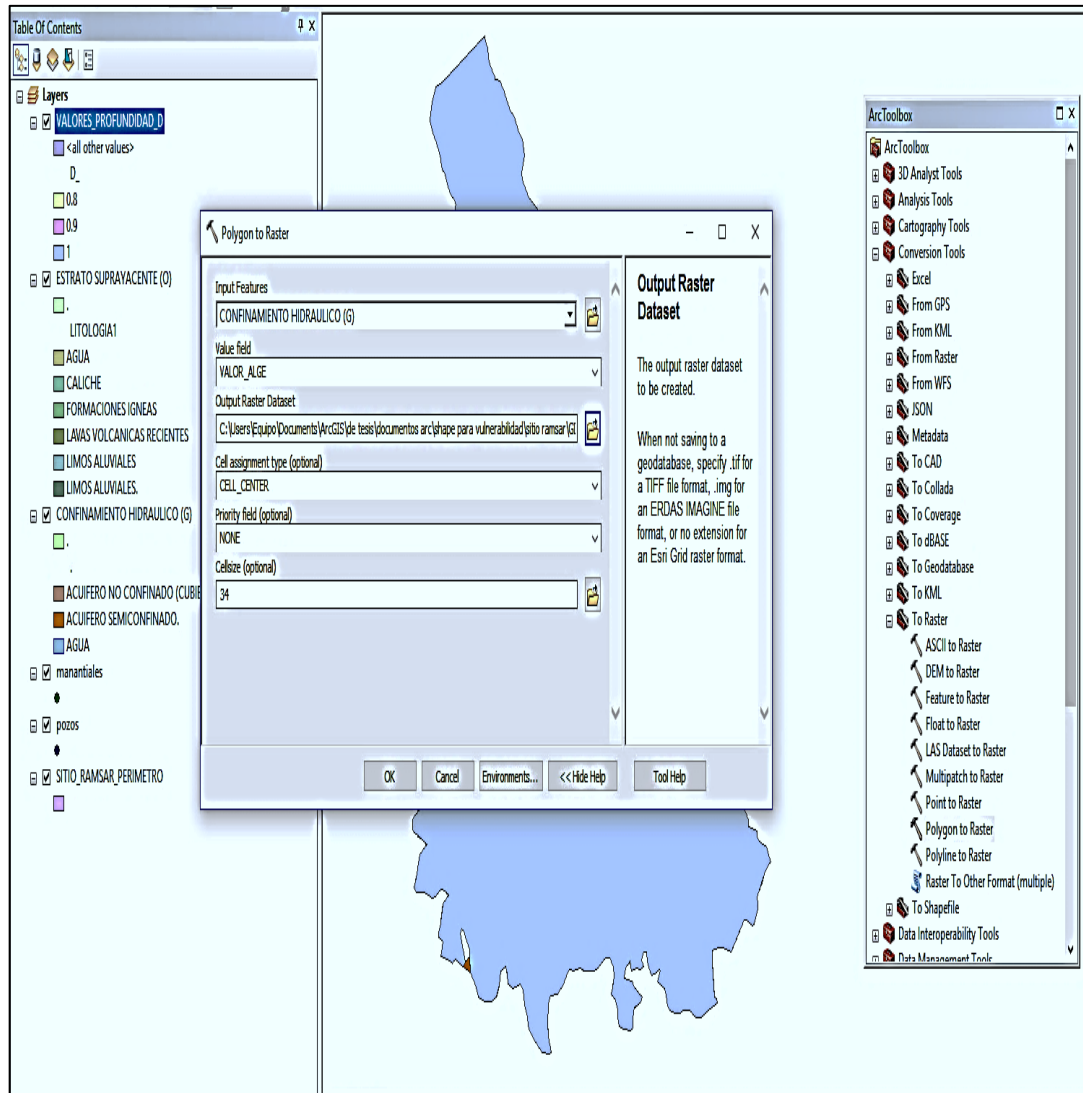


FIGURA 81. Elaboración de cada índice a ráster

Fuente: Elaboración propia.

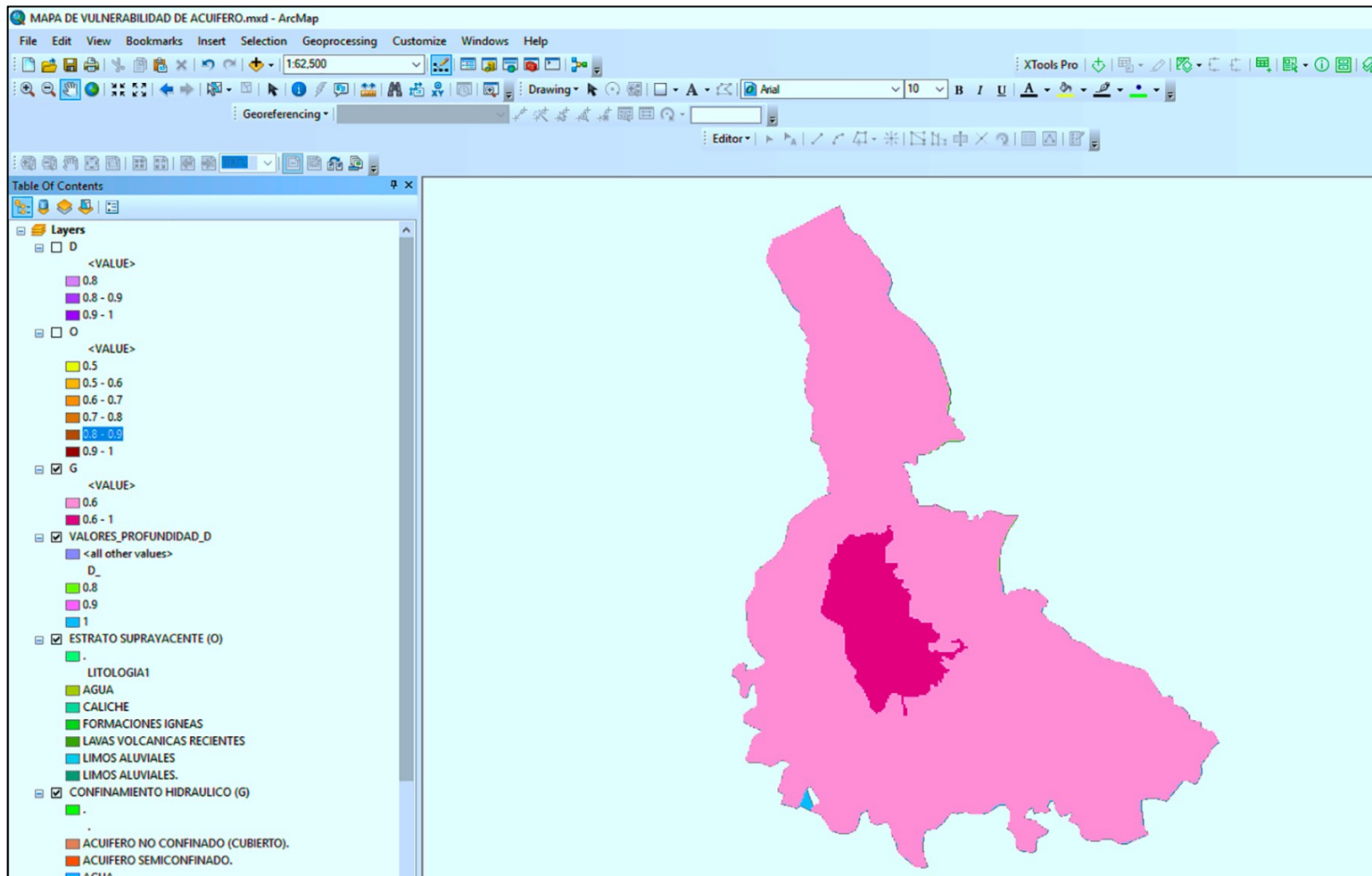


FIGURA 82. Elaboración índice a ráster (G)

Fuente: Elaboración Propia

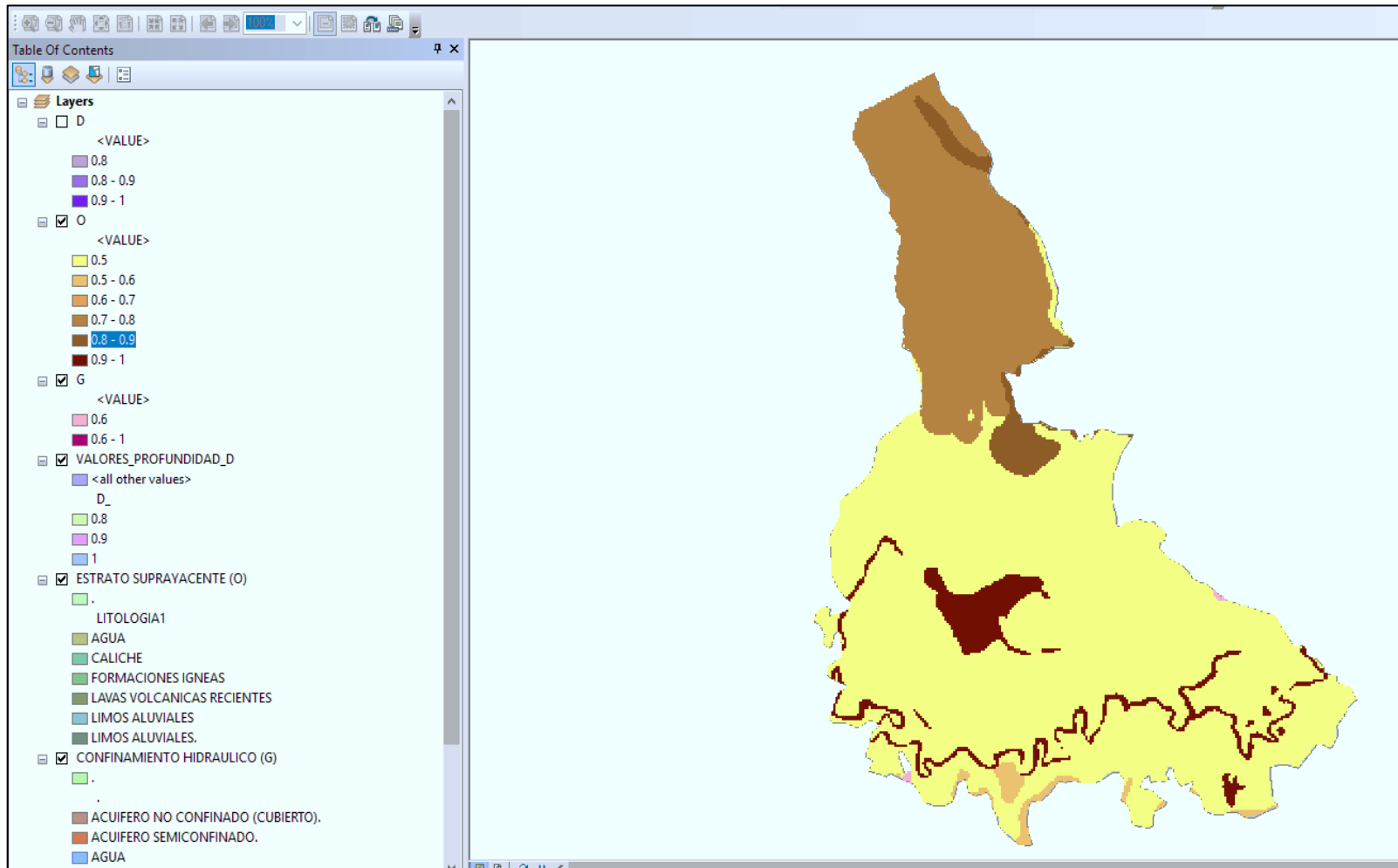


FIGURA 83. Elaboración índice a ráster

Fuente: Elaboración propia

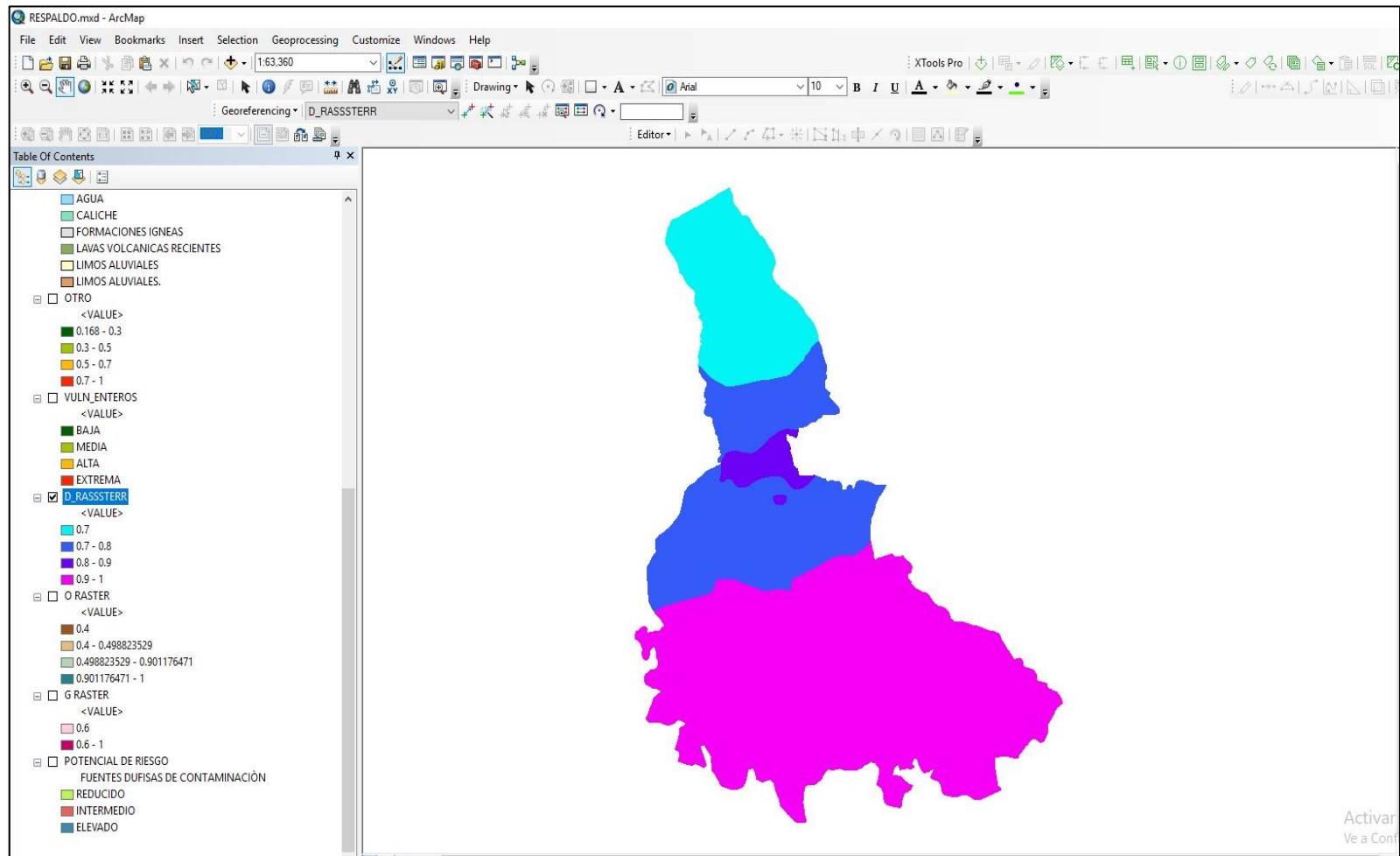


FIGURA 84. Elaboración índice a ráster (D)

Fuente: Elaboración propia

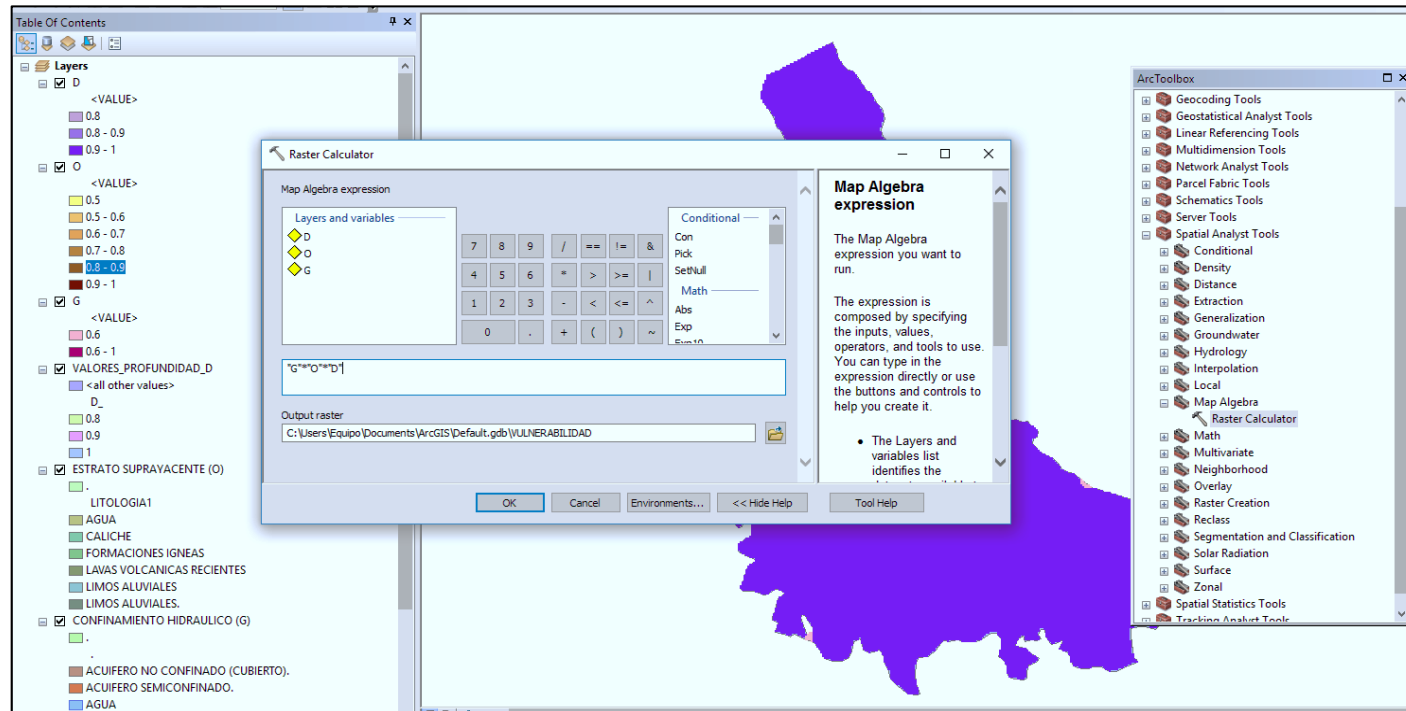


FIGURA 85. Álgebra de mapas

Fuente: Elaboración propia

Una vez se ha realizado el álgebra de mapas de debe hacer una reclasificación de los valores con el objetivo que los valores que se nos presente el mapa sean los mismo propuestos por el autor para la clasificación de la vulnerabilidad.

Y es así como luego de este procedimiento podemos obtener el mapa de vulnerabilidad para la zona de estudio.

