

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



**“MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA
RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL
EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR,
GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA
ALEMANA (GTZ).”**

En el marco del programa “Bosques y agua”

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
JOSE ANTONIO MAGAÑA PORTILLO
BRENDA GUADALUPE RUIZ PÉREZ
ELISA MARÍA ZAMBRANO MELGAR**

**DOCENTE DIRECTOR:
ING. MAX ADALBERTO HERNÁNDEZ RIVERA.**

**ASESOR EXTERNO:
ING. JOSÉ ROBERTO DUARTE SALDAÑA**

NOVIEMBRE 2010

SANTA ANA EL SALVADOR CENTRO AMÉRICA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. Y MSC. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ

VICE- RECTOR ACADÊMICO

ARQ. Y MASTER MIGUEL ANGEL PEREZ RAMOS

VICE RECTOR ADMINISTRATIVO

LICDO. Y MÁSTER OSCAR NOÉ NAVARRETE

SECRETARIO GENERAL

LICDO. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FISCAL GENERAL

DR. RENÉ MADECADEL PERLA JIMÉNEZ



FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO

LICDO. JORGE MAURICIO RIVERA

VICE-DECANO

LICDO. Y MÁSTER ELADIO EFRAÍN ZACARÍAS ORTEZ

SECRETARIO DE FACULTAD

LICDO. VÍCTOR HUGO MERINO QUEZADA

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ING. RAÚL ERNESTO MARTÍNEZ BERMÚDEZ



SANTA ANA, NOVIEMBRE, 2010

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. MAX ADALBERTO HERNÁNDEZ RIVERA.

DOCENTE DIRECTOR



ÍNDICE

CONTENIDO	N° DE PÁG
INTRODUCCIÓN	i
CAPITULO I: GENERALIDADES	3
1.1 ANTECEDENTES.	4
1.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA REGION TRIFINIO.....	4
1.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS DEL TRIFINIO.....	5
1.1.3 COMISIÓN TRINACIONAL DEL PLAN TRIFINIO.	6
1.1.4 PROGRAMA “BOSQUES Y AGUA”	7
1.1.5 PARÁMETROS PARA LA UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO.	13
1.1.6 PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE PARCELAS PRODUCTIVAS.....	14
1.1.7 PUNTOS DE MONITOREO SELECCIONADOS.....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	22
1.3 OBJETIVOS.	29
1.4 ALCANCES GLOBALES.	31
1.5 LIMITACIONES.	32
1.6 JUSTIFICACIONES.....	33
CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	35
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	36
2.2 RECARGA HÍDRICA.	38
2.2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA RECARGA HÍDRICA.	38
2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.....	39



2.2.3 INDICADORES PRÁCTICOS PARA LA DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE RECARGA.....	41
2.2.4 DELIMITACIÓN SUPERFICIAL DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.....	42
2.3 MODELOS PRODUCTIVOS.....	44
2.3.1 MODELO SISTEMA SILVOPASTORIL.....	44
2.3.2 MODELO SISTEMA AGROFORESTAL.....	45
2.3.3 MODELO BOSQUE COMO ECOSISTEMA.....	46
2.4 MÉTODOS Y EQUIPOS DE AFORO.....	47
2.4.1 MÉTODOS DE AFORO.....	47
2.4.2 EQUIPO DE AFORO.....	50
2.5 PARÁMETROS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL.....	51
2.5.1 PARÁMETROS FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS.....	51
2.5.2 PARÁMETROS QUÍMICOS.....	52
2.5.3 EQUIPO DE MEDICIÓN DE PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUA.....	55
2.5.4 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	57
2.5.5 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE PRESENCIA COLIFORMES.....	58
2.5.6 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE UTILIZADOS POR ORGANIZACIONES DE LA SALUD.....	59
2.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA.....	61
2.6.1 ANTECEDENTES SOBRE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA.....	61
2.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS INDICES DE CALIDAD DE AGUA.....	65
2.6.3 CRITERIOS DE DISEÑO PARA UN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA.....	66