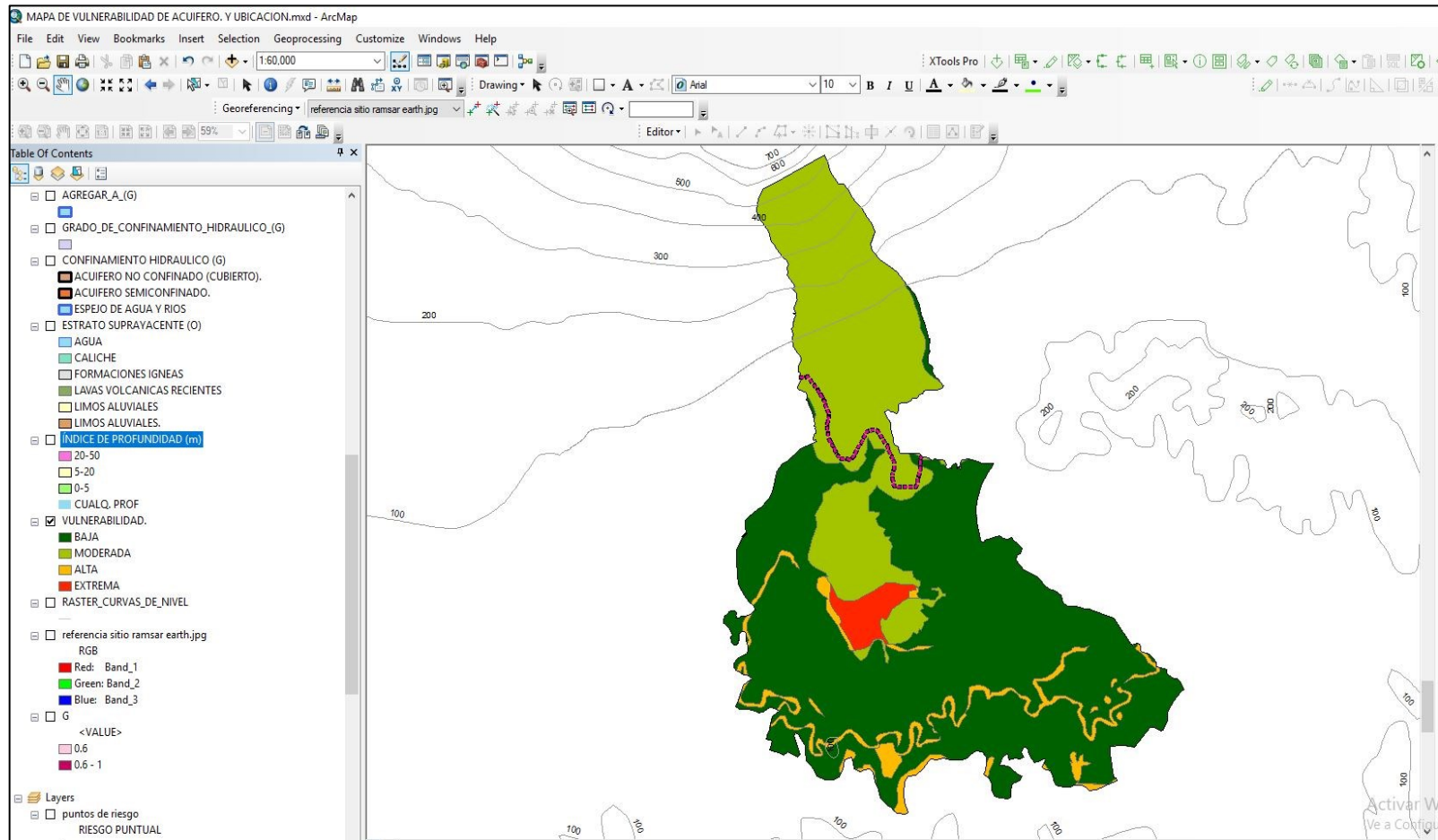


FIGURA 86. Mapa de vulnerabilidad

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

En esta etapa se realiza el procesamiento de toda la información recolectada en el programa ArcGIS mediante la herramienta Map algebra.

Como primer punto se procedió a realizar de los polígonos de fuentes contaminantes difusas, lineales y puntuales en el área de estudio.

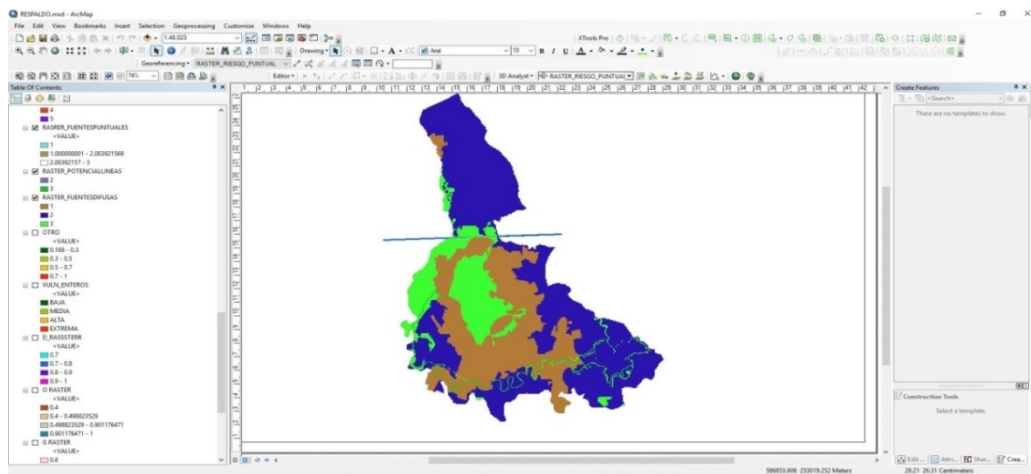


FIGURA 87. Fuentes de contaminación (difusa, lineal y puntual).

Luego se procedió a la configuración de los valores de cada uno de los factores para su posterior algebra de mapas.

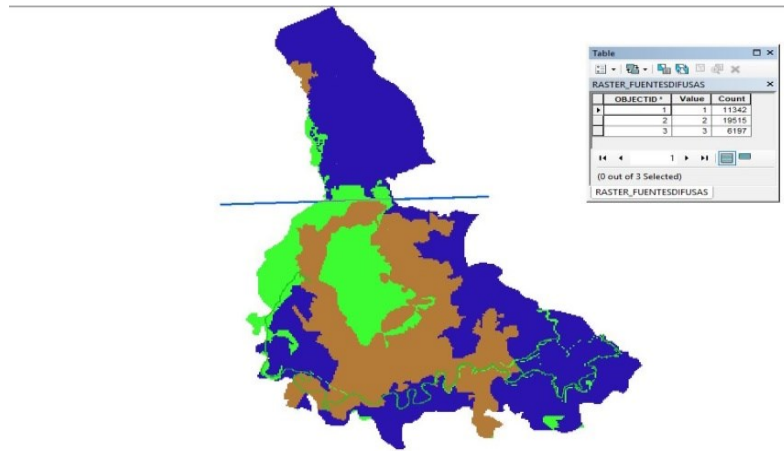
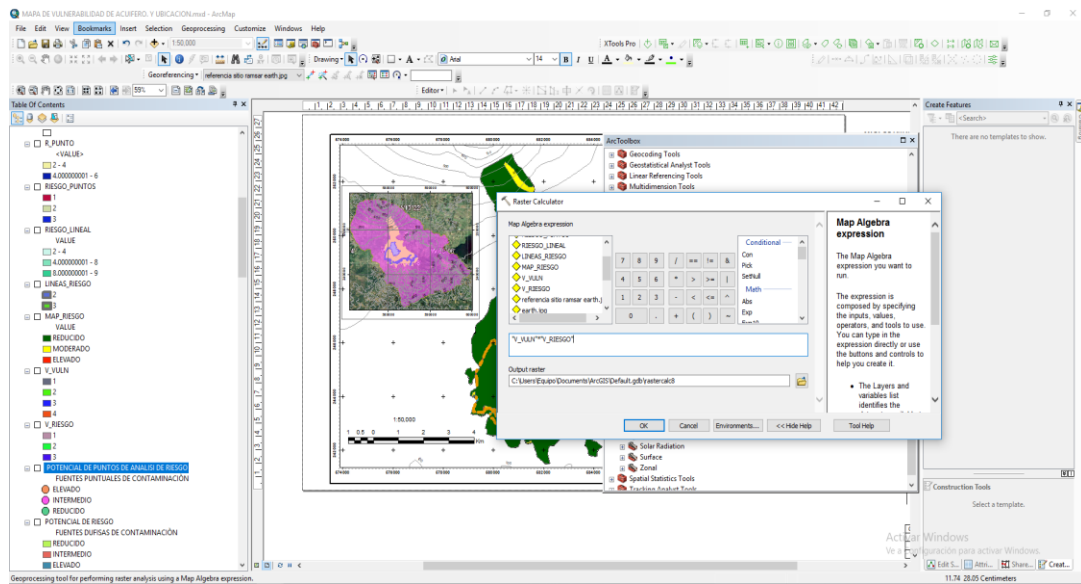


FIGURA 88. Asignación de valores al raster.

Se procedió a la realización del álgebra de mapas a través de la herramienta map algebra tomando en cuenta los rasters de: vulnerabilidad, fuentes difusas de contaminación, fuentes lineales de contaminación y fuentes puntuales de contaminación.



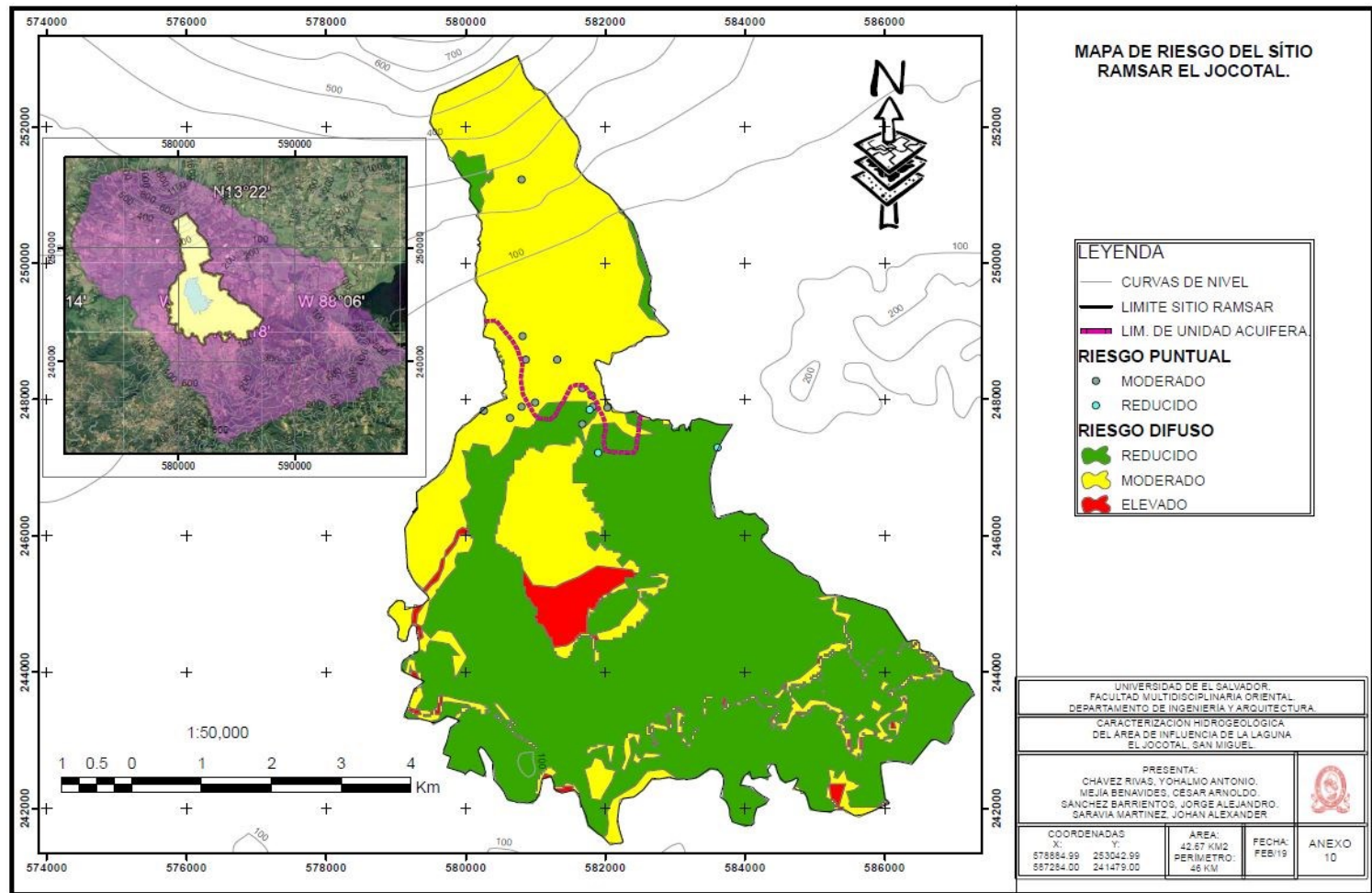


FIGURA 90. Mapa de riesgo.

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 PROCESAMIENTO DE DATOS PARA CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA.

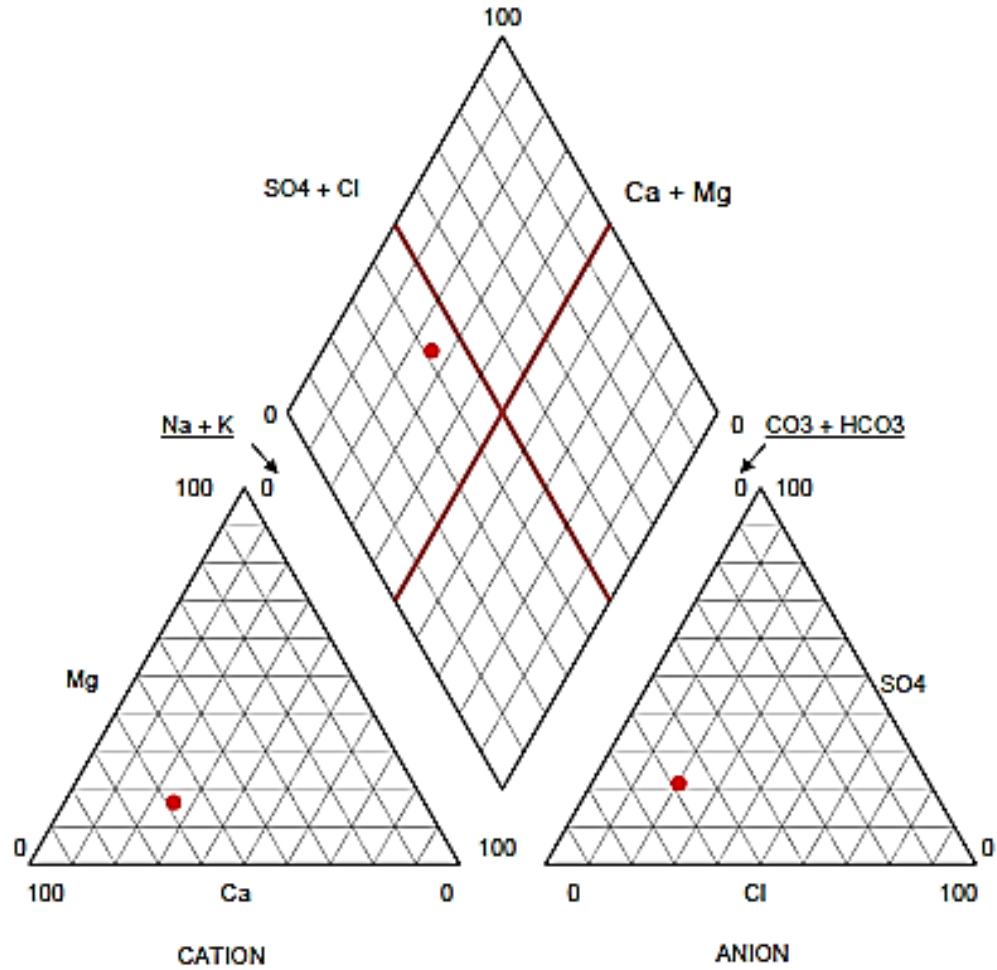
PROCESAMIENTO DE DATOS PARA ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE PIPER.

Para elaborar los diagramas de Piper de los pozos seleccionados para muestreo, fue necesario utilizar los datos de los análisis de laboratorio (TABLA 26), y además se utilizó el software EasyQuim para generar los diagramas.

EasyQuim (EasyQuim, 2012) es un Software libre creado por el Grupo de Hidrología Subterránea (GHS), específicamente por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), este Software está diseñado para mejorar la clasificación, análisis, cálculos, visualizaciones e interpretaciones de datos hidroquímicos. Realiza algunos cálculos tales como conversión de unidad y relaciones iónicas. También traza Diagramas de Piper, Schöeller-Berkaloff, SAR (Salinidad) y Stiff.

El Software presenta una interfaz muy sencilla y fácil de usar en la cual hay que introducir los datos en las celdas substituyendo los valores existentes: nombre, coordenadas, parámetros físico-químicos e iones mayoritarios.

A continuación se presentan los diagramas de Piper obtenidos en el procesamiento de datos de la investigación.



● LEJ-01

FIGURA 91. Diagrama de Piper para pozo de muestreo LEJ-01

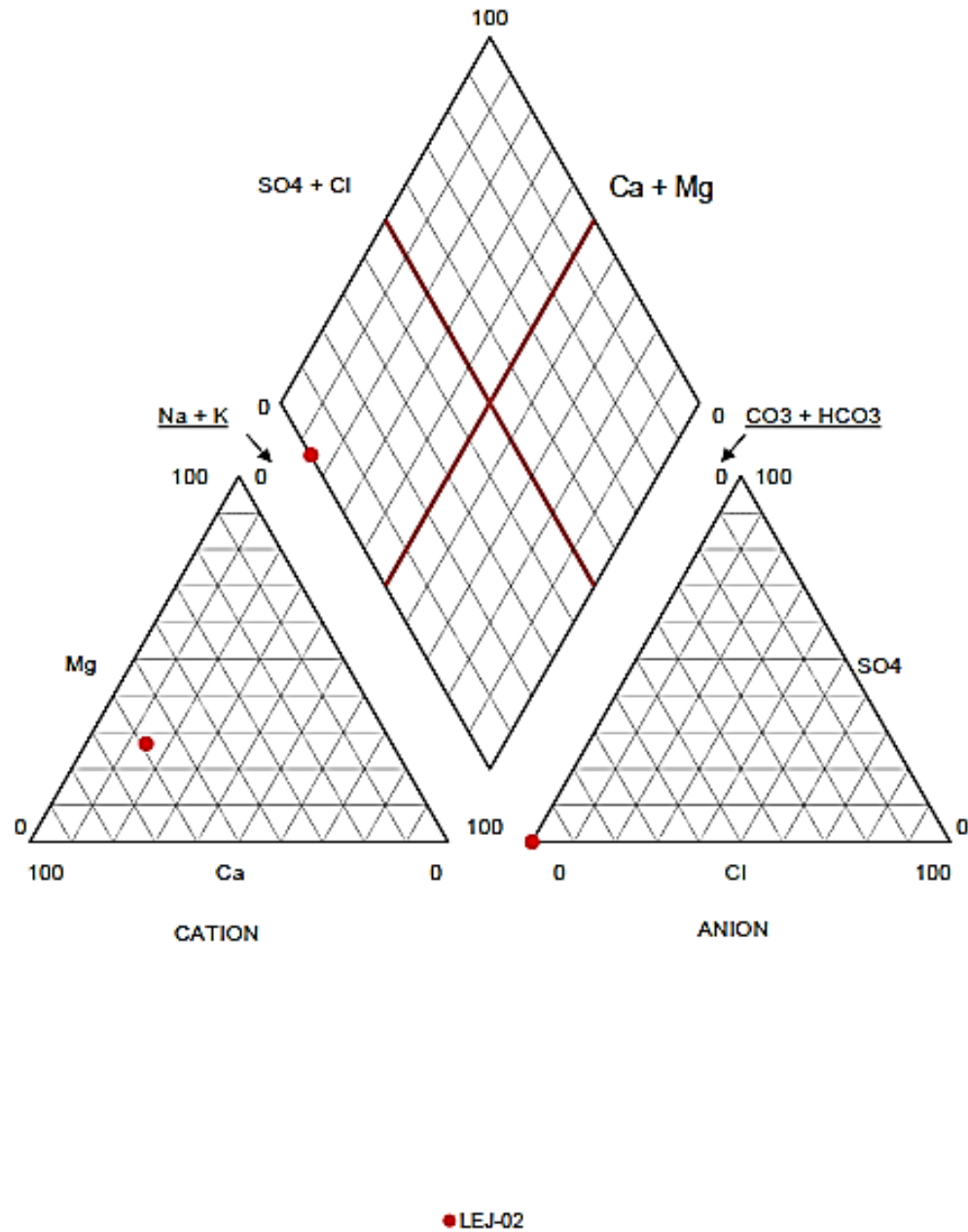


FIGURA 92. Diagrama de Piper para pozo de muestreo LEJ-02

EL JOCOTAL (ENERO-2019)

PIPER DIAGRAM

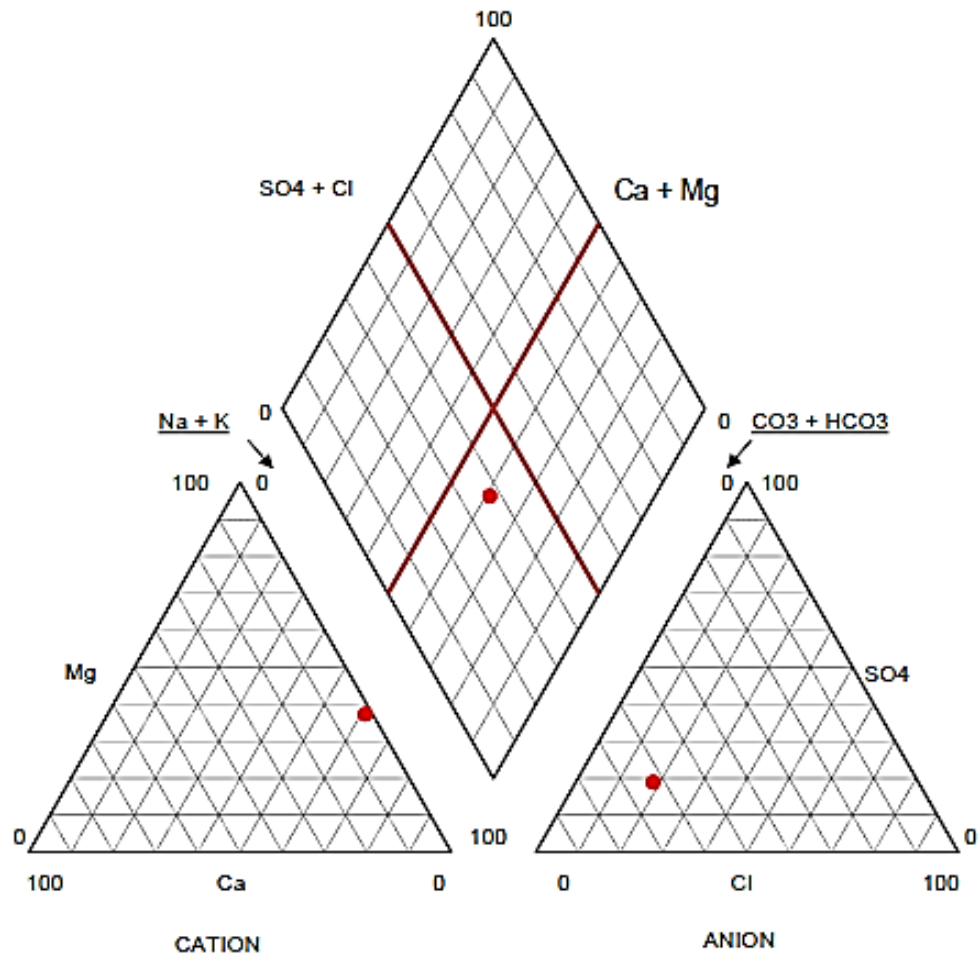


FIGURA 93. Diagrama de Piper para pozo de muestreo LEJ-05

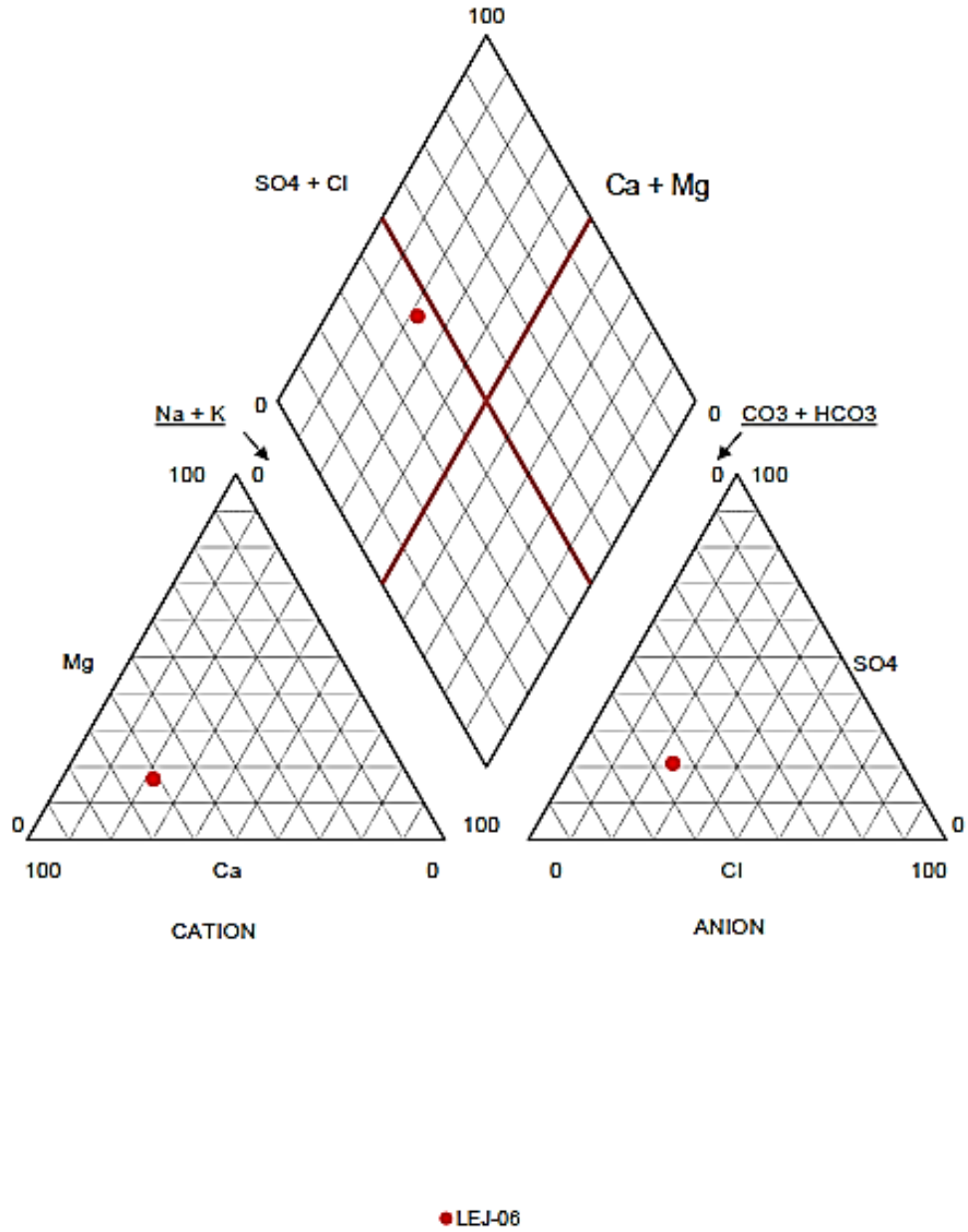


FIGURA 94. Diagrama de Piper para pozo de muestreo LEJ-06

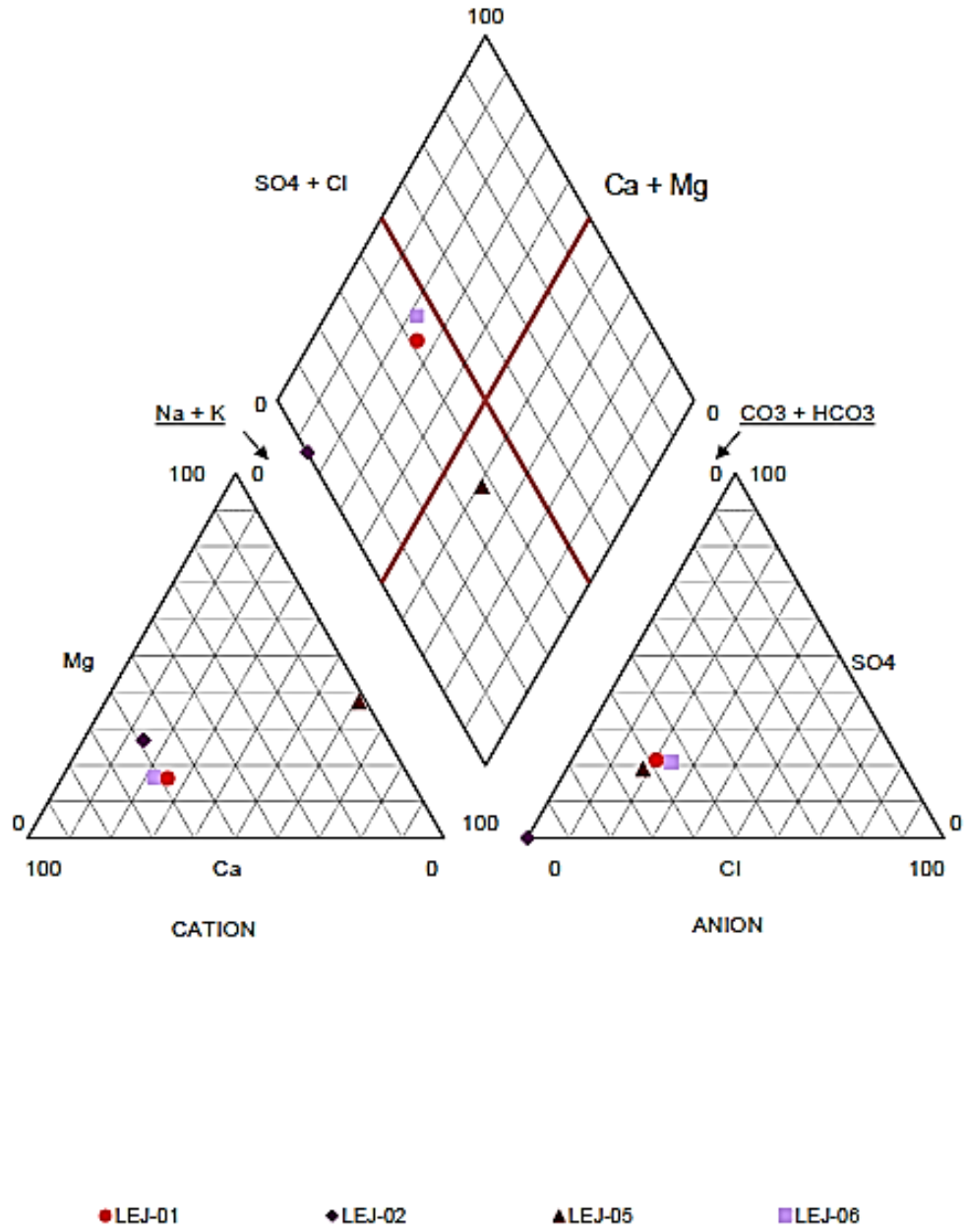


FIGURA 95. Diagrama de Piper general de los pozos de muestreo

TABLA 31. Clasificación de las muestras en base a los resultados obtenidos en los diagramas de Piper

MUESTRA	ANIONES			CATIONES				CLASIFICACIÓN
	BICARBONATOS (%)	SULFATO (%)	CLORURO (%)	SODIO (%)	POTASIO (%)	CALCIO (%)	MAGNESIO (%)	
LEJ-01	99.29	0.37	0.35	24.91	1.73	57.24	16.11	BICARBONATADA CÁLCICA
LEJ-02	99.88	0.06	0.06	14.08	2.09	57.51	26.32	BICARBONATADA CÁLCICA
LEJ-05	62.73	18.93	18.34	59.5	2.43	1.62	36.45	BICARBONATADA SÓDICA
LEJ-06	54.9	20.97	24.13	21.68	1.18	60.72	16.42	BICARBONATADA CÁLCICA

PROCESAMIENTO DE DATOS PARA RESULTADOS DE MULTIPARAMETRO Y COLIFORMES FECALES.

Para el procesamiento de datos se utilizó el Reglamento Técnico Salvadoreño (Diario Oficial N°60, Tomo N°419, de fecha 4 abril de 2018, Agua de Consumo Humano, Requisitos de Calidad e Inocuidad). Se tomaron los parámetros permisibles de PH, temperatura, Solidos Totales Disueltos, Conductividad hidráulica y Cloruro de Sodio del reglamento y se compararon con los resultados obtenidos en la campaña de realizada con el equipo multiparametro y los resultados obtenidos en laboratorio, para identificar si el agua de la zona de estudio es apta para el consumo humano.

TABLA 32. Comparación de PH obtenidos en pruebas de campo con valores permisibles establecidos en RTS

CÓDIGO	PH (DATO DE CAMPO)	REGLAMENTO	COMPARACIÓN
LEJ-01	7.138	6.8-8.5	CUMPLE
LEJ-02	6.798	6.8-8.5	CUMPLE
LEJ-03	7.168	6.8-8.5	CUMPLE
LEJ-04	6.988	6.8-8.5	CUMPLE
LEJ-05	6.934	6.8-8.5	CUMPLE
LEJ-06	6.77	6.8-8.5	CUMPLE
LEJ-07	6.816	6.8-8.5	CUMPLE
LEJ-08	7.136	6.8-8.5	CUMPLE

TABLA 33. Comparación de datos de Temperatura obtenidos en pruebas de campo con valores permisibles establecidos en RTS

CÓDIGO	TEMPERATURA (°C) (DATO DE CAMPO)	REGLAMENTO	COMPARACIÓN
LEJ-01	28.22	18 a 30	CUMPLE
LEJ-02	28.98	18 a 30	CUMPLE
LEJ-03	28.14	18 a 30	CUMPLE
LEJ-04	26.36	18 a 30	CUMPLE
LEJ-05	29	18 a 30	CUMPLE
LEJ-06	29.44	18 a 30	CUMPLE
LEJ-07	29.22	18 a 30	CUMPLE
LEJ-08	28.26	18 a 30	CUMPLE

TABLA 34. Comparación de datos de Conductividad Eléctrica obtenidos en pruebas de campo con valores permisibles establecidos en RTS

CÓDIGO	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (DATO DE CAMPO)	REGLAMENTO	COMPARACIÓN
LEJ-01	449.98	500 a 1600	NO CUMPLE
LEJ-02	591.52	500 a 1600	CUMPLE
LEJ-03	764.18	500 a 1600	CUMPLE
LEJ-04	929.64	500 a 1600	CUMPLE
LEJ-05	479.88	500 a 1600	NO CUMPLE
LEJ-06	479.3	500 a 1600	NO CUMPLE
LEJ-07	430.76	500 a 1600	NO CUMPLE
LEJ-08	628.06	500 a 1600	CUMPLE

TABLA 35. Comparación de datos de Sólidos Totales Disueltos obtenidos en pruebas de campo con valores permisibles establecidos en RTS

CÓDIGO	STD (mg/l) (DATO DE CAMPO)	REGLAMENTO	COMPARACIÓN
LEJ-01	236.2	300 A 600	NO CUMPLE
LEJ-02	341.44	300 A 600	CUMPLE
LEJ-03	395.36	300 A 600	CUMPLE
LEJ-04	490.1	300 A 600	CUMPLE
LEJ-05	251.82	300 A 600	NO CUMPLE
LEJ-06	252.14	300 A 600	NO CUMPLE
LEJ-07	226.7	300 A 600	NO CUMPLE
LEJ-08	330.2	300 A 600	CUMPLE

TABLA 36. Comparación de datos de Coliformes Fecales obtenidos en laboratorio con valores permisibles establecidos en RTS

CÓDIGO	NMP/100 mL (DATOS DE LABORATORIO)	REGLAMENTO	COMPARACIÓN
LEJ-01	170	<1.1 NMP/100 mL	NO CUMPLE
LEJ-02	Menor al 1.8	<1.1 NMP/100 mL	CUMPLE*
LEJ-05	920	<1.1 NMP/100 mL	NO CUMPLE
LEJ-06	49	<1.1 NMP/100 mL	NO CUMPLE

*para el caso de LEJ-02 aunque el valor determinado por el laboratorio está ligeramente fuera del valor permisible por RTS este fue clasificado que cumplía.

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Este apartado se muestran los resultados finales provenientes del procesamiento de los datos, es donde se cumplieron los objetivos planteados en esta investigación, ya que se presenta el mapa de recarga potencial, mapa de vulnerabilidad, el mapa de riesgo a la contaminación, el análisis físico-químico del agua.

En los anexos se encuentran detallados los diferentes tipos de mapas utilizados durante el proceso del estudio y los mapas resultantes del procesamiento de los datos recolectados para el desarrollo de esta investigación.

5.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MAPA DE RECARGA POTENCIAL

¿PARA QUE SIRVE UN MAPA DE RECARGA POTENCIAL DEL ACUÍFERO?

Un mapa de este tipo sirve principalmente para mapear los valores de recarga que están llegando al acuífero, así como también tiene su función dentro de la planificación y gestión de los recursos existentes.

Otra de las funciones que tiene un mapa de recarga es para poder estimar áreas de protección en base a zonas de mayor recarga.

Otro valor agregado de un mapa de recarga es que las municipalidades y demás instituciones públicas y privadas, hagan uso de la información generada, como

una herramienta para la planificación y toma de decisiones, incorporándola en los planes reguladores y de proyección hacia las comunidades

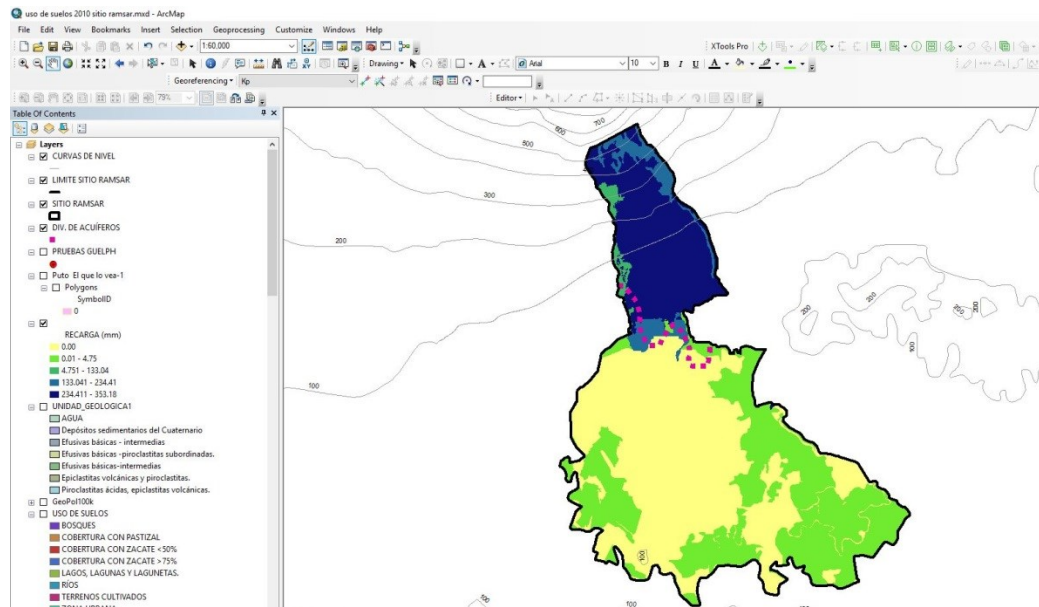


FIGURA 96. Mapa de recarga de la zona de estudio

El resultado final de la recarga potencial representado en el mapa de la zona de estudio (FIGURA 96), muestra las diferentes zonas de recarga que van desde la mayor recarga representada con el color azul hasta la que genera menos recarga representada con el color amarillo; las zonas de menor recarga pertenecen a la parte baja del Sitio Ramsar, debido a que en esta zona se encuentran materiales arcillosos de baja permeabilidad. En la parte alta se concentran materiales arenosos con alta permeabilidad por lo cual genera que en esta zona se originen los valores más altos de recarga, también es un factor influyente el hecho que la zona circundante a la laguna es una zona de descarga del acuífero por lo cual los niveles freáticos son bastante superficiales, otro factor importante que influye en los resultados es que en la parte de menor recarga el área se encuentra cubierta por bosques, pastizales y zonas cultivadas que permiten una mayor retención de la lluvia por el follaje además esta vegetación tiene

profundidades de raíz entre 3m y 5m que influyen en una mayor evapotranspiración, caso contrario en la zona de mayor recarga donde se observan suelos con menos vegetación que no influyen en la retención por follaje.