2.6.4 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA FORMULACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA.....	69
2.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	74
2.7.1 HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	74
2.7.2 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	75
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	78
3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS GIRAS DE RECONOCIMIENTO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO.....	79
3.1.1 MICROCUENCA CUSMAPA, EL SALVADOR	79
3.1.2 MICROCUENCA JUPULA, EL SALVADOR	81
3.1.3 MICROCUENCA MEZCAL, GUATEMALA	85
3.1.4 MICROCUENCA CARCAJ, GUATEMALA.....	88
3.1.5 MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA, HONDURAS.....	91
3.1.6 MICROCUENCA MARROQUÍN, HONDURAS.....	95
3.2 METODOLOGÍA A SEGUIR PARA LA REALIZACIÓN DE AFOROS.....	97
3.2.1 MÉTODO ÁREA-VELOCIDAD.....	97
3.2.2 MÉTODO VOLUMÉTRICO	99
3.2.3 MÉTODO DEL FLOTADOR	99
3.3. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL POR MICROCUENCA.	101
3.4 METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA.	102
3.4.1 METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.	102
3.4.2 METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.	104



3.4.3 FRECUENCIA DE MUESTREO.....	106
3.5 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR/REGIÓN TRIFINIO (ICAUES/RT).....	106
3.5.1 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ICAUES/RT.	107
3.5.2 DETERMINACIÓN DE SUBÍNDICES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD.	108
3.5.3. PONDERACIÓN DE IMPORTANCIA DE LOS PARÁMETROS ICAUES/RT.	112
3.5.4 CÁLCULO DE LOS PESOS DE LOS PARÁMETROS DEL ICAUES/RT.	113
3.5.5 ECUACIÓN DE CÁLCULO DEL ICAUES/RT.....	114
3.5.6 RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL ICAUES/RT.	115
3.6 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DEL AREA DE RECARGA DE LAS FUENTES EN ESTUDIO.	117
3.6.1 CALCULO DEL ÁREA DE RECARGA PARA LAS FUENTES EN ESTUDIO, BASADO EN EL TRAZO DEL PARTE-AGUAS.....	117
3.6.2 CÁLCULO DEL ÁREA DE RECARGA PARA LAS FUENTES DE AGUA EN ESTUDIO, BASADO EN MÉTODOS MATEMÁTICOS.....	118
CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	123
4.1 ANÁLISIS DE CAUDALES DE LAS FUENTES EN ESTUDIO EN LAS SEIS MICROCUENCAS.....	124
4.2 ANÁLISIS PARA LA OBTENCIÓN DEL ICAUES/RT PARA LAS SEIS MICROCUENCAS SELECCIONADAS.	129
4.2.1 ICAUES/RT, MICROCUENCA CUSMAPA, EL SALVADOR.....	129
4.2.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA CUSMAPA, EL SALVADOR.	130
4.2.3 ICAUES/RT, MICROCUENCA JUPULA, EL SALVADOR.....	139



4.2.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA JUPULA, EL SALVADOR.	142
4.1.5 ICAUES/RT, MICROCUENCA MEZCAL, GUATEMALA.	151
4.1.6 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA MEZCAL, GUATEMALA.	153
4.2.7 ICAUES/RT, MICROCUENCA CARCAJ, GUATEMALA.	161
4.2.8 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA CARCAJ, GUATEMALA.	163
4.2.9 ICAUES/RT, MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA, HONDURAS.	170
4.2.10 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA, HONDURAS.	174
4.2.12 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA MARROQUÍN, HONDURAS.	184
4.3 RESULTADOS PARA LAS AREAS DE RECARGA DE LAS FUENTES EN ESTUDIO EN LAS SEIS MICROCUENCAS.	191
4.4 PROYECCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS PRODUCTIVOS EN MICROCUENCA CUSMAPA.	203
4.5 SISTEMATIZACIÓN EN LA PLATAFORMA ARC-GIS DEL MONITOREO HÍDRICO.	206
4.6 VALIDACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN LAS SEIS MICROCUENCAS.	209
CAPITULO V MANUAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO	210
5.1 IMPORTANCIA DEL MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO.	211