TABLA 37. Recarga acuífera de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

ZONA	RECARGA (mm/año)	Área (m ²)	Volumen (m ³ /año)
Z-1	223.95	550,003.00	123,173.17
Z-2	234.4	966,816.00	226,621.67
Z-3	353.37	6,907,037.00	2,440,739.66
Z-4	133.04	539,017.00	71,710.82
Z-5	219.34	680,728.00	149,310.88
Z-6	0	1,411,532.41	0.00
Z-7	0	7,539,401.01	0.00
Z-8	0	6,722,344.24	0.00
Z-9	4.75	13,465,049.144	63,958.98
Volumen total (m³/año)			3,075,515.19

5.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MAPA DE VULNERABILIDAD

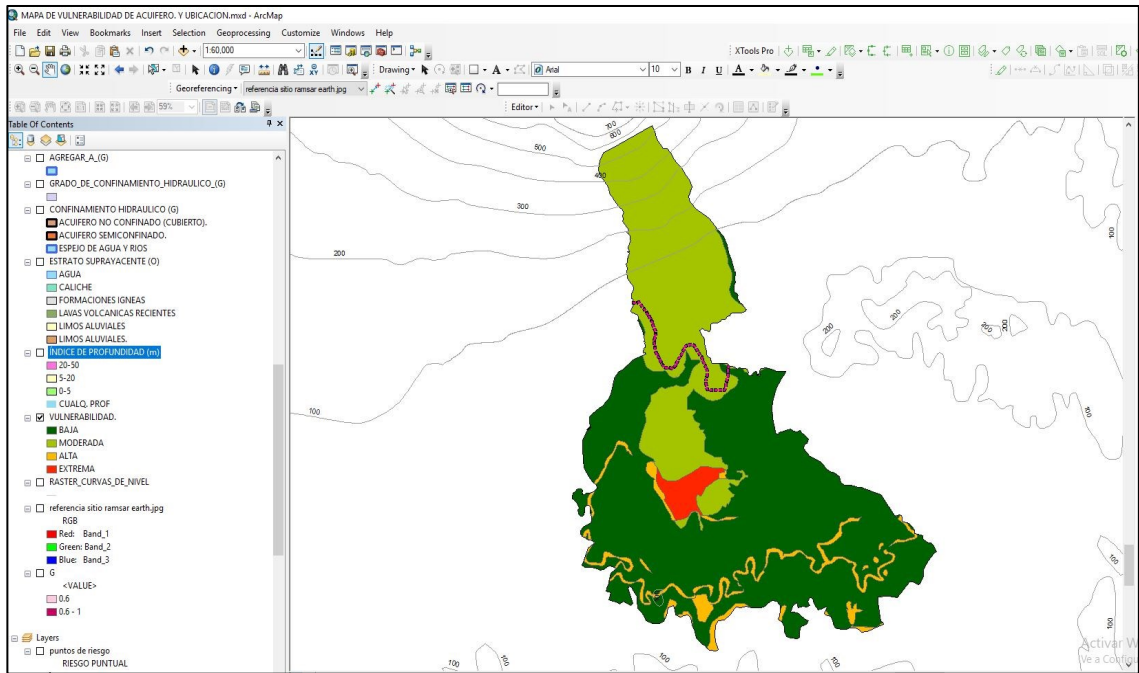


FIGURA 97. Mapa de vulnerabilidad del acuífero.

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del procesamiento de la información, en la FIGURA 97 la zona de estudio quedo dividida en cuatro partes, representado por el color rojo que describe una vulnerabilidad extrema, la cual solo se encuentra en el espejo. El color anaranjado representa una vulnerabilidad alta que predomina en la zona del rio grande de San Miguel y algunas lagunetas que se forman en la parte sur del Sitio Ramsar. Otra parte está representada por el color verde claro el cual constituye una vulnerabilidad moderada que predomina principalmente el área urbana y la parte norte conocido como la pedrera, dichas zonas se caracterizan por tener materiales muy permeables pero con profundidad al acuífero que rondan desde los 10 a 50 metros de profundidad; mientras que en un tono verde oscuro se muestran la vulnerabilidad baja que predomina la mayor parte de la zona sur,

esta condición se debe a que en la zona se caracteriza por tener materiales muy arcillosos con una permeabilidad muy baja.

5.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MAPA DE RIESGO A LA CONTAMINACIÓN.

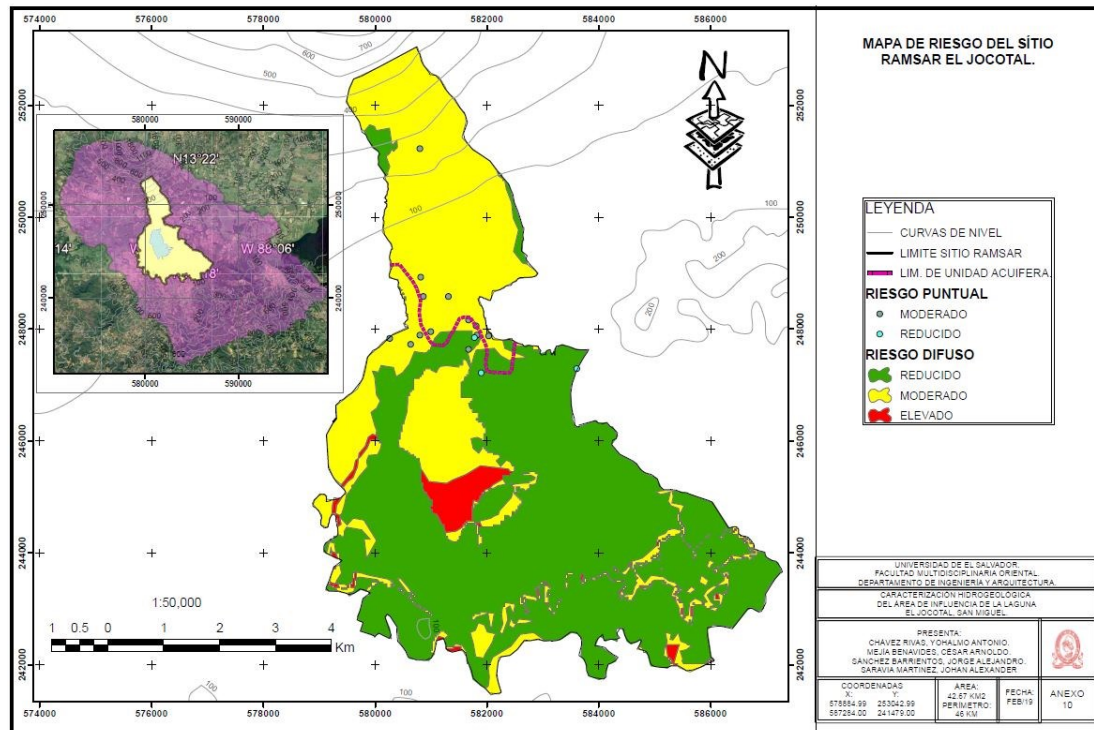


FIGURA 98. Mapa de riesgo a la contaminación de la zona de estudio

Según el resultado del procesamiento de datos en el mapa de Riesgo (FIGURA 98) La leyenda del mapa está representada en 3 colores que representan el nivel de riesgo a la que está sometida el área de estudio.

El color rojo representa un nivel de riesgo alto, basándose en las consideraciones del área que tiene las características siguientes: el nivel freático es superficial ya que es parte del espejo de agua, en la cual las actividades que se desarrollan tienen contacto directo con el agua.

El color amarillo representa un nivel de riesgo moderado, este régimen de riesgo se observa principalmente por actividades que se desarrollan tales como: extracción de materiales pétreos (disminución de la capa de amortiguamiento), desintegración de materiales orgánicos (estopas de coco, botadero a cielo abierto), también se encuentran actividades de uso de agroquímicos y la zona urbana que no cuenta con una red de alcantarillado de aguas residuales.

El color verde representa un nivel de riesgo reducido en la que la actividad humana se desarrolla poco ya que son zonas principalmente de bosques y la zona de amortiguamiento de la laguna en la que se encuentra plantaciones de carrizo.

LIMITACIONES DEL MÉTODO POSH

El método no toma en cuenta la degradación y transformación in situ de cada sustancia involucrada, por lo tanto no contempla el tiempo que esta carga contaminante necesita para llegar al acuífero.

Otro factor importante dentro de las limitaciones del método es que las cargas contaminantes se establecen en base a características cualitativas y no cuantitativas, por ende no se establece una relación directa entre el tipo de contaminante y su capacidad de afectar el acuífero.

El método no establece una línea histórica de cada contaminante en la metodología por tanto el contaminante solo es tomado de una manera estática y no dinámica a lo largo del tiempo.

Difícilmente se pueden mapear actividades pasadas que ya no se desarrollan pero que pueden continuar afectando el acuífero.

5.3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS FÍSICOS-QUÍMICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA
ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DIAGRAMA DE PIPER

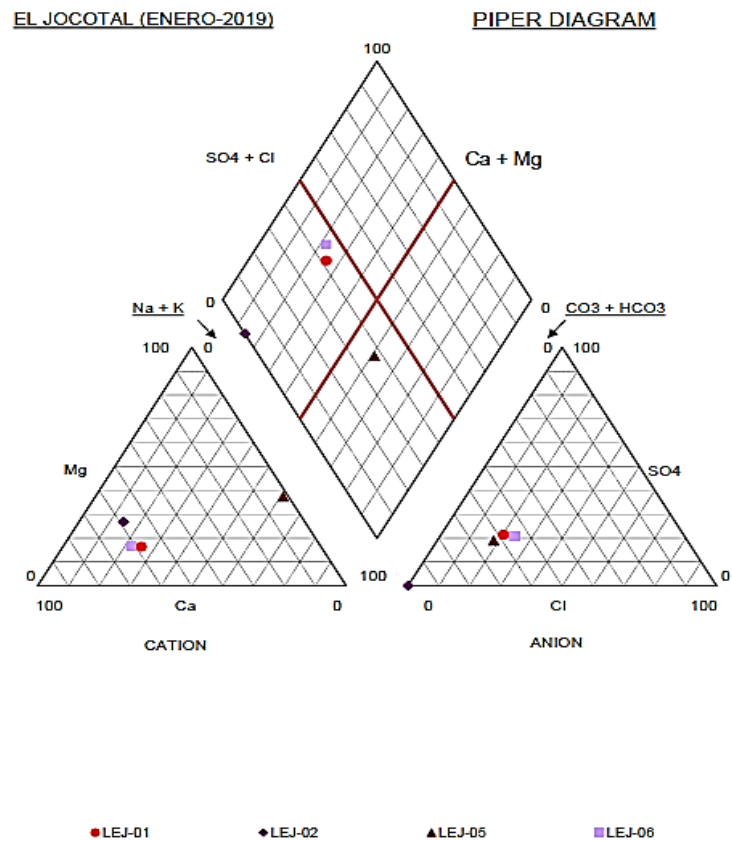


FIGURA 99. Diagrama de Piper de los pozos de monitoreo

En la (FIGURA 99) se presentan el diagrama de Piper modelado por el Software Easy Quim, según este diagrama podemos observar que para los cuatro pozos analizados en el Sitio Ramsar y apoyándonos en la (FIGURA 19) determinamos que tres de los pozos caen en la clasificación a las aguas Bicarbonatadas cálcicas y unos de los pozos muestreados se clasifica como agua Bicarbonatada Sódica.

En el pozo LEJ-01 se obtuvieron valores de bicarbonatos del 99.29% y calcio del 57.24% por lo que se clasifica como agua bicarbonatada cálcica.

El LEJ-02 se obtuvieron valores de bicarbonatos del 99.88% y calcio del 57.21% por lo que se clasifica como agua bicarbonatada cálcica.

El LEJ-05 se obtuvieron valores de bicarbonatos del 62.73% y sodio del 59.50% por lo que se clasifica como agua bicarbonatada sódica.

El LEJ-06 se obtuvieron valores de bicarbonatos del 54.90% y calcio del 60.72% por lo que se clasifica como agua bicarbonatada cálcica.

5.3.4.1.1 ORIGEN DE LOS IONES MAYORITARIOS EN EL AGUA

ANHÍDRIDO CARBONATOS Y BICARBONATOS

El CO_2 disuelto en agua procede fundamentalmente de la zona edáfica (respiración de organismos y descomposición de la materia orgánica) en la que alcanza presiones parciales del orden de 10^{-1} a 10^{-3} bar. ($0,0003$ bar en la atmósfera exterior)

La disolución de calizas y dolomías. Potenciada por el aporte de CO_2 y/o ácidos orgánicos o inorgánicos. es otra de las fuentes principales de carbonatos y bicarbonatos. Aunque con velocidades de incorporación al agua mucho menores, la hidrólisis de silicatos es otro de los mecanismos que da lugar a la formación de estos iones.

ION CALCIO

El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos. Especialmente en el grupo de las plagioclasas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato: CaCO_3 (calcita y aragonito), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita) o de sulfato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) o CaSO_4 (anhidrita).

ION SODIO

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl .

Las sales de Na^+ son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación como ocurre en el caso del Ca^{++} . Sin embargo, el Na^+ puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado por Ca^{++} provocando una disminución de la dureza de las aguas (ablandamiento natural).

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MULTIPARAMETRO Y COLIFORMES FECALES.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PH

En los resultados obtenidos se puede apreciar que los valores de PH oscilan entre 6.77 y 7.16. Apoyándose de la (FIGURA 18), se puede determinar que el agua del acuífero de la zona de estudio está clasificada como agua neutra en la escala del PH.

Según el **Reglamento Técnico Salvadoreño “Agua de Consumo Humano, Requisitos de Calidad e Inocuidad”** (RTS) establece que los valores de PH permisibles para el consumo deben estar entre los rangos de 6.8 a 8.5. El cuál de los pozos monitoreados durante el proceso, 7 están dentro de estos rangos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TEMPERATURA (°C)

Durante el monitoreo con el equipo multiparámetros se obtuvieron valores de temperatura que van desde los 26.36 °C a los 29.44 °C, Lo cual según el **Reglamento Técnico Salvadoreño (Agua de Consumo Humano, Requisitos de Calidad e Inocuidad)**, los valores de temperatura actos para el consumo humano deben estar en un rango de 18 °C a 30°C.

Se determinó que el agua subterránea cumple con los parámetros establecidos en el RTS.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)

El medidor de multiparámetros generó valores de conductividad eléctrica que oscilan entre 430.76 a 929.67 µS/cm. Según el RTS, los valores de conductividad permisibles para el consumo humano deben de estar dentro del rango de los 500 a los 1600 µS/cm. Cuatro de los ocho pozos monitoreados cumplieron con los parámetros requeridos

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD)

Se obtuvieron valores mínimos de STD de 226.70 mg/L y como valores máximos de 490.10, los cuales el RTS indica un rango permisible entre 300 y

600 mg/L. Cuatro de los ocho pozos monitoreados cumplieron con los parámetros requeridos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE COLIFORMES FECALES

En este apartado se realizaron análisis de laboratorio en cuatro pozos de la red de monitoreo, de los cuales se obtuvieron datos de tres pozos con valores de 49 hasta 920 NMP/100 ml, lo que nos indica que no cumple con el rango permisible establecido por RTS que debe de ser < 1.1 NMP/100 ml. Mientras tanto los datos del pozo LEJ-02 cumplen según recomendación del laboratorio encargado de realizar las pruebas, ya que se obtuvo un valor menor a 1.8 NMP/100 ml.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- a) La recarga acuífera potencial en la zona, calculada a través de la metodología de Gunther Schosinsky & Losilla dio como resultado un valor máximo de 353.18 mm/año en la zona, esto se debe a que la capacidad de infiltración del material de esta área es alta.
- b) El análisis de volumen de recarga refleja que en la actualidad el acuífero está recargando **3,075,515.19 m³**.
- c) En el perímetro que rodea La Laguna El Jocotal la recarga es cero, esta condición se debe a que esta zona es considerada como zona de descarga. Además los materiales que constituyen la zona vadosa de esta área son principalmente arcillas con una capacidad de infiltración muy baja.
- d) Cabe señalar que el Sitio Ramsar está muy poco poblado, pero en los últimos años debido al crecimiento poblacional, en este sitio han comenzado a aumentar el área urbanizada que impermeabilizan el suelo, esto genera una preocupación porque a medida que se impermeabilice el suelo el acuífero recibirá un menor volumen de recarga, generando un déficit en la producción del acuífero.

- e) Otra amenaza que surge en base al crecimiento poblacional en la zona es el impacto contaminante que puede generar un mayor asentamiento poblacional en el área de mayor importancia en la recarga.

- f) En el resultado del mapa de vulnerabilidad que se obtuvo mediante la implementación de la metodología GOD, se puede apreciar que el Sitio Ramsar está sometido a cuatro categorías dentro del índice de vulnerabilidad que define dicho método, siendo esta vulnerabilidad baja, moderada, alta y extrema, lo que indica que en la parte donde existe vulnerabilidad moderada el acuífero se podría contaminar por lixiviados o por descargas continuas de contaminantes, en cuanto a la parte de vulnerabilidad alta y extrema es lógico pensar que será más susceptible de contaminar por lo tanto es conveniente tener en cuenta esto, para tomar decisiones que protejan el acuífero.

- g) En la parte norte se observa una vulnerabilidad moderada, pero esta condición puede cambiar a futuro ya que la actividad de extracción de material pétreo puede disminuir el espesor de la zona vadosa pudiendo aumentar a una vulnerabilidad alta o extrema dependiendo de la intensidad que se siga desarrollando esta actividad.

- h) La caracterización Físico-químico del acuífero (pozos excavados), realizada a través de los diagramas de Piper, dan como resultado que el tipo de agua del acuífero es Bicarbonatada Cálcica y Bicarbonatada Sódica,

- i) Los resultados obtenidos en la campaña de multiparametro, demuestran que el agua del acuífero no es apta para el consumo humano, debido a que no cumple en su totalidad con la calidad establecidos en el Reglamento

Técnico Salvadoreño (Agua de Consumo Humano, Requisitos de Calidad e Inocuidad).

- j)** En base a los resultados obtenidos, en la zona norte, donde la recarga tiene un valor de 353.18 mm/año el Riesgo es moderado, por lo cual la probabilidad de que una carga contaminante generada por la actividad humana puede ocasionar un impacto grave en el acuífero.

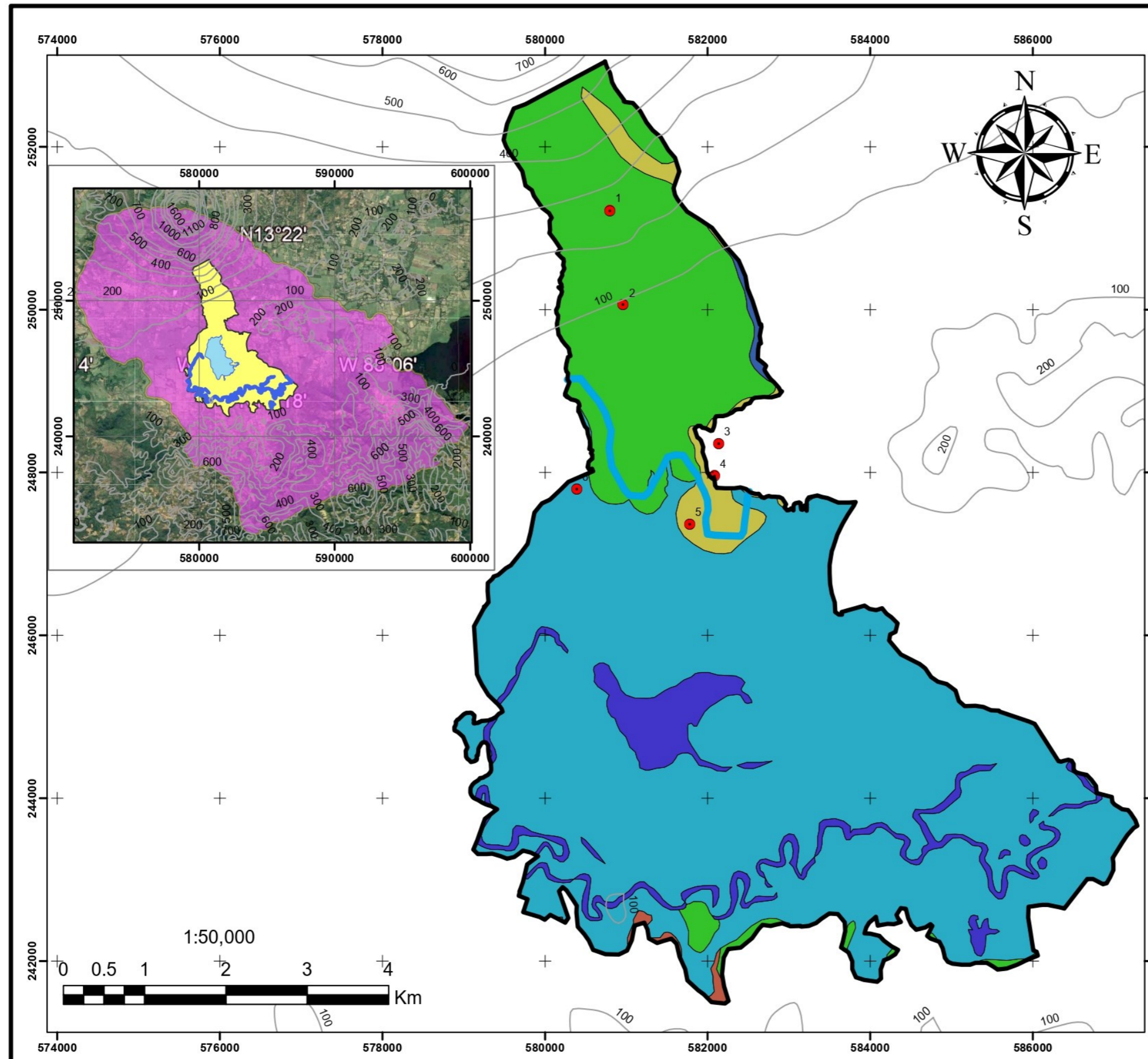
6.2 RECOMENDACIONES

- a) Evaluar y caracterizar el régimen de explotación de material volcánico que se realiza en la zona alta del Sitio Ramsar para que las entidades correspondientes puedan establecer un plan de manejo y restricción; de esta manera poder proteger el acuífero debido a la degradación del suelo.
- b) En las áreas con mayor capacidad de recarga, se deben evitar todas aquellas actividades que impermeabilicen el suelo y actividades que generen cargas contaminantes.
- c) Continuar el monitoreo de niveles piezométricos del acuífero con periodos más extensos tanto como para época seca y lluviosa, para establecer una serie histórica del comportamiento del acuífero.
- d) Que por parte de las entidades correspondientes puedan implantar un plan de manejo de restricción y recolección de basura ya que no se cuenta con ninguno y afecta directamente a la contaminación en las zonas de mayor recarga en el Sitio Ramsar.
- e) Hacer análisis físico-químicos periódicamente al agua subterránea, para determinar el estado y la evolución de las condiciones de estas, que permitan tomar medidas para mejorar o mantener la calidad del agua, para que esta sea apta para el consumo humano.
- f) Debido a las altas concentraciones de coliformes fecales detectados en los pozos, se recomienda diseñar un plan de manejo integral de las aguas servidas que incluya aspectos de vertidos directos, letrinización y lavaderos.

- g) Para futuros pozos de abastecimiento para la comunidad tomar en cuenta el diseño de un perímetro de protección, que comprenda la restricción del uso del suelo en el área.
- h) Realizar un inventario de todos los pozos existentes en el área, determinar las condiciones de uso de cada uno de ellos, así como también tomar acciones como sellar aquellos pozos que están en desuso ya que estos son medios directos para la contaminación del acuífero.
- i) En las zonas de actividad agrícola monitorear el uso de agroquímicos, reemplazarlos por productos de origen biológico que son más amigables con el medio ambiente.
- j) Realizar campañas educativas para lograr actitudes positivas hacia la conservación del agua.
- k) Realizar tratamiento previo a la distribución del agua en los 2 pozos de abastecimiento con los que cuenta la comunidad.
- l) A la administración municipal, en base a este documento tomar medidas para la protección del acuífero impulsando medidas que vallan dirigidas a la vigilancia y ampliar la recolección de desechos a esta área, para el área de extracción de material pétreo implementar planes para que este recurso no sea sobreexplotado.
- m) A la administración municipal, abstenerse de extender permisos para uso habitacional en la parte norte donde se considera la zona de amortiguamiento del acuífero y donde se da la mayor recarga.
- n) A la administración municipal, se recomienda la elaboración de una ordenanza municipal especial que integre acciones en base a esta y otras investigaciones que conlleven a la preservación del recurso disponible en el Sitio Ramsar.

- o) En base al volumen de recarga de **3, 075,515.19**. se recomienda para futuras investigaciones estudiar el volumen de agua que sale del sistema y poder hacer una proyección para utilizar el recurso de manera sostenible.

ANEXOS



MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Fuente: MARN.

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- DIV. DE ACUÍFEROS
- PRUEBAS GUELPH
- AGUA
- Depósitos sedimentarios del Cuaternario
- Efusivas básicas - intermedias
- Efusivas básicas -piroclastitas subordinadas.
- Efusivas básicas-intermedias
- Epiclastitas volcánicas y piroclastitas.
- Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.

Nº	COORDENADAS		INFILTRACIÓN BASICA (mm/dia)
	X	Y	
1	580795.79	251209.74	6168.96
2	580962.87	250057.76	6168.96
3	582128.28	248360.18	40.61
4	582077.19	247961.72	36.63
5	581787.71	247365.73	48.82
6	560384.59	247794.85	24.45

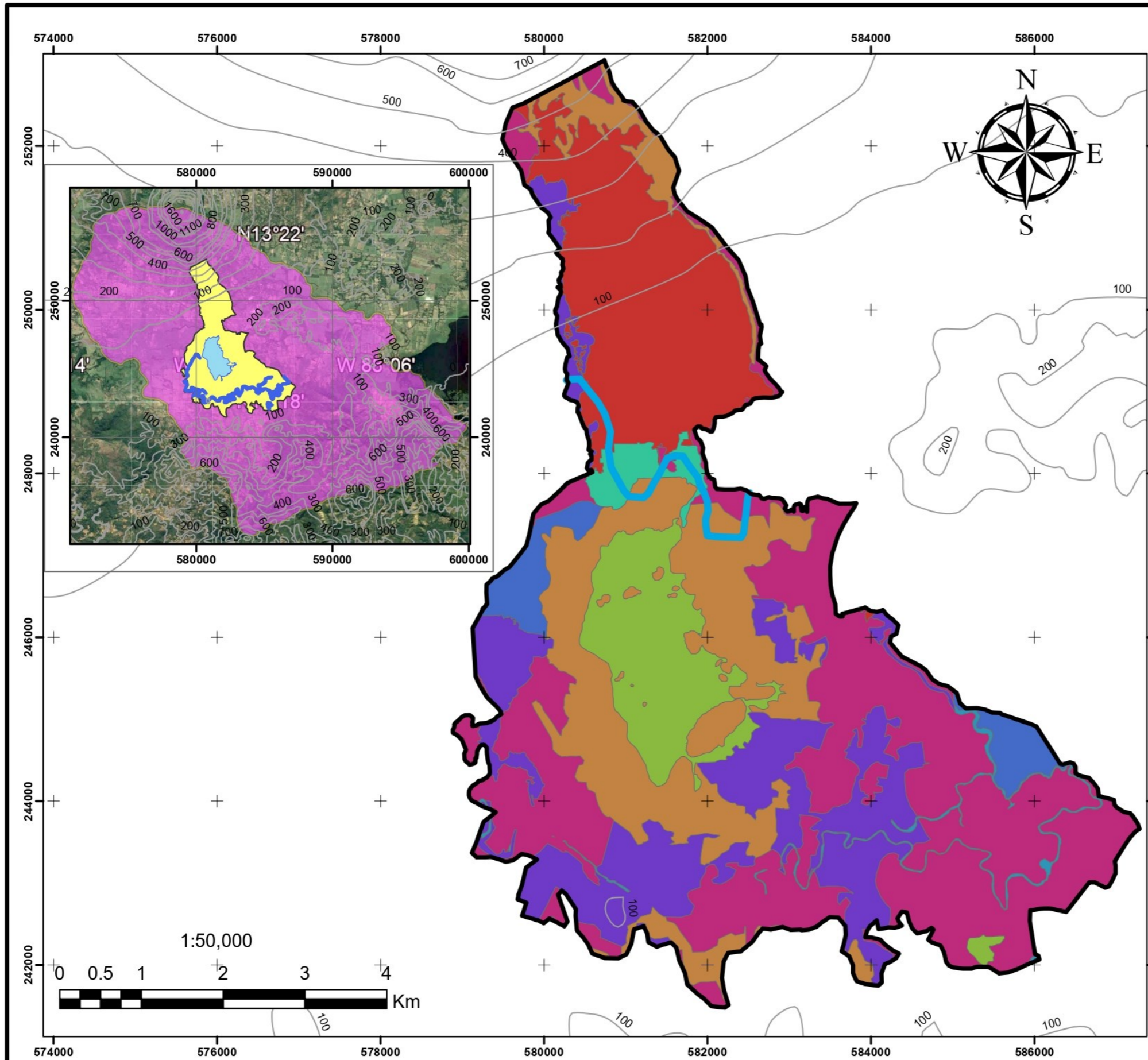
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA
EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

PRESENTA:
CHÁVEZ RIVAS, YOHANMO ANTONIO.
MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.
SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.
SARAVIA MARTÍNEZ, JOHAN ALEXANDER



COORDENADAS X: 578884.99 Y: 253042.99 587284.00 241479.00	ÁREA: 42.67 KM2 PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	ANEXO 1
--	---	------------------	--------------------



MAPA DE USO DE SUELOS.

Fuente: PROYECTO JICA 2010

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- DIV. DE ACUÍFEROS
- USO DE SUELOS**
- BOSQUES
- COBERTURA CON PASTIZAL
- COBERTURA CON ZACATE <50%
- COBERTURA CON ZACATE >75%
- LAGOS, LAGUNAS Y LAGUNETAS.
- RÍOS
- TERRENOS CULTIVADOS
- ZONA URBANA

USO DE SUELO	ÁREA (Km ²)
BOSQUES	7.26
COBERTURA CON PASTIZAL	8.51
COBERTURA CON ZACATE <50%	7.59
COBERTURA CON PASTIZAL >75%	1.41
LAGOS, LAGUNAS, LAGUNETAS	3.55
RÍOS	0.35
TERRENOS CULTIVADOS	14.02
ÁREA TOTAL	42.69

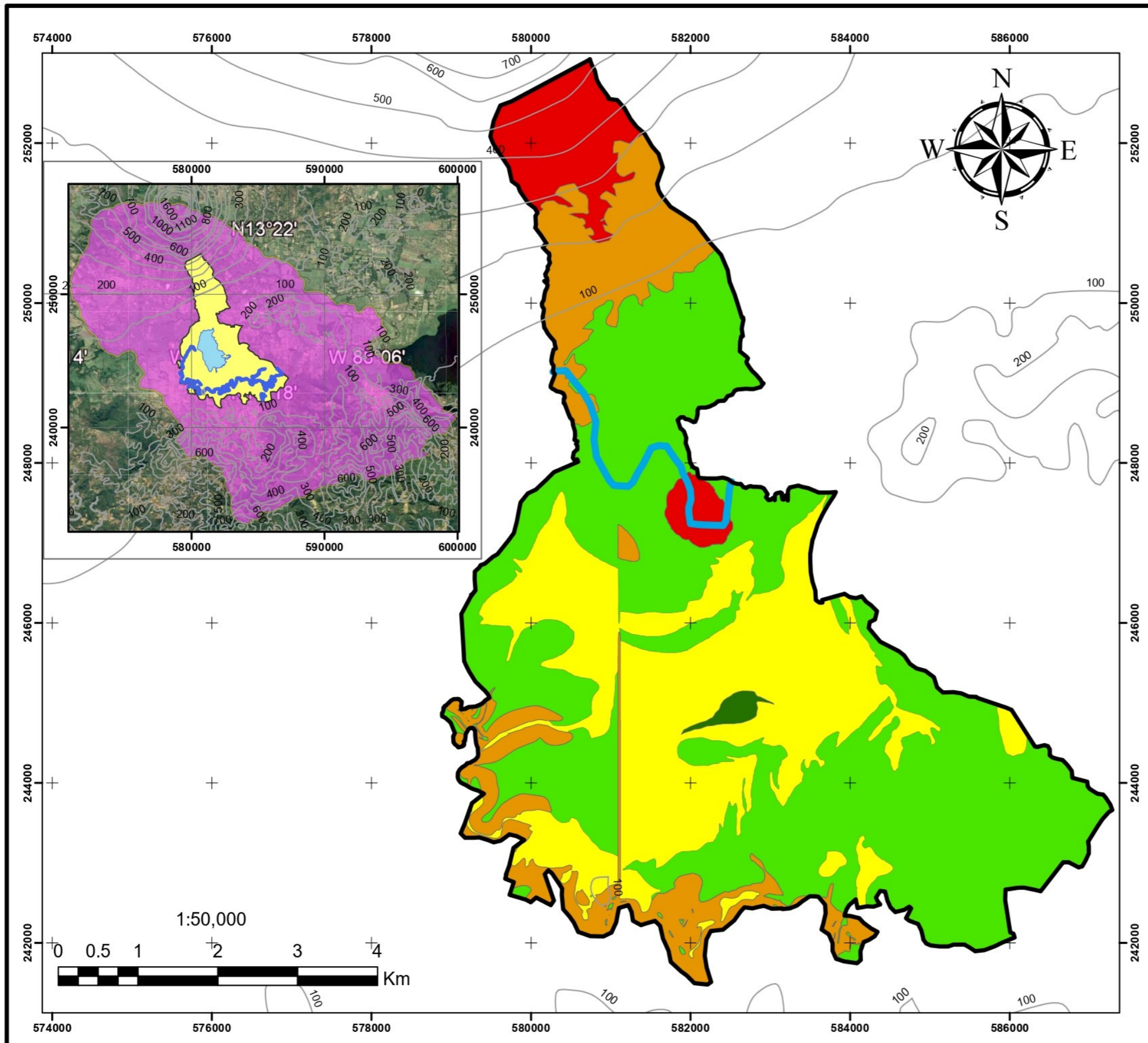
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA
EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

PRESENTA:
CHÁVEZ RIVAS, YOHANMO ANTONIO.
MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.
SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.
SARAVIA MARTÍNEZ, JOHAN ALEXANDER



COORDENADAS	ÁREA:	FECHA:	ANEXO 2
X: 578884.99	42.67 KM ²	FEB/19	
Y: 253042.99	PERÍMETRO:		
587284.00	46 KM		



MAPA DE PENDIENTES.

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- DIV. DE ACÚIFEROS
- MUY PLANA
- ALGO PLANA
- PLANA
- PROMEDIO
- FUERTE

Componentes del coeficiente de infiltración (Schosinsky & Losilla, 2000).

POR PENDIENTE	PENDIENTE	Kp
MUY PLANA	0.02%-0.06%	0.3
PLANA	0.3%-0.4%	0.2
ALGO PLANA	1%-2%	0.15
PROMEDIO	2%-7%	0.1
FUERTE	MAYOR DE 7%	0.06

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

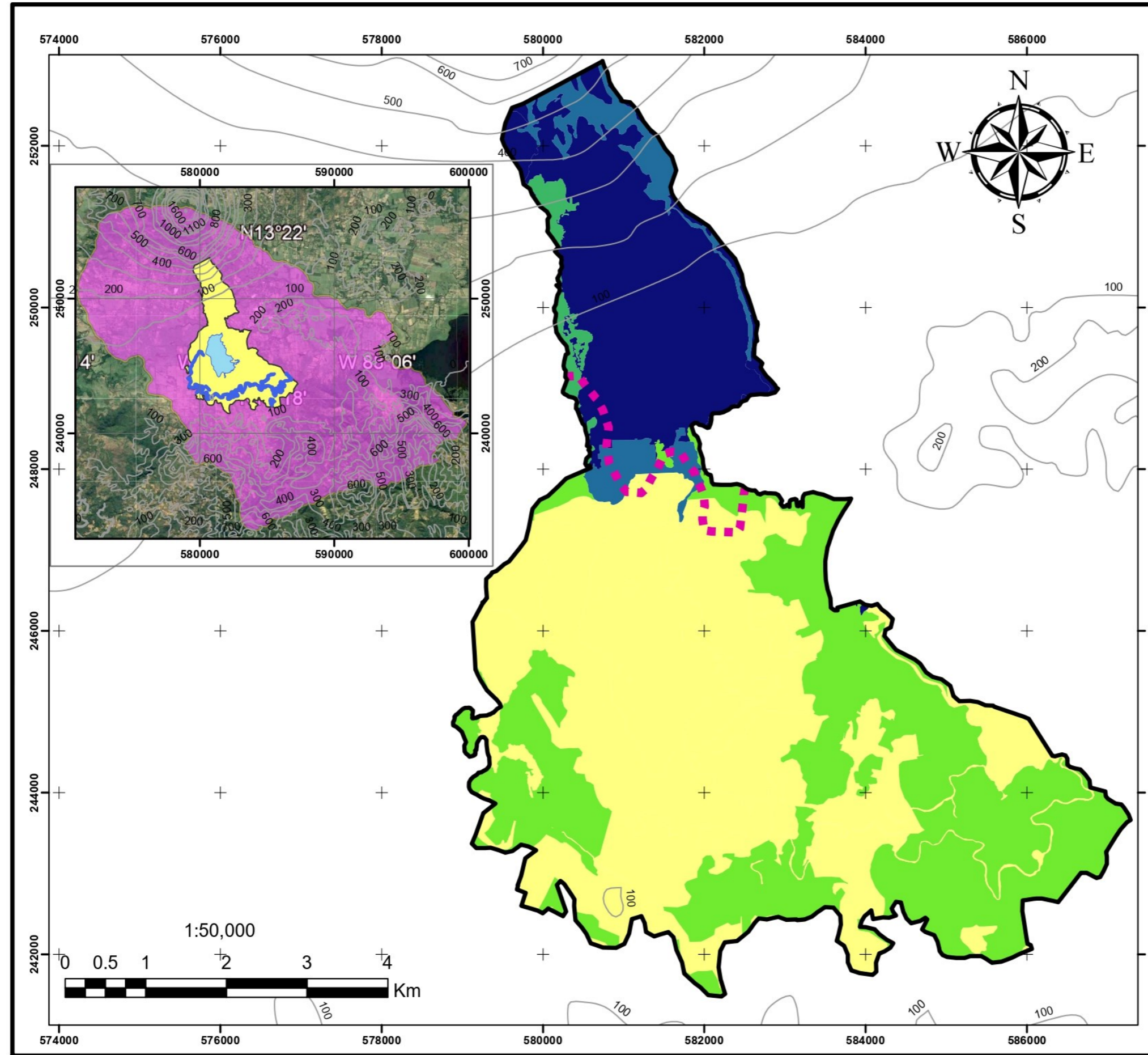
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
 DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA
 EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

PRESENTA:
 CHÁVEZ RIVAS, YOHANMO ANTONIO.
 MEJIA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.
 SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.
 SARAVIA MARTÍNEZ, JOHAN ALEXANDER



COORDENADAS X: 578884.99 Y: 253042.99	ÁREA: 42.67 KM2 PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	ANEXO 3
---	---	------------------	--------------------