5.2 ETAPAS EN EL MONITOREO HÍDRICO DE CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES	212
5.2.1 ESTABLECIMIENTO DE REQUISITOS PARA EL MONITOREO.....	212
5.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE MONITOREO.	213
5.2.3 PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO...	214
5.2.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA.....	216
5.2.5 SELECCIÓN DE METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE CAUDALES	220
5.2.6 ESTABLECIMIENTO DE LOS RECURSOS A UTILIZAR PARA LA EJECUCIÓN DEL MONITOREO HÍDRICO.....	224
5.2.7 FRECUENCIA DE MUESTREO.....	225
5.3. CONTROL DE CALIDAD DE MUESTREO EN CAMPO.	227
5.3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EJECUCIÓN DEL MONITOREO HÍDRICO	227
5.3.2 CONTROL DE CALIDAD EN LA EJECUCIÓN DEL MONITOREO.....	229
5.4 MANEJO DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA.....	230
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	231
CONCLUSIONES.....	232
RECOMENDACIONES.....	237
BIBLIOGRAFÍA	239
ANEXOS.....	1



LISTADO DE FIGURAS

Figura	N° de Pág
Figura1-1. Área que conforma la Región Trifinio.	4
Figura 1-2. Superposición de mapas en la realización del estudio hidrogeológico para la selección de microcuencas en estudio.	9
Figura 1-3. Flujograma de los componentes del Programa “Bosques y Agua”	12
Figura 2-1. Representación del Ciclo Hidrológico	36
Figura 2-2. Las aguas subterráneas y el Ciclo Hidrológico.	43
Figura 2-3. Cálculo del caudal de una corriente a partir de las mediciones efectuadas con un molinete.....	48
Figura 2-4. Diagramas de calibración	70
Figura 4-1. Ventana de resultado del registro de datos del monitoreo hídrico y área de trabajo de ArcGIS.....	208



LISTADO DE FOTOS

FOTOGRAFÍA	N° PAG.
Fotografía 2-1. Molinete y barra o eje del molinete	50
Fotografía 2-2. Cartilla de rangos de valor de Nitrato.....	56
Fotografía 2-3. Kit de Calidad.....	56
Fotografía 2-4. Conductivímetro	57
Fotografía 3-1. Fuente La Zarca, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.	81
Fotografía 3-2. Fuente Posada, Microcuenca Jupula, El Salvador.....	83
Fotografía 3-3. Fuente Vásquez, Microcuenca Jupula, El Salvador.	84
Fotografía 3-4. Fuente la Montañita, Microcuenca Jupula, El Salvador.	85
Fotografía 3-5. Fuente La Barranca, Microcuenca Mezcal, Guatemala.	87
Fotografía 3-6. Fuente El Puente, Microcuenca Mezcal, Guatemala.....	88
Fotografía 3-7. Fuente El Puente, Microcuenca Carcaj, Guatemala.	90
Fotografía 3-8. Fuente Viertentón Quequesque, Microcuenca Carcaj, Guatemala.	91
Fotografía 3-9. Fuente El Supte, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.	93
Fotografía 3-10. Fuente Arivas, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.	94
Fotografía 3-11. Fuente La Lagunilla, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.	95
Fotografía 3-12. Fuente El Escondido, Microcuenca Marroquín, Honduras.	96
Fotografía 3-13. Nomograma Ven Te Chow para el cálculo del coeficiente de escorrentía.....	122



LISTADO DE MAPAS

MAPA	N° PAG.
Mapa 1-1: Microcuencas seleccionadas dentro de la Región Trifinio.	12
Mapa 1-2. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Jupula.....	16
Mapa 1-3. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Cusmapa.....	17
Mapa 1-4. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Mezcal.....	18
Mapa 1-5. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Carcaj	19
Mapa 1-6. Puntos de monitoreo en la Microcuenca San Juan Buenavista	20
Mapa 1-7. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Marroquín.	21
Mapa 1-8. Delimitación de las Microcuencas Jupula y Cusmapa, El Salvador.....	25
Mapa 1-9. Delimitación de las Microcuencas Mezcal y Carcaj, Guatemala. .	26
Mapa 1-10. Delimitación de las Microcuencas San Juan Buenavista y Marroquín, Honduras.	27