MAPA DE RECARGA ACUÍFERA POR MEDIO DE METODOLOGÍA SCHOSINSKY

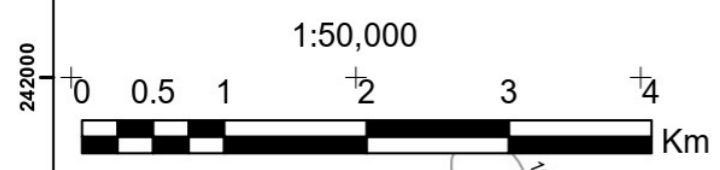


LEYENDA

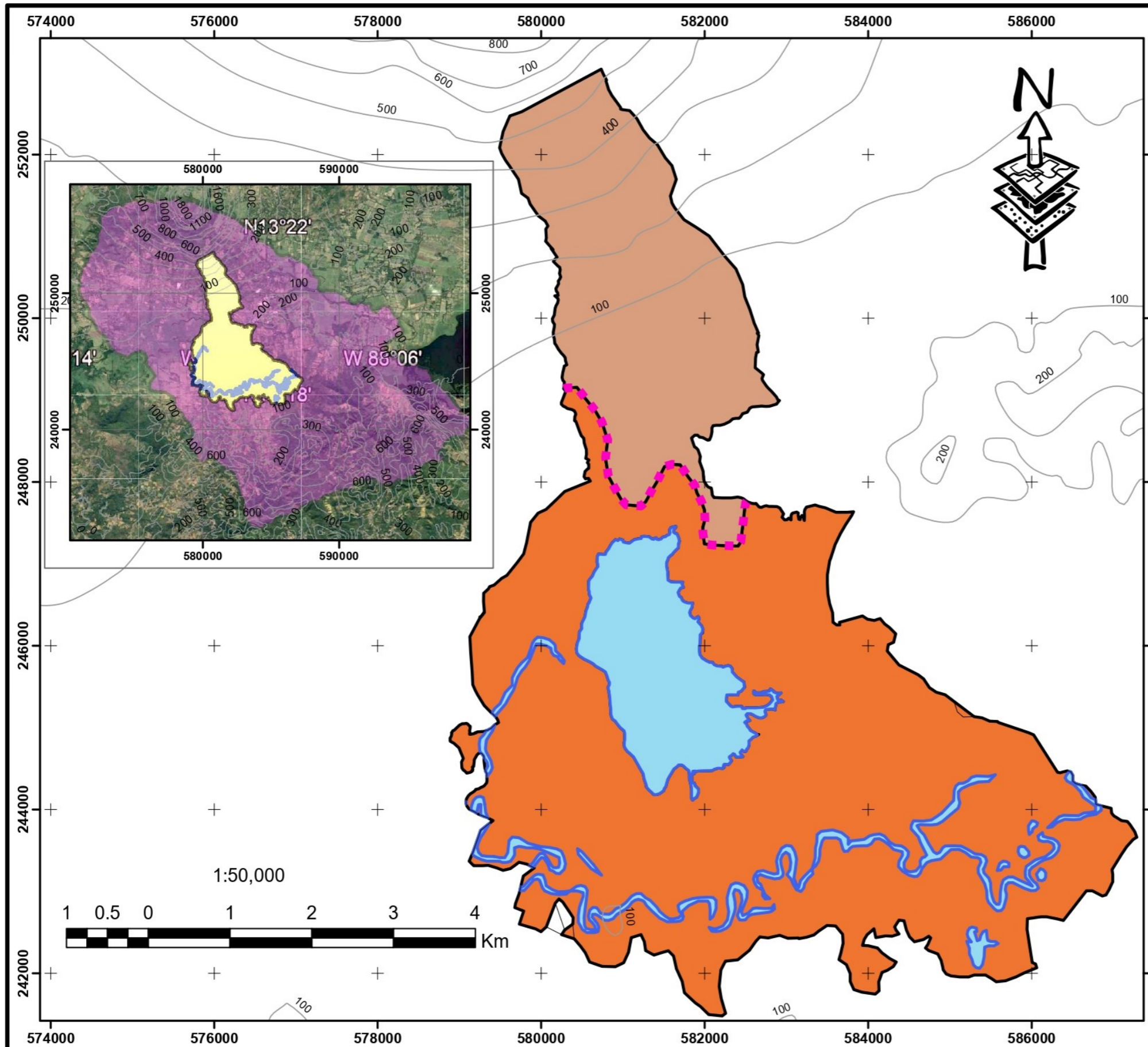
- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- DIV. DE ACUÍFEROS

RECARGA (mm)

- 0.00
- 0.01 - 4.75
- 4.751 - 133.04
- 133.041 - 234.41
- 234.411 - 353.18



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.			
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.			
PRESENTA: CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO. MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO. SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO. SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER			
COORDENADAS X: 578884.99 587284.00	Y: 253042.99 241479.00	ÁREA: 42.67 KM ² PERÍMETRO: 46 KM	
			ANEXO 4



MAPA DE GRADO DE CONFINAMIENTO HIDRÁULICO (G)

Fuente: MARN.

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- DIV. DE ACUÍFEROS

CONFINAMIENTO HIDRÁULICO (G)

- ACUÍFERO NO CONFINADO (CUBIERTO).
- ACUÍFERO SEMICONFINADO.
- ESPEJO DE AGUA Y RÍOS

UNIDAD ACUÍFERA	DESCRIPCIÓN
ACUÍFERO CUBIERTO (NO CONFINADO)	Esta unidad la constituye, principalmente, rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Entre las rocas volcánicas se pueden distinguir flujos y coladas de lavas que provienen de los centros de erupción volcánica. Dichos materiales pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a altas, como consecuencia de su porosidad secundaria (fallecimiento existente)
ACUÍFERO SEMICONFINADO	Los materiales de esta unidad consisten principalmente en materiales piroclásticos aglomerados y retrabajados (pómez, lapilli, tobas), teniendo una distribución granulométrica que varía de fina a gruesa. Las conductividades hidráulicas pueden variar de medias a bajas, como consecuencia el grado de cementación o compactación que pueden tener los granos de los materiales que la constituye. Esta unidad puede tener más de 50 m de espesor.

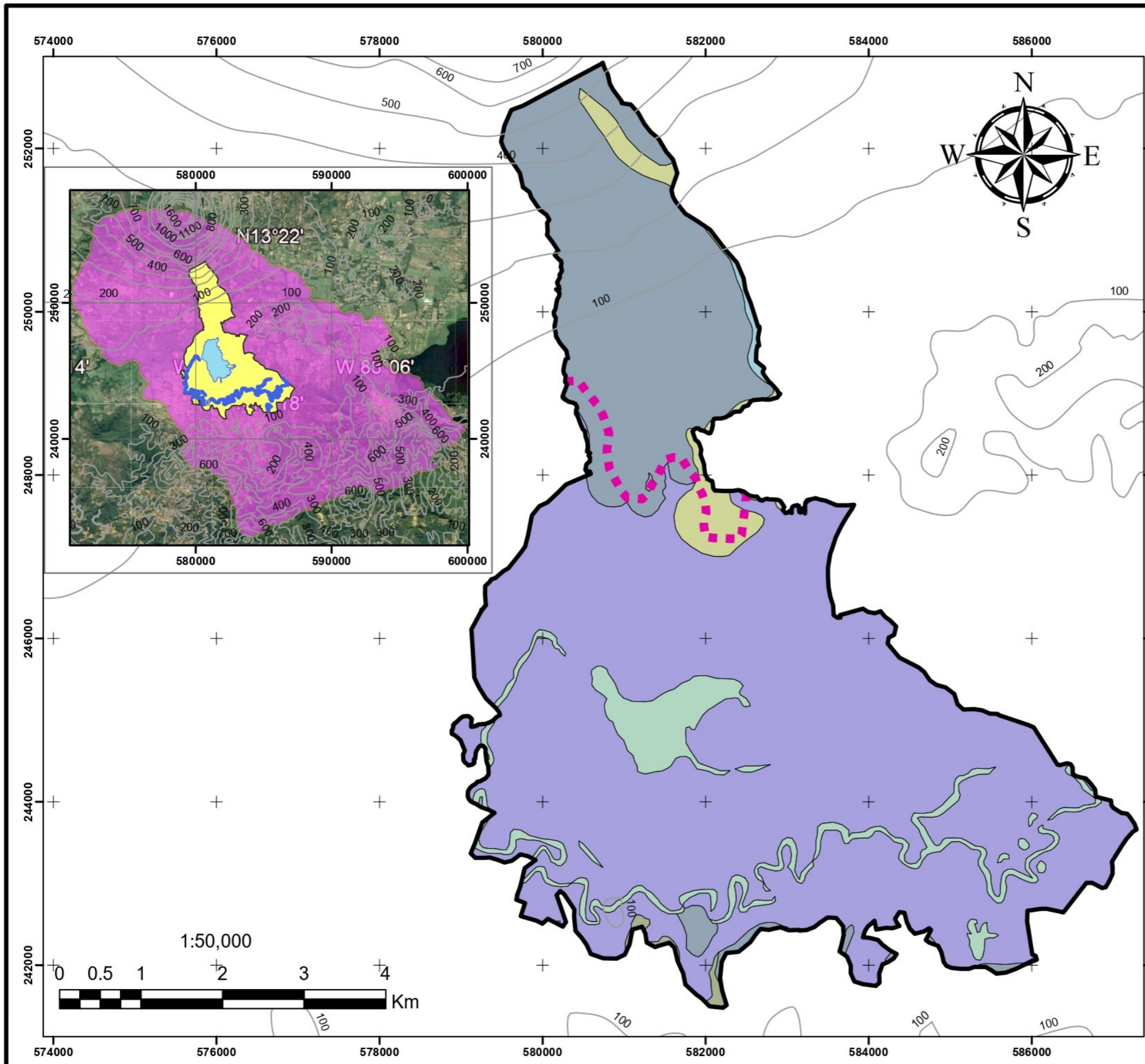
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA
DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA
EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

PRESENTA:
CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO.
MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.
SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.
SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER



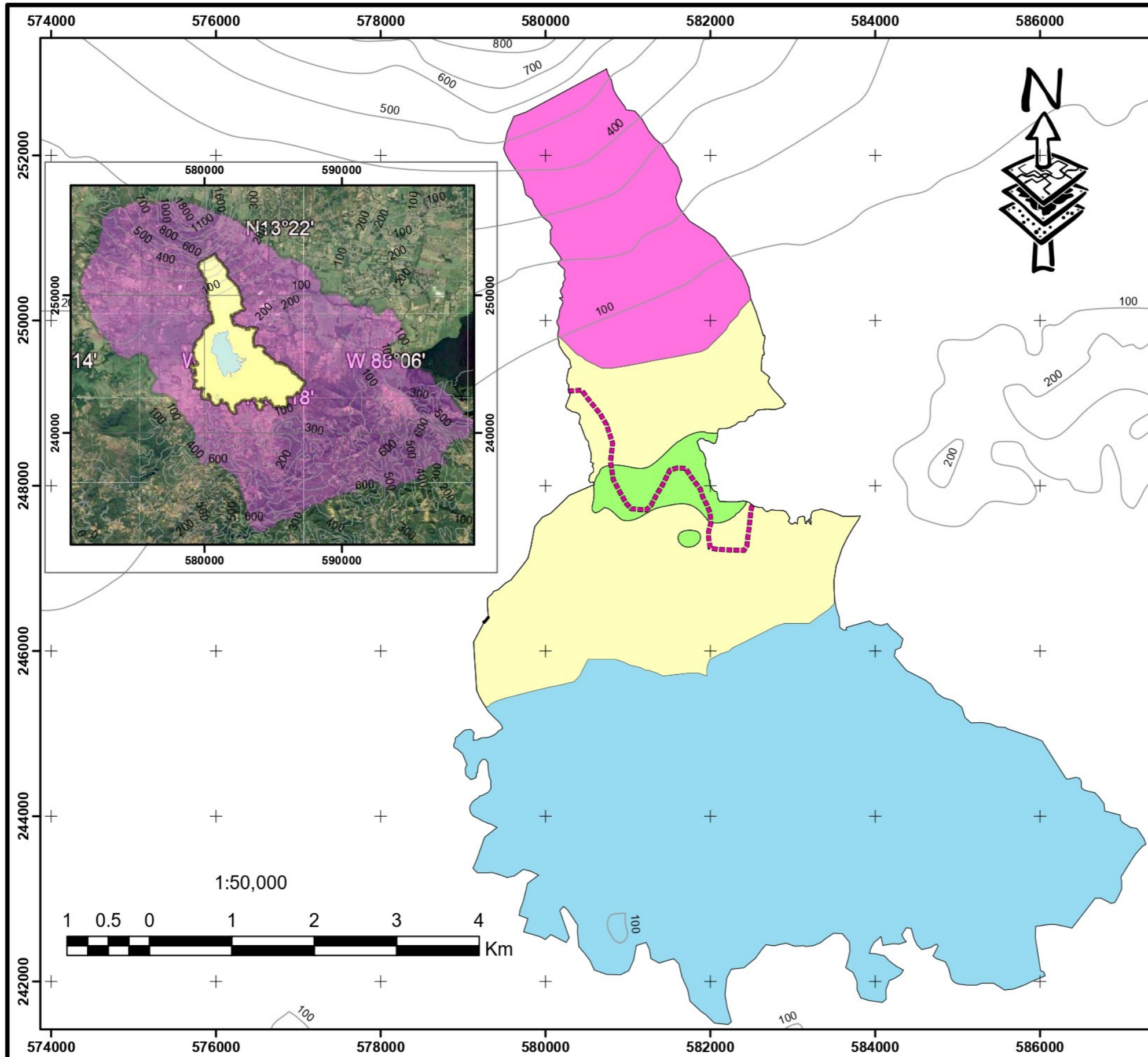
COORDENADAS X: 578884.99 587284.00	Y: 253042.99 241479.00	ÁREA: 42.67 KM2 PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	ANEXO 5
---	------------------------------	---	------------------	------------



MAPA DE OCURRENCIA DEL SUSTRATO SUPRAYACENTE (O)

- LEYENDA**
- CURVAS DE NIVEL
 - LIMITE SITIO RAMSAR
 - DIV. DE ACUÍFEROS
 - AGUA
 - Depósitos sedimentarios del Cuaternario
 - Efusivas básicas - intermedias
 - Efusivas básicas -piroclastitas subordinadas.
 - Efusivas básicas-intermedias
 - Epiclastitas volcánicas y piroclastitas.
 - Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL. DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.			
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.			
PRESENTA: CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO. MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO. SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO. SARAVIA MARTÍNEZ, JOHAN ALEXANDER			
COORDENADAS X: 578884.99 Y: 253042.99	ÁREA: 42.67 KM2 PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	



MAPA DE DISTANCIA AL NIVEL FREÁTICO

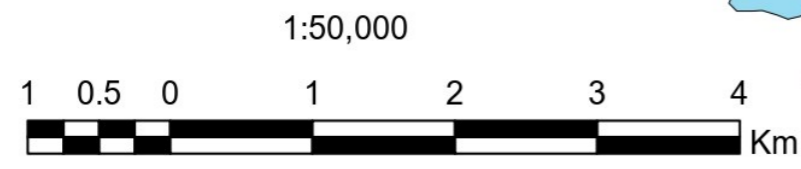
LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- - - LIM. DE UNIDAD ACUIFERA.

ÍNDICE DE PROFUNDIDAD (m)

- 20-50
- 5-20
- 0-5
- CUALQ. PROF

PROFUNDIDAD	INDICE
CUALQUIER PROFUNDIDAD	1
<5m	0.9
5m-20m	0.8
20m-50m	0.7
>50m	0.6

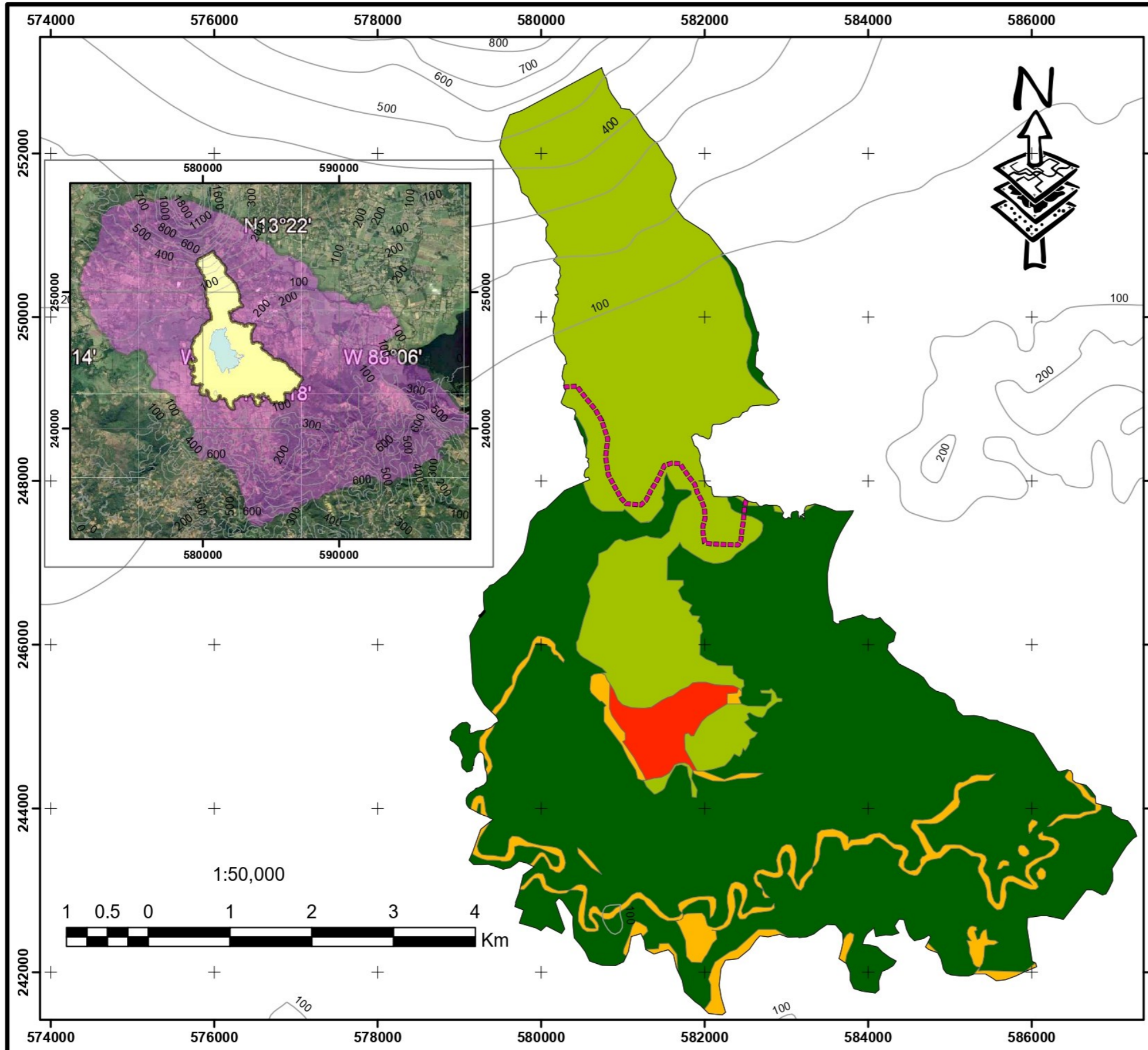


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
 DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA
 EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

PRESENTA:
 CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO.
 MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.
 SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.
 SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER

COORDENADAS X: 578884.99 Y: 253042.99 587284.00 241479.00	ÁREA: 42.67 KM2 PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	ANEXO 7
---	---	------------------	-------------------



MAPA DE VULNERABILIDAD INTRÌNSECA DEL ACUÌFERO SOMERO MEDIANTE METODOLOGÌA GOD

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- LIM. DE UNIDAD ACUIFERA.

VULNERABILIDAD.

- BAJA
- MODERADA
- ALTA
- EXTREMA

DEFINICIÓN PRÁCTICA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS		factor de riesgo
CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICION CORRESPONDIENTE	
EXTREMA	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.	5
ALTA	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.	4
MODERADA	Vulnerable a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.	3
BAJA	Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.	2
DESPRECIABLE	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.	1

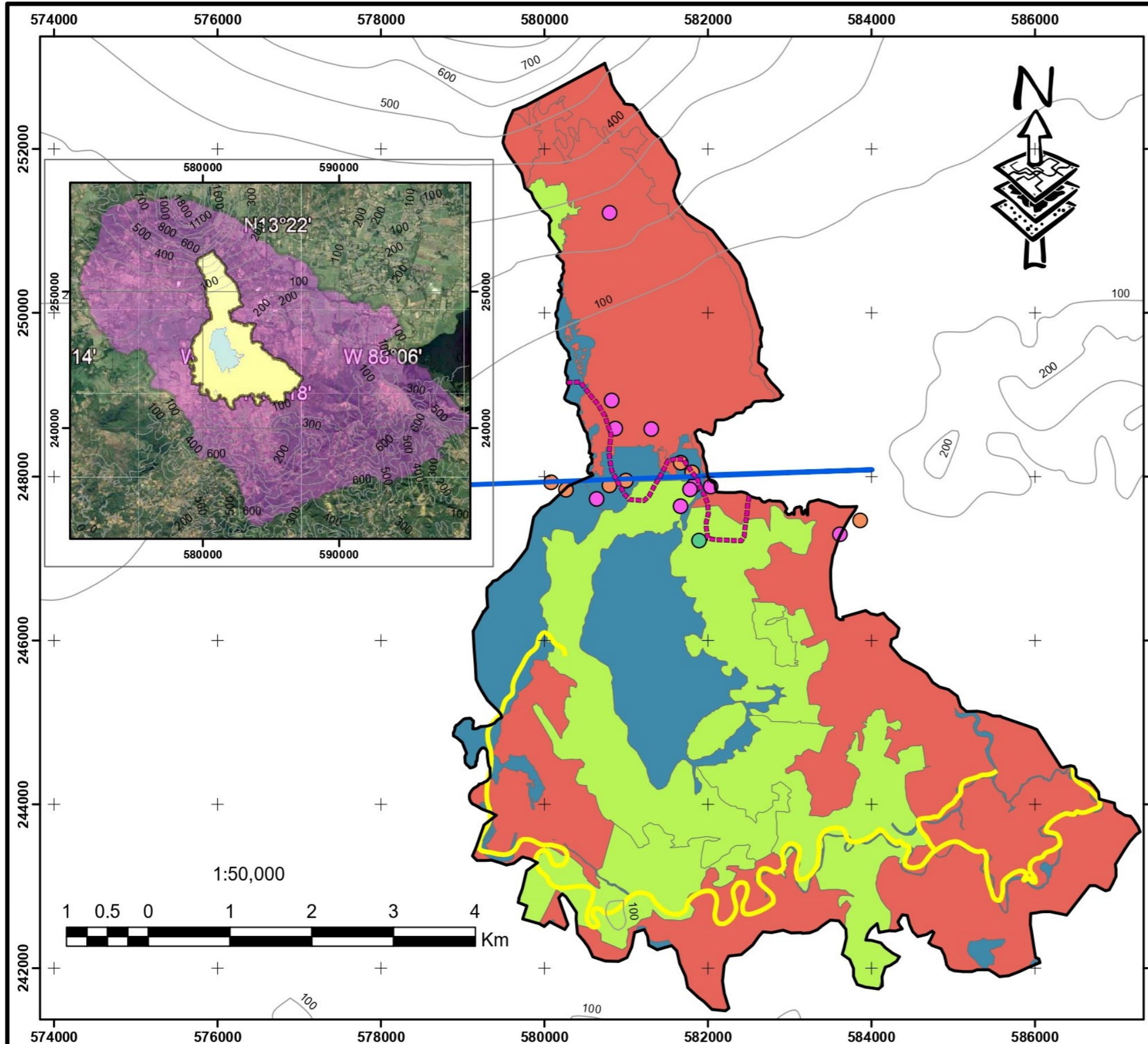
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLOGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

PRESENTA:
 CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO.
 MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.
 SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.
 SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER



COORDENADAS X: 578884.99 Y: 253042.99	ÁREA: 42.67 KM2 PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	ANEXO 8
---	---	------------------	------------



MAPA DE FUENTES CONTAMINANTES PUNTUALES, LINEALES Y DIFUSAS

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- LIM. DE UNIDAD ACUIFERA.

LINEAS DE RIESGO

FUENTES LINEALES DE CONTAMINACIÓN

- ELEVADO
- INTERMEDIO

FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN

- ELEVADO
- INTERMEDIO
- REDUCIDO

FUENTES DIFUSAS DE CONTAMINACIÓN

- REDUCIDO
- INTERMEDIO
- ELEVADO

CARGA CONTAMINANTE	FACTOR
REDUCIDO	1
INTERMEDIO	2
ELEVADO	3

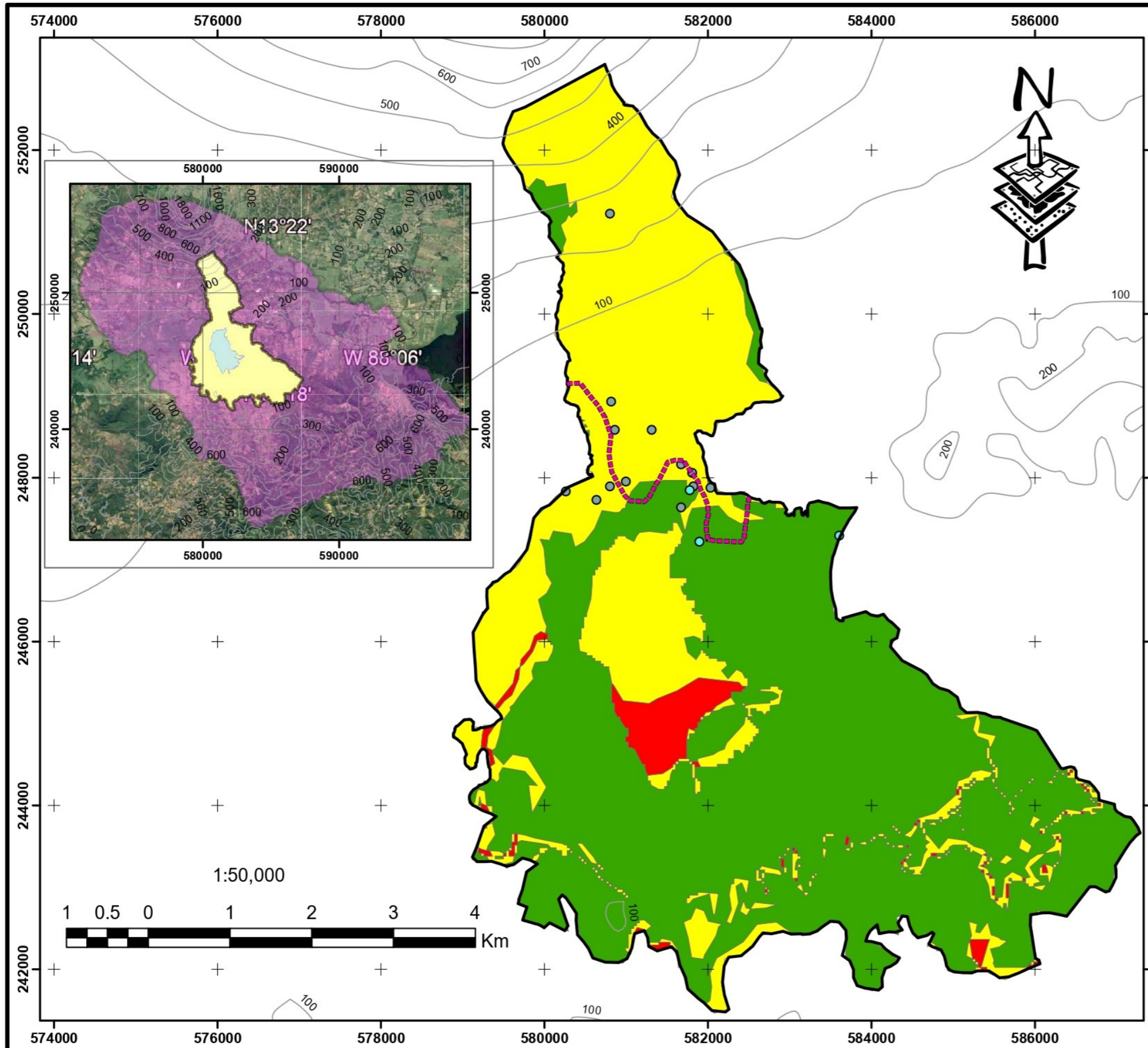
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL.
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
 DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA
 EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.

PRESENTA:
 CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO.
 MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO.
 SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO.
 SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER



COORDENADAS X: 578884.99 Y: 253042.99	ÁREA: 42.67 KM ² PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	ANEXO 9
---	---	------------------	------------



**MAPA DE RIESGO DEL SITIO
RAMSAR EL JOCOTAL**

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL
- LIMITE SITIO RAMSAR
- - - LIM. DE UNIDAD ACUIFERA.

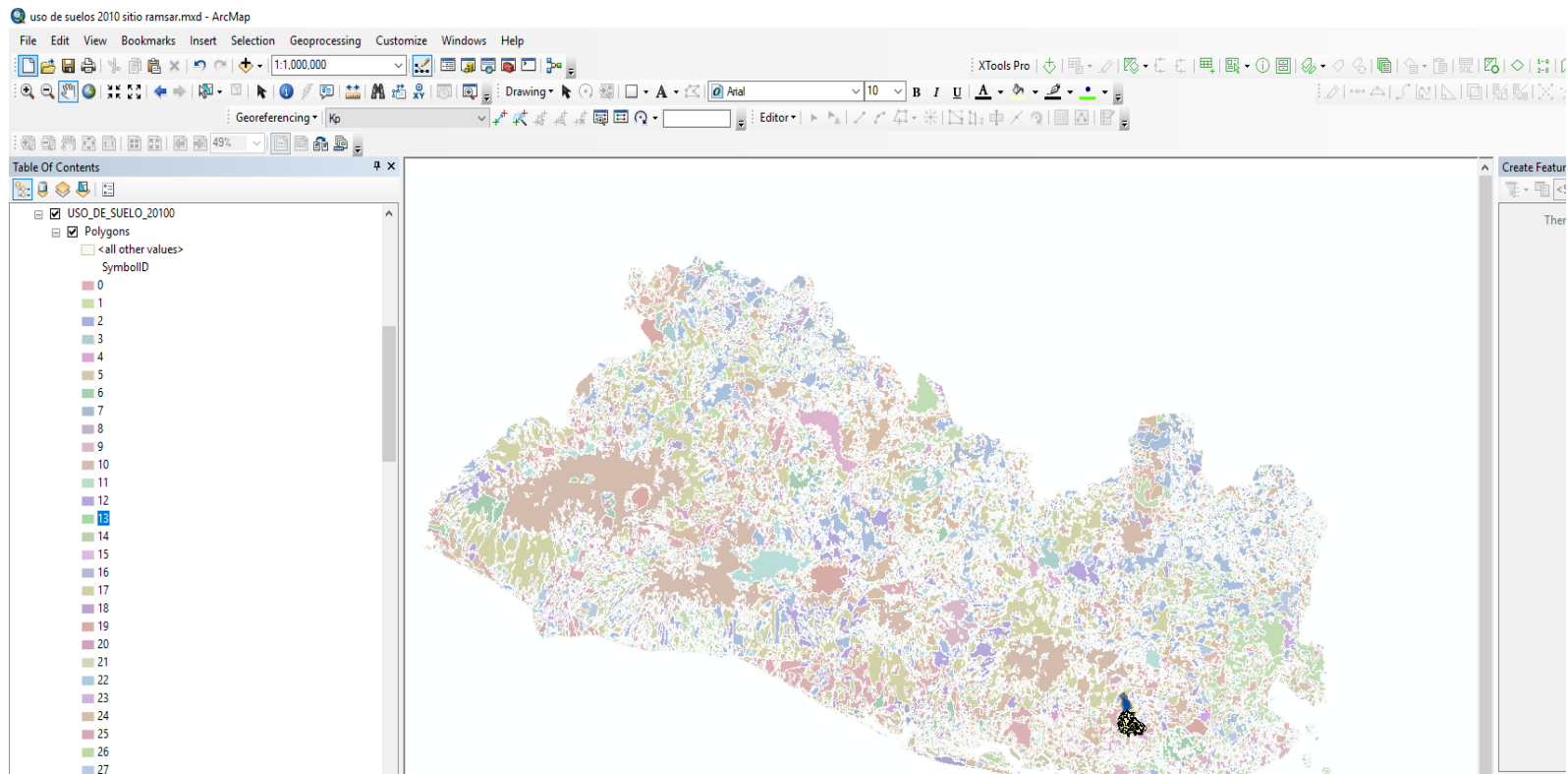
RIESGO PUNTUAL

- MODERADO
- REDUCIDO

RIESGO DIFUSO

- REDUCIDO
- MODERADO
- ELEVADO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL. DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.			
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA LAGUNA EL JOCOTAL, SAN MIGUEL.			
PRESENTA: CHÁVEZ RIVAS, YOHALMO ANTONIO. MEJÍA BENAVIDES, CÉSAR ARNOLDO. SÁNCHEZ BARRIENTOS, JORGE ALEJANDRO. SARAVIA MARTINEZ, JOHAN ALEXANDER			
COORDENADAS X: 578884.99 Y: 253042.99	ÁREA: 42.67 KM2 PERÍMETRO: 46 KM	FECHA: FEB/19	



ANEXO 11 Mapa de uso de suelos de El Salvador

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

HEMISFERIO NORTE												
Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Noc	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7
54	2.7	4.5	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6
38	6.6	8.5	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.5	10.0	7.6	6.6
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1
32	8.1	10.1	12.5	14.9	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6
26	9.6	13.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1
24	10.0	13.8	13.7	15.3	15.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.1	12.7	10.9	10.0
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	10.3	10.4
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2
0	4.8	15.3	15.5	15.0	14.2	14.2	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

ANEXO 12: Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998)

ANEXO 13

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-1
Fecha: DICIEMBRE DE 2018

Textura de Suelo: Arenoso-Acuifero Volcanco-Terrenos cultivados-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	6168.96		
Kp [0.01%]	0.06		
Kv [0.01%]	0.10		
Kfc [0.01%]	1		
I [0.01%] =	1		
DS (g/cm ³):	1.72		
PR (mm)	600.00		
HSi (mm)	92.88		
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	9.00	92.88
PM	4.00	41.28
(CC-PM)	5.00	51.60

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	5.00	22.88	25.93	21.39	29.21	34.95	32.96	7.32	5.00	189.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	167.82	190.16	156.88	214.18	256.28	241.69	53.71	7.72	1318.10
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)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	41.28	41.28	41.28	41.28	41.28	92.88	92.88	92.88	92.88	92.88	92.88	77.48	
C1	0.00	0.00	0.00	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.57	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	167.82	241.76	208.48	265.78	307.88	293.29	105.31	43.92	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	89.68	158.68	140.58	175.79	151.82	142.11	69.11	43.92	1001.35
HSf (mm)	41.28	41.28	41.28	41.28	92.88	92.88	92.88	92.88	92.88	92.88	77.48	41.28	
DCC (mm)	51.60	51.60	51.60	51.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.40	51.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	26.54	31.48	16.30	38.39	104.46	99.58	0.00	0.00	316.75
NR (mm)	209.30	215.23	248.95	206.75	89.68	0.00	38.47	0.00	0.00	0.00	84.51	155.01	1247.91

Hoja de recarga potencial de Zona-I

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-2
Fecha: DICIEMBRE DE 2018

Textura de Suelo: Arenoso-Acuifero Volcanico-Cobertura Con Pastizal-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	6168.96		
Kp [0.01%]	0.10		
Kv [0.01%]	0.18		
Kfc [0.01%]	1	por peso	
I [0.01%] =	1	(%)	(mm)
DS (g/cm ³):	1.72	CC	9.00 232.20
PR (mm)	1500.00	PM	4.00 103.20
HSi (mm)	232.20	(CC-PM)	5.00 129.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	5.00	22.88	25.93	21.39	29.21	34.95	32.96	7.32	5.00	189.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	167.82	190.16	156.88	214.18	256.28	241.69	53.71	7.72	1318.10
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)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	145.02	119.46	109.15	104.60	112.01	190.15	228.13	224.17	232.20	232.20	232.20	192.96	
C1	0.32	0.13	0.05	0.24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.80	1.00	1.00	1.00	0.34	0.00	
HD (mm)	41.82	16.26	5.95	31.06	176.63	277.11	281.81	335.15	385.28	370.69	182.71	97.48	
ETR (mm)	25.56	10.31	4.55	22.25	89.68	152.18	160.84	175.79	151.82	142.11	92.94	55.67	1083.69
HSf (mm)	119.46	109.15	104.60	112.01	190.15	228.13	224.17	232.20	232.20	232.20	192.96	145.02	
DCC (mm)	112.74	123.05	127.60	120.19	42.05	4.07	8.03	0.00	0.00	0.00	39.24	87.18	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.36	104.46	99.58	0.00	0.00	234.41
NR (mm)	244.88	276.37	320.40	282.75	131.73	10.57	26.24	0.00	0.00	0.00	84.51	178.85	1556.32

Hoja de recarga potencial de Zona-II

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-3
Fecha: DICIEMBRE DE 2018

Textura de Suelo: Arenoso-Acuifero Volcanico-Cobertura Con Zacate<50%-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	6168.96		
Kp [0.01%]	0.10		
Kv [0.01%]	0.09		
Kfc [0.01%]	1		
I [0.01%] =	1		
DS (g/cm ³):	1.72		
PR (mm)	400.00		
HSi (mm)	61.92		
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

	por peso	(mm)
	(%)	
CC	9.00	61.92
PM	4.00	27.52
(CC-PM)	5.00	34.40

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	5.00	22.88	25.93	21.39	29.21	34.95	32.96	7.32	5.00	189.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	167.82	190.16	156.88	214.18	256.28	241.69	53.71	7.72	1318.10
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)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	61.92	61.92	61.92	61.92	61.92	61.92	46.52	
C1	0.00	0.00	0.00	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.36	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	167.82	224.56	191.28	248.58	290.68	276.09	88.11	26.72	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	89.68	158.68	121.35	175.79	151.82	142.11	69.11	26.72	964.91
HSf (mm)	27.52	27.52	27.52	27.52	61.92	61.92	61.92	61.92	61.92	61.92	46.52	27.52	
DCC (mm)	34.40	34.40	34.40	34.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.40	34.40	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	43.74	31.48	35.53	38.39	104.46	99.58	0.00	0.00	353.18
NR (mm)	192.10	198.03	231.75	189.55	89.68	0.00	57.70	0.00	0.00	0.00	84.51	155.01	1198.34

Hoja de recarga potencial de Zona-III

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-4
Fecha: DICIEMBRE DE 2018

Textura de Suelo: Arenoso-Acuifero Volcanico-Bosques-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	6168.96		
Kp [0.01%]	0.10		
Kv [0.01%]	0.21		
Kfc [0.01%]	1	por peso	
I [0.01%] =	1	(%)	(mm)
DS (g/cm ³):	1.72	CC	9.00 387.00
PR (mm)	2500.00	PM	4.00 172.00
HSi (mm)	387.00	(CC-PM)	5.00 215.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	6.93	38.14	43.22	35.65	48.68	58.25	54.93	12.21	5.00	307.53
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	27.73	152.56	172.87	142.62	194.71	232.98	219.72	48.82	7.72	1199.74
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)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	261.06	219.69	197.21	184.69	192.61	260.96	316.43	324.55	361.27	387.00	387.00	326.34	
C1	0.41	0.22	0.12	0.19	0.81	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	
C2	0.11	0.05	0.01	0.03	0.13	0.48	0.50	0.80	1.00	1.00	0.58	0.24	
HD (mm)	89.06	47.69	25.21	40.42	173.17	261.83	287.04	347.26	422.25	434.72	263.82	162.06	
ETR (mm)	41.37	22.48	12.52	19.81	84.20	117.41	134.49	158.00	151.82	142.11	109.48	73.00	1066.69
HSF (mm)	219.69	197.21	184.69	192.61	260.96	316.43	324.55	361.27	387.00	387.00	326.34	261.06	
DCC (mm)	167.31	189.79	202.31	194.39	126.04	70.57	62.45	25.73	0.00	0.00	60.66	125.94	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.43	77.61	0.00	0.00	133.04
NR (mm)	283.64	330.94	387.14	359.39	221.19	111.85	107.01	43.53	0.00	0.00	89.40	200.27	2134.36

Hoja de recarga potencial de Zona-IV

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-5
Fecha: DICIEMBRE DE 2018

Textura de Suelo: Arenoso-Acuifero Volcanico-Zona Urbana-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	6168.96		
Kp [0.01%]	0.20		
Kv [0.01%]	0.07		
Kfc [0.01%]	1	por peso	
I [0.01%] =	1	(%)	(mm)
DS (g/cm ³):	1.72	CC	9.00 309.60
PR (mm)	2000.00	PM	4.00 137.60
HSi (mm)	309.60	(CC-PM)	5.00 172.00
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	5.00	22.88	25.93	21.39	29.21	34.95	32.96	7.32	5.00	189.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	29.66	167.82	190.16	156.88	214.18	256.28	241.69	53.71	7.72	1318.10
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)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	203.51	170.78	154.23	144.69	154.61	229.89	283.62	286.51	309.60	309.60	309.60	259.04	
C1	0.38	0.19	0.10	0.21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75
C2	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03	0.72	0.72	1.00	1.00	1.00	0.51	0.11	
HD (mm)	65.91	33.18	16.63	36.75	184.82	282.45	302.90	363.09	428.28	413.69	225.71	129.16	
ETR (mm)	32.73	16.55	9.54	19.74	92.53	136.43	153.99	175.79	151.82	142.11	104.26	63.25	1098.75
HSf (mm)	170.78	154.23	144.69	154.61	229.89	283.62	286.51	309.60	309.60	309.60	259.04	203.51	
DCC (mm)	138.82	155.37	164.91	154.99	79.71	25.98	23.09	0.00	0.00	0.00	50.56	106.09	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.30	104.46	99.58	0.00	0.00	219.35
NR (mm)	263.79	302.45	352.72	320.06	166.54	48.23	48.15	0.00	0.00	0.00	84.51	190.17	1776.61