LISTADO DE GRÁFICOS

GRÁFICOS	N° PAG
Gráfico 4-1. Resultados de Caudal, Cusmapa, La Zarca.....	124
Gráfico 4-2. Resultados de Caudal, Jupula, fuentes Montañita, Vásquez y Posada.	125
Gráfico 4-3. Resultados de Caudal, Mezcal, La Barranca.	126
Gráfico 4-4. Resultados de Caudal, fuentes El Puente y Viertentón Quequesque.	126
Gráfico 4-5. Resultados de Caudal, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.	127
Gráfico 4-6. Resultados de Caudal, Marroquín, Fuente El Escondido.....	128
Gráfico 4-7. Resultados de pH, Cusmapa, La Zarca.....	132
Gráfico 4-8. Resultados de CE, Cusmapa, La Zarca.	133
Gráfico 4-9. Resultados de Oxígeno disuelto y Temperatura, Cusmapa, La Zarca.	134
Gráfico 4-10. Resultados de NO ₃ , Cusmapa, La Zarca.	135
Gráfico 4-11. Resultados de PO ₄ , Cusmapa, La Zarca	136
Gráfico 4-12. Resultados de GH, Cusmapa, La Zarca.	137
Gráfico 4-13. Resultados de UFC, Cusmapa, La Zarca.	138
Gráfico 4-14. Resultados de pH, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez. .	144
Gráfico 4-15. Resultados de CE, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez...	145
Gráfico 4-16. Resultados de O ₂ y T, Microcuenca Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.	146
Gráfico 4-17. Resultados de NO ₃ , Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.	147
Gráfico 4-18. Resultados de PO ₄ , Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.	148
Gráfico 4-19. Resultados de GH, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez..	149
Gráfico 4-20. Resultados de UFC, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez	150
Gráfico 4-21. Resultados de pH, Mezcal, fuente La Barranca	155
Gráfico 4-22. Resultados de CE, Mezcal, fuente La Barranca.....	156



Gráfico 4-23. Resultados de O ₂ y T, Mezcal, fuente La Barranca	157
Gráfico 4-24. Resultados de NO ₃ , Mezcal, Fuente la Barranca.....	158
Gráfico 4-25. Resultados de PO ₄ , Mezcal, fuente La Barranca.	158
Gráfico 4-26. Resultados de GH, Mezcal, fuente La Barranca.....	160
Gráfico 4-27. Resultados de UFC, Mezcal, fuente La Barranca.....	160
Gráfico 4-28. Resultados de pH, Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Puente.....	165
Gráfico 4-29. Resultados de CE, Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Puente.....	166
Gráfico 4-30. Resultados de O ₂ y T, Carcaj, fuentes viertentón Quequesque y El Puente.....	167
Gráfico 4-31. Resultados de NO ₃ , Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Puente.....	167
Gráfico 4-32. Resultados de PO ₄ , Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Puente.....	168
Gráfico 4-33. Resultados de GH, Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Puente.....	169
Gráfico 4-34. Resultados de UFC, Carcaj, fuentes El Puente y Viertentón Quequesque.	170
Gráfico 4-35. Resultados de pH, San Juan Buenavista, Fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.	176
Gráfico 4-36. Resultados de CE, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.	177
Gráfico 4-37. Resultados de O ₂ y T, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.	178
Gráfico 4-38. Resultados de NO ₃ , San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla	179
Gráfico 4-39. Resultados de PO ₄ , San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla	180
Gráfico 4-40. Resultados de GH, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla	181



Gráfico 4-41. Resultados de UFC, San Juan Buenavista, fuentes El Supte y Arivas y La Lagunilla.	182
Gráfico 4-42. Resultados de pH, Marroquín, fuente Escondido.	185
Gráfico 4-43. Resultados de CE, Marroquín, fuente Escondido.....	186
Gráfico 4-44. Resultados de O ₂ y T, Marroquín, fuente Escondido.	187
Gráfico 4-45. Resultados de NO ₃ , Marroquín, fuente Escondido.	188
Gráfico 4-46. Resultados de PO ₄ , Marroquín, fuente Escondido	189
Gráfico 4-47. Resultados de GH, Marroquín, fuente Escondido.	189
Gráfico 4-48 Resultados de UFC, Marroquín, fuente El Escondido.	190



LISTADO DE CUADROS

CUADRO	Nº PAG.
Cuadro 2-1. Requerimientos para la identificación de zonas de recarga.	42
Cuadro 2-2. Límites permisibles de características físicas y organolépticas.	59
Cuadro 2-3. Límites máximos permisibles para calidad microbiológica en El Salvador.	60
Cuadro 2-4. Límites Permisibles para calidad de agua a nivel regional.	60
Cuadro 2-6. Índices de Calidad de Agua	64
Cuadro 2-5. Beneficios y limitaciones en el uso del ICA.....	65
Cuadro 3-1. Características generales de la Microcuenca Cusmapa.	80
Cuadro 3-2. Características generales de la Microcuenca Jupula.	82
Cuadro 3-3. Características generales de la Microcuenca Mezcal.	86
Cuadro 3-4. Características generales de la Microcuenca Carcaj.....	89
Cuadro 3-5. Características generales de la Microcuenca San Juan Buenavista.....	92
Cuadro 3-6. Características generales de la Microcuenca Marroquín.....	95
Cuadro 3-7. Metodología de aforo a aplicar en cada fuente de agua en estudio durante el monitoreo hídrico.	102
Cuadro 3-8. Valores permisibles para parámetros de calidad aplicables a El Salvador, Guatemala y Honduras, utilizados para el monitoreo hídrico.	104
Cuadro 3-9. Límites máximos permisibles para calidad microbiológica utilizados en el monitoreo hídrico.....	105
Cuadro 3-10. Parámetros utilizados para la realización del ICAUES/RT. .	107
Cuadro 3-11. Límites permisibles para vida acuática (peces).	112



LISTADO DE TABLAS

TABLA	N° PAG.
Tabla 1-1. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Jupula.....	16
Tabla 1-2. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Cusmapa.....	17
Tabla 1-3. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Mezcal.....	18
Tabla 1-4. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Carcaj.....	19
Tabla 1-5. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca San Juan Buenavista.....	20
Tabla 1-6. Coordenadas geográficas en los puntos de monitoreo, Microcuenca Marroquín.....	21
Tabla 2-1. Fórmulas para la estimación de un ICA.....	73
Tabla 3-1. Escala de subíndices. ICAUES/RT.....	110
Tabla 3-2. Subíndices por cada parámetro de calidad. ICAUES/RT.....	111
Tabla 3-3. Valor de importancia en ser humano y vida acuática. ICAUES/RT.....	113
Tabla 3-4. Pesos Relativos en ser humano y vida acuática, ICAUES/RT. ...	114
Tabla 3-5. Clasificación de ICAUES/RT para consumo humano y vida acuática.....	116
Tabla 4-1. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Cusmapa, fuente La Zarca, El Salvador.....	129
Tabla 4-2. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.....	130
Tabla 4-3. Cultivos más comunes, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.....	131



Tabla 4-4. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.....	131
Tabla 4-5. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.....	132
Tabla 4-6. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Jupula, fuente La Montañita, El Salvador.	139
Tabla 4-7. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Jupula, fuente Posada, El Salvador.	140
Tabla 4-8. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Jupula, fuente Vásquez, El Salvador.	141
Tabla 4-9. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Jupula, El Salvador.	142
Tabla 4-10. Cultivos más comunes, Microcuenca Jupula, El Salvador.	142
Tabla 4-11. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca Jupula, El Salvador.....	143
Tabla 4-12. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Jupula, El Salvador.....	143
Tabla 4-13. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Mezcal, fuente La Barranca, El Salvador.....	152
Tabla 4-14. Prácticas agrícolas más comunes, Mezcal, Guatemala.	153
Tabla 4-15. Cultivos más comunes, Microcuenca Mezcal, Guatemala.	153
Tabla 4-16. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca Mezcal, Guatemala.	154
Tabla 4-17. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Mezcal, Guatemala.....	154
Tabla 4-18. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Carcaj, fuente El Puente, Guatemala.	161
Tabla 4-19. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Carcaj, fuente El Puente, Guatemala.	162



Tabla 4-20. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Carcaj, Guatemala.	163
Tabla 4-21. Cultivos más comunes, Microcuenca Carcaj, Guatemala.	163
Tabla 4-22. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes , Microcuenca Carcaj, Guatemala.	164
Tabla 4-23. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Carcaj, Guatemala.	164
Tabla 4-24. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca San Juan Buenavista, fuente El Supte, Honduras.	171
Tabla 4-25. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca San Juan Buenavista, fuente Arivas, Honduras.	172
Tabla 4-26. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca San Juan Buenavista, fuente La Lagunilla, Honduras.....	173
Tabla 4-27. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.....	174
Tabla 4-28. Cultivos más comunes, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.....	174
Tabla 4-29. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.....	175
Tabla 4-30. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.....	175
Tabla 4-31. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Marroquín, fuente El Escondido, Honduras.....	183
Tabla 4-32. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Marroquín, Honduras.	184
Tabla 4-33. Cultivos más comunes, Microcuenca Marroquín, Honduras.	184
Tabla 4-34. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Marroquín, Honduras.	185



Tabla 4-35. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Cusmapa, Fuente La Zarca.....	192
Tabla 4-38. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Jupula, Fuente Vásquez	194
Tabla 4-36. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Jupula, Fuente Posada.....	195
Tabla 4-39. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Mezcal, Fuente La Barranca	196
Tabla 4-40. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Carcaj, Fuente Viertentón Quequesque	198
Tabla 4-41. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Carcaj, Fuente El Puente	197
Tabla 4-38. Datos de Area de Recarga, Microcuenca San Juan Buenavista, Fuente Supte.....	199
Tabla 4-38. Datos de Area de Recarga, Microcuenca San Juan Buenavista, Fuente Arivas	200
Tabla 4-38. Datos de Area de Recarga, Microcuenca San Juan Buenavista, Fuente La LAgunilla	201
Tabla 4-38. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Marroquín, Fuente El Escondido	202



AGRADECIMIENTOS GENERALES

Agradecemos el apoyo que todas las instituciones y personas nos dieron para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A la **Universidad de El Salvador**, a través de los docentes por permitir realizar la investigación aprobando el tema de esta tesis.

Al **Programa “Bosques y Agua”**, por todo el apoyo tanto técnico como humano, agradeciendo a todas las personas que nos permitieron trabajar en conjunto como un equipo, su calidad como compañeros y su ayuda para poder llevar a cabo todas las actividades necesarias para conformar este trabajo de grado. Gracias al programa por darnos la oportunidad de realizar un trabajo tan satisfactorio como éste.

Al **Ing. Max Adalberto Hernández**, por habernos permitido trabajar con él, fue de gran ayuda con sus consejos y recomendaciones, por dar su aprobación a este trabajo de grado e incentivar al desarrollo de actividades con otras instituciones, que están formadas por experiencias nuevas y gratificantes.



DEDICATORIA

A nuestro **Padre Celestial**, por el amor, sabiduría y fortaleza durante todos estos años, su constante ayuda en mi vida, por acompañarme en todo momento y siempre estar a mi lado cuando lo necesito.

A la **Virgen Santísima**, porque su amor se ha extendido a través de toda mi vida, su intercesión, y su ayuda han conformado mi fuerza.

A mis **Amados Padres**, Rebeca de Rodríguez, Angela Melgar, Rafael Octavio Rodríguez, Hugo Zambrano, a los que amo y agradezco su tan incondicional apoyo y cariño, todos ustedes han sido mi inspiración y ánimo en todo momento, mi sincero agradecimiento por todo su amor y ser mi soporte.

Al **Ingeniero José Roberto Duarte**, por su dirección, enseñanzas, amistad y ayuda en todo el desarrollo de este trabajo de grado, gracias por su apoyo.

Al **Ingeniero Wolfram Maennling**, agradeciéndole por el amigo encontrado en él y su confianza puesta en nosotros, además de permitirnos involucrarnos y formar parte de esta investigación, por el trato tan cordial y ameno que siempre nos proporcionó.

A la **Ingeniero Evelin Barrientos**, por su ayuda y compañerismo ofrecido durante todo este tiempo.

Al **Ingeniero Otto Rodríguez**, por su compañía, ayuda y su siempre sentido del humor, además de ofrecernos su amistad

A mis **Compañeros de Trabajo de Grado**, Brenda y José Antonio, a quienes quiero mucho y me ofrecieron su amistad y cariño, durante todo este tiempo de convivencia de aliento y desalientos, además de enseñarme que la unión hace la fuerza y que el amor hace todo. Aprendí mucho junto a ustedes, gracias por ser un equipo y más que ello, un grupo de amigos.

ELISA MARÍA ZAMBRANO MELGAR.



DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO Y LA SANTÍSIMA VIRGEN DE GUADALUPE, por permitirme culminar mi carrera con éxito y satisfacción personal junto a un excelente grupo de trabajo y amigos, y por permitirme vivir cada día sabiendo que siempre hay algo mejor para mí y la gente que quiero.

A mis Padres, por el total apoyo que me brindaron, no sólo durante el desarrollo de este trabajo de grado, sino en todos estos años atrás, gracias por haberme ayudado a convertirme en la persona que en este momento soy, y por la que he de llegar a ser.

Al Ing. Wolfram Maennling, por la oportunidad de involucrarnos en este trabajo de grado que ha sido una experiencia completamente satisfactoria.

Al Ing. José Roberto Duarte Saldaña, por todo el apoyo técnico y la amistad que nos ha brindado, por habernos permitido aprender tanto de su conocimiento académico y de su experiencia de vida.

A mis compañeros de trabajo de grado, Elisa y José Antonio, por haberme permitido formar un vínculo de profunda amistad y haber fomentado la madurez de grupo para corregir nuestros errores con las mejores intenciones.

A los Ingenieros Evelin Barrientos y Otto Rodríguez, por haber formado parte del equipo de trabajo en campo y por todo la amistad incondicional brindada en este tiempo.

Agradecimiento especial a mi amigo César Rivas, por todo el apoyo moral que me brindó a pesar de la distancia, en el tiempo de realización de este trabajo de grado y por haber sido mi soporte en los momentos de flaqueza.

BRENDA GUADALUPE RUIZ PÉREZ



DEDICATORIA

A Dios todo poderoso y a nuestro señor Jesucristo por brindarme fuerzas, protección en todo momento, por permitirme alcanzar uno de mis sueños, por siempre ser el guía de mi camino y nunca desampararme.

A mi madre Irma Leticia portillo por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, por guiarme por el buen camino, por estar ahí cuando la necesito, porque gracias a usted soy la persona quien soy en estos momentos y he llegado hasta aquí, por luchar ante todo por mí y mis hermanos por ese amor que siempre nos ha dado.

A mi padre Mario Antonio Magaña (Q.E.P.D.) fue corto el tiempo que compartimos pero lo recuerdo con mucho cariño, y sé que en todos estos años siempre ha estado con migo en espíritu, y que me ha cuidado en cada paso que doy y este pequeño triunfo que estoy dando en la vida en gran parte se lo debo.

A mis hermanos Mario e Irma Magaña gracias por brindarme todo su apoyo incondicional siempre, por mantenernos juntos en todo momento por todos los momentos que buenos que hemos pasado

A mis compañeras de tesis **Elisa Zambrano y Brenda Ruiz** por ser unas muy buenas compañeras y más que eso por ser unas muy buenas amigas, no solo en el trabajo de grado si no a lo largo de toda la carrera, por permitirme desarrollarme como persona y profesional a su lado. Por brindarme todo su cariño.

A la Ing. Evelin Barrientos por ser una buena amiga por brindarnos su apoyo y amistad siempre no solo en el trabajo de grado si no dentro de la u y por aguantarme en nuestras disputas.



A **Otto Rodríguez** por brindarnos su apoyo, compañía, ayuda en el transcurso de la tesis, y por ser un buen compañero

Al **Ing. José Roberto Duarte** por brindarnos su apoyo a lo largo de nuestro trabajo de grado y dotarnos de conocimientos tanto de la vida como del aspecto laboral y en especial por brindarnos su amistad.

Al **Ing. Wolfram Maennling** por darnos la oportunidad de poder desarrollarnos en esta grata experiencia y por depositar la confianza en nosotros y mas que todo por brindarnos su amistad.

A toda mi familia que de una u otro manera me han apoyado y me han ayudado a salir adelante

A mis compañeros de Universidad por brindarme todo su apoyo y por la amistad que hemos tenido a lo largo la esta carrera

A todas las personas que de una u otra manera le pedimos su apoyo para realizar nuestros trabajos

JOSÉ ANTONIO MAGAÑA PORTILLO



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los recursos hídricos tienen gran relevancia debido al potencial uso que poseen para el medio ambiente y el ser humano como individuo en sociedad. Debido a ello, tanto instituciones gubernamentales como ONG`s, se enfocan en proyectos destinados a la conservación y sostenibilidad del agua.

Actualmente los cuerpos de agua están sufriendo un constante deterioro, a causa del uso de agroquímicos y descargas de aguas residuales domésticas e industriales, por lo cual los esfuerzos de algunas