Hoja de recarga potencial de Zona-V

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-6
Fecha: DICIEMBRE DE 2018
Textura de Suelo: Arenoso-Acuifero Volcanico-Cobertura Con Zacate >75%-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	24.45		
Kp [0.01%]	0.20		
Kv [0.01%]	0.21		
Kfc [0.01%]	0.12673	por peso	
I [0.01%] =	0.53673	(%)	(mm)
DS (g/cm ³):	1.25	CC	35.00 175.00
PR (mm)	400.00	PM	17.00 85.00
HSi (mm)	175.00	(CC-PM)	18.00 90.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	5.00	22.88	25.93	21.39	29.21	34.95	32.96	7.32	5.00	189.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	15.92	90.07	102.07	84.20	114.96	137.56	129.72	28.83	4.14	707.47
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	13.74	77.74	88.09	72.68	99.22	118.73	111.97	24.88	3.58	610.63
ETP (mm)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	94.30	86.15	85.10	85.00	85.00	85.39	108.12	102.79	129.86	175.00	172.39	132.11	
C1	0.10	0.01	0.00	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.86	0.00	0.00	
HD (mm)	9.30	1.15	0.10	15.92	90.07	102.46	107.32	132.75	182.41	219.72	116.22	51.25	
ETR (mm)	8.15	1.05	0.10	15.92	89.68	79.34	89.53	87.90	101.72	132.33	69.11	41.95	716.77
HSf (mm)	86.15	85.10	85.00	85.00	85.39	108.12	102.79	129.86	165.70	172.39	132.11	94.30	
DCC (mm)	88.85	89.90	90.00	90.00	89.61	66.88	72.21	45.14	9.30	2.61	42.89	80.70	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	238.40	252.48	287.25	258.89	179.29	146.22	161.73	133.04	59.41	12.39	112.00	186.08	2027.16

Hoja de recarga potencial de Zona-VI

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-7
Fecha: DICIEMBRE DE 2018

Textura de Suelo: Arcilloso-Acuifero Volcanico-Cobertura Con Pastizal-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	24.45		
Kp [0.01%]	0.15		
Kv [0.01%]	0.18		
Kfc [0.01%]	0.12673		
I [0.01%] =	0.45673		
DS (g/cm ³):	1.25		
PR (mm)	1500.00		
HSi (mm)	656.25		
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		
		por peso (%)	(mm)
		CC	35.00 656.25
		PM	17.00 318.75
		(CC-PM)	18.00 337.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	5.00	22.88	25.93	21.39	29.21	34.95	32.96	7.32	5.00	189.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	13.55	76.65	86.85	71.65	97.82	117.05	110.39	24.53	3.53	602.02
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	16.11	91.17	103.31	85.23	116.36	139.23	131.30	29.18	4.19	716.08
ETP (mm)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	470.76	416.33	380.49	354.94	348.71	383.76	415.99	421.81	442.25	656.25	631.21	545.99	
C1	0.45	0.29	0.18	0.15	0.32	0.45	0.50	0.60	0.71	1.00	1.00	0.68	
C2	0.24	0.15	0.08	0.07	0.15	0.24	0.23	0.29	0.39	0.91	0.59	0.39	
HD (mm)	152.01	97.58	61.74	49.74	106.61	151.86	168.90	200.89	240.56	447.89	336.99	230.76	
ETR (mm)	54.44	35.84	25.55	19.78	41.60	54.61	65.83	77.38	83.87	135.43	109.75	78.75	782.84
HSf (mm)	416.33	380.49	354.94	348.71	383.76	415.99	421.81	442.25	475.43	631.21	545.99	470.76	
DCC (mm)	239.92	275.76	301.31	307.54	272.49	240.26	234.44	214.00	180.82	25.04	110.26	185.49	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	343.19	403.55	473.11	472.57	410.25	344.32	347.65	312.40	248.76	31.72	138.73	254.07	3780.33

Hoja de recarga potencial de Zona-VII

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-8
Fecha: DICIEMBRE DE 2018
Textura de Suelo: Arcilloso-Acuifero Volcanico-Bosques-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	24.45		
Kp [0.01%]	0.15		
Kv [0.01%]	0.20		
Kfc [0.01%]	0.12673		
I [0.01%] =	0.47673	por peso	
DS (g/cm ³):	1.25	(%)	(mm)
PR (mm)	2500.00	CC	35.00
HSi (mm)	1093.75	PM	17.00
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	10	(CC-PM)	18.00
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20		1093.75
			531.25
			562.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	6.93	38.14	43.22	35.65	48.68	58.25	54.93	12.21	5.00	307.53
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	13.22	72.73	82.41	67.99	92.83	111.07	104.75	23.28	3.68	571.96
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	14.51	79.83	90.46	74.63	101.89	121.91	114.97	25.55	4.04	627.78
ETP (mm)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	869.24	787.77	724.00	668.24	640.21	664.24	694.46	700.57	724.27	1093.75	1061.11	965.16	
C1	0.60	0.46	0.34	0.27	0.32	0.38	0.41	0.47	0.54	1.00	0.98	0.78	
C2	0.43	0.32	0.22	0.18	0.22	0.27	0.28	0.32	0.39	0.93	0.74	0.57	
HD (mm)	337.99	256.52	192.75	150.21	181.69	215.41	231.20	262.15	304.10	667.25	553.13	437.59	
ETR (mm)	81.47	63.77	55.76	41.24	48.70	52.20	61.88	69.12	71.00	137.39	119.22	99.60	901.36
HSf (mm)	787.77	724.00	668.24	640.21	664.24	694.46	700.57	724.27	764.35	1061.11	965.16	869.24	
DCC (mm)	305.98	369.75	425.51	453.54	429.51	399.29	393.18	369.48	329.40	32.64	128.59	224.51	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	382.21	469.61	567.10	597.10	560.17	505.77	510.35	476.14	410.22	37.36	147.59	272.24	4935.86

Hoja de recarga potencial de Zona-VIII

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: LAGUNA EL JOCOTAL Z-9
Fecha: DICIEMBRE DE 2018
Textura de Suelo: Arcilloso-Acuifero Volcanico-Terreno Cultivado-Est. San Miguel UES.

Simbología

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

fc [mm/d]	48.82		
Kp [0.01%]	0.20		
Kv [0.01%]	0.10		
Kfc [0.01%]	0.30762	por peso	
I [0.01%] =	0.60762	(%)	(mm)
DS (g/cm ³):	1.25	CC	35.00 262.50
PR (mm)	600.00	PM	17.00 127.50
HSi (mm)	262.50	(CC-PM)	18.00 135.00
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	0.06	0.58	3.89	34.66	190.70	216.09	178.27	243.39	291.23	274.65	61.03	12.72	1507.27
Ret [mm]	0.06	0.58	3.89	5.00	22.88	25.93	21.39	29.21	34.95	32.96	7.32	5.00	189.17
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	18.02	101.97	115.54	95.32	130.14	155.72	146.86	32.63	4.69	800.90
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	11.64	65.85	74.62	61.56	84.04	100.56	94.84	21.07	3.03	517.20
ETP (mm)	157.70	163.63	197.35	184.81	179.36	158.68	179.05	175.79	151.82	142.11	138.22	147.33	1975.85
HSi (mm)	167.55	144.16	134.06	129.27	133.74	163.83	200.03	205.83	226.80	262.50	262.50	210.97	
C1	0.30	0.12	0.05	0.15	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.65
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.76	1.00	0.22	0.00	
HD (mm)	40.05	16.66	6.56	19.79	108.21	151.87	167.85	208.47	255.02	281.86	167.63	88.16	
ETR (mm)	23.39	10.10	4.80	13.54	71.88	79.34	89.53	109.17	133.94	142.11	84.17	48.10	810.07
HSf (mm)	144.16	134.06	129.27	133.74	163.83	200.03	205.83	226.80	248.58	262.50	210.97	167.55	
DCC (mm)	118.34	128.44	133.23	128.76	98.67	62.47	56.67	35.70	13.92	0.00	51.53	94.95	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.75	0.00	0.00	4.75
NR (mm)	252.65	281.97	325.79	300.02	206.15	141.81	146.20	102.32	31.80	0.00	105.59	194.17	2088.47

Hoja de recarga potencial de Zona-IX

ANEXO 14

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 181110092-01

Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA #1
Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL
Teléfono: 7743-1162 Fax: Correo Electronico yohalmo14@hotmail.

FECHAS

Recibido :	13/11/2018
Análisis :	12/11/2018
Reporte :	23/11/2018

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA*	
A004 Calcio	96.60	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A005 Magnesio	16.90	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A006 Potasio	5.73	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A007 Sodio	48.90	mg/L	200	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A009 Sulfatos	60.14	mg/L	400	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	41.94	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-CL-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 12.0000 B	207.40	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo ISO/IEC 17025:05 para el
alcance establecido. *Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES


Lic. Marena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.10 24/05/2016

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Resultados de laboratorio de iones mayoritarios de LEJ-01

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA IS1110691-01

Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA # 1
Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL
Teléfono: 7743-1162 Fax: _____

Correo Electronico yohalmo14@hotmail.

FECHAS

Recibido :	13/11/2018
Análisis :	13/11/2018
Reporte :	23/11/2018

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA *
A004 Calcio	96.80	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	26.80	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A006 Potasio	6.88	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	27.25	mg/L	200	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Sulfatos	67.98	mg/L	400	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010 Cloruros	64.18	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-CL-B
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 9.6000 B 145180.00	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo ISO/IEC 17025:05 para el
alcance establecido. *Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES


Lic. Morena Lopez de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.10 24/05/2016

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Resultados de laboratorio de iones mayoritarios de LEJ-02

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 181110693-01

Pag. 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA # 3
Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL
Teléfono: 7743-1162 Fax : Correo Electronico yohalmo14@hotmail.

FECHAS	
Recibido :	13/11/2018
Análisis :	13/11/2018
Reporte :	23/11/2018

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA *	
A004 Calcio	N.D.	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A005 Magnesio	13.60	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A006 Potasio	2.93	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A007 Sodio	42.20	mg/L	200	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A009 Sulfatos	45.34	mg/L	400	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	33.21	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-CL-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 9.6000 B	195.20	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo ISO/IEC 17025:05 para el
alcance establecido. *Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES


Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente


Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.10 24/05/2016

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Resultados de laboratorio de iones mayoritarios de LEJ-05

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 181110694-01

Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA #4
Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL
Teléfono: 7743-1162 Fax: Correo Electronico yohalmol4@hotmail.

FECHAS

Recibido : 13/11/2018
Análisis : 13/11/2018
Reporte : 23/11/2018

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA *	
A004 Calcio	92.30	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A005 Magnesio	15.10	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A006 Potasio	3.50	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A007 Sodio	37.90	mg/L	200	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B	
A009 Sulfatos	41.08	mg/L	400	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	34.95	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-CL-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 12.0000 B	135.64	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µm:micronhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo ISO/IEC 17025:05 para el
alcance establecido. *Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES


Lic. Mirena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.10 24/05/2016

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Resultados de laboratorio de iones mayoritarios de LEJ-07

ANEXO 15

UNIDAD DE MICROBIOLOGÍA Muestra: 181110092-01

INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA #2

Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS

Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS

Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL

Teléfono: 77431162

Fax:

Correo Electrónico: yohalmo14@hotmail

FECHAS

Recibido: 13/11/2018

Análisis: 13/11/2018

Reporte: 23/11/2018

DESCRIPCIÓN

Olor: Inodoro

Color: Incoloro

Textura: Líquido

RESULTADOS DE ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	P/A	UFC*/mL	NMP*/100mL	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
MD2A **Coliformes Fecales(Termotoleran			170	< 1.1 NMP/100 mL	Tubos Fermentación/VW, 22nd on line 2012.	

* SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. *UFC: Unidades formadoras de colonias NMP: Número más probable g: gramos mL:mililitros P/A: Presencia/Ausencia. AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC International (OMA) online, Microbiological Methods, 2005. BAM: Bacteriological Analytical Manual. **Acreditado bajo ISO/IEC 17025:05 para el alcance establecido. **** Ausencia equivale a cero

*** RTS 13.02.01:14 Agua.Agua de consumo Humano:requisitos de Calidad e Inocuidad. Diario Oficial No. 60,Tomo No 419. 4 de Abril de 20

OBSERVACIONES
El parámetro evaluado en la muestra analizada No cumple con RTS 13.02.01:14 Agua.Agua de consumo Humano:requisitos de Calidad e Inocuidad. Diario Oficial No. 60,Tomo No 419. 4 de Abril de 2018

Lidia Zoraida Villalta de Amaya
Lidia Zoraida Villalta de Amaya
Gerente Unidad Microbiología



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.

No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.11 01.02.2018

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Análisis microbiológico de LEJ-01

UNIDAD DE MICROBIOLOGIA
INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Muestra: 181110691-01

Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA #1
Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS
Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL
Teléfono: 77431162 Fax: Correo Electronico: yochalmo14@hotmail.c

FECHAS

Recibido : 13/11/2018
Análisis : 13/11/2018
Reporte : 23/11/2018

DESCRIPCION:

Olor: Inodoro Color: Incoloro Textura: Liquido

RESULTADOS DE ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	P/A	UFC*/mL	NMP*/100mL	MÉTODO	REFERENCIA*
M02A **Coliformes Fecales(Termotoleran			< 1.8	Tubos Fermentación Múltiple	MWW, 22nd ed line 2012.

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. *UFC :Unidades formadoras de colonias
NMP: Número más probable g: gramos mL.mililitros P/A: Presencia/Ausencia. AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC International
(OMA) online, Microbiological Methods, 2005. BAM: Bacteriological Analytical Manual. **Acreditado bajo ISO/IEC 17025:05 para el
alcançe establecido. Ausencia equivale a cero

OBSERVACIONES

La muestra analizada cumple con RTS 13.02.01:14 Agua Agua de consumo Humano:requisitos de Calidad e Inocuidad. Diario
Oficial No. 60,Tomo No.419. 4 de Abril de 2018


Licda. Zoraida Villalta de Amaya
Gerente Unidad Microbiología



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.11 01/02/2018

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Análisis microbiológico de LEJ-02

UNIDAD DE MICROBIOLOGIA

Muestra: 181110693-01

INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA #3

Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS

Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS

Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL

Teléfono: 77431162

Fax :

Correo Electronico: yohalmo14@hotmail

FECHAS

Recibido : 13/11/2018

Análisis : 13/11/2018

Reporte : 23/11/2018

DESCRIPCION

Olor : Inodoro

Color : Incoloro

Textura : Líquido

RESULTADOS DE ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	P/A	UFC*/mL	NMP*/100mL	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
M02A **Coliformes Fecales(Termotoleran			920	< 1.1 NMP/100 mL	Tubos Fermentación/WW, 22nd on line 2012.	

* SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. *UFC :Unidades formadoras de colonias NMP. Número más probable g: gramos mL:mililitros P/A: Presencia/Ausencia AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC International (OMA) online, Microbiological Methods, 2005. BAM : Bacteriological Analytical Manual. **Acreditado bajo ISO/IEC 17025.05 para el alcance establecido. **** Ausencia equivale a cero

*** RTS 13.02.01:14 Agua.Agua de consumo Humano:requisitos de Calidad e Inocuidad. Diario Oficial No. 60,Tomo No.419. 4 de Abril de 20

OBSERVACIONES

El parámetro evaluado en la muestra analizada No cumple con RTS 13.02.01:14 Agua.Agua de consumo Humano:requisitos de Calidad e Inocuidad. Diario Oficial No. 60,Tomo No.419. 4 de Abril de 2018

Z. Villalta de Amaya
Licda. Zoraida Villalta de Amaya
Gerente Unidad Microbiología



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.

No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.11 01/02/2018

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Análisis microbiológico de LEJ-05

UNIDAD DE MICROBIOLOGÍA Muestra: 181110694-01

INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Pag 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: MUESTRA #4

Solicitante: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS

Responsable: YOHALMO ANTONIO CHAVEZ RIVAS

Dirección: SAN JORGE, SAN MIGUEL

Teléfono: 77431162

Fax:

Correo Electronico: yohalmo14@hotmail

FECHAS

Recibido : 13/11/2018

Análisis : 13/11/2018

Reporte : 23/11/2018

DESCRIPCION

Olor : Inodoro

Color : Incoloro

Textura : Líquido

RESULTADOS DE ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	P/A	UFC*/mL	NMP*/100mL	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA ¹
M02A **Coliformes Fecales(Termotoleran			49	< 1.1 NMP/100 mL	Tubos Fermentación/WW, 22nd ed line 2012.	

¹ SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. *UFC: Unidades formadoras de colonias NMP: Número más probable g: gramos mL:mililitros P/A: Presencia/Ausencia AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC International (OMA) online, Microbiological Methods, 2005. BAM: Bacteriological Analytical Manual. **Acreditado bajo ISO/IEC 17025:05 para el alcance establecido. **** Ausencia equivale a cero

*** RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de consumo Humano: requisitos de Calidad e Inocuidad. Diario Oficial No. 60, Tomo No. 419. 4 de Abril de 2018

OBSERVACIONES

El parámetro evaluado en la muestra analizada No cumple con RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de consumo Humano: requisitos de Calidad e Inocuidad. Diario Oficial No. 60, Tomo No. 419. 4 de Abril de 2018

Licda. Zoraida Villalta de Amaya
Licda. Zoraida Villalta de Amaya
Gerente Unidad Microbiología



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.

No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.11 01/02/2018

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Análisis microbiológico de LEJ-07

BIBLIOGRAFÍA.

Ronald Eduardo Martínez Estrada (2018): Caracterización hidrogeológica del acuífero poroso en la zona del distrito de riego de Zapotitán.

Andrea morlans lópez (2010): contaminación difusa en acuíferos: estudio de Caso en la comuna de colina, región Metropolitana. (Universidad de Chile, Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil)

Anaya Meléndez Wuilliam Jhovanny, Linares López Flavio Amílcar, Méndez lucero Katya Alejandra (2017): Caracterización hidrogeológica del municipio de San Sebastián Salitrillo Santa Ana.

Norma Vanessa Coto Domínguez (2017): “Caracterización Hidrogeológica y Geoquímica del Acuífero Costero de La Península de San Juan del Gozo, Municipios de Jiquilisco y Puerto El Triunfo, Departamento de Usulután.”

Gonzalo De Jesús Mena, Juan Orlando Montes (2010): Evaluación De La Vulnerabilidad De Las Aguas Subterráneas Aplicada Al Antiguo Botadero De Desechos Sólidos De Mariona, Departamento De San Salvador

Judith Mireya Rivas, Amanda Mercedes Rivas (2009): “Identificación, Caracterización Y Lineamientos Para El Manejo De Zonas De Recarga Hídrica

En

El Municipio De Dulce Nombre De María, Chalatenango.”

Duarte, J. R. 1998. Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Guluchapa, Tesis para optar al grado de Master en Ciencias. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

CUSTODIO, Emilio. Hidroquímica. En: CUSTODIO, Emilio y LLAMAS, Manuel. Hidrología subterránea, segunda edición. Barcelona: Ediciones Omega, 2001. p 1007 – 11095

Gunther Schosinsky N. (2006): “Calculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos”, Revista Geológica de América Central

FOSTER S. et al; 2002; Protección de la Calidad del Agua Subterránea; Editorial MundiPrensa; México D.F.

Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador (FORGAES). 2005. Método para zonificaciones de protección de fuentes de agua.

Gil Montes, J. 2000. Recursos Hidrogeológicos. CATIE (Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza, CR). Turrialba, Costa Rica.

Mijailov, L. 1985. Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia.

Schosinsky, Losilla. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central.

<https://climapesca.org/2017/06/26/laguna-de-el-jocotal/>

<https://www.marn.gob.sv/sitio-ramsar-area-natural-prottegida-laguna-el-jocotal/>

<https://m.elsalvador.com/noticias/nacional/180605/el-jocotal-y-olomega-amenazados-por-la-contaminacion-y-erosion/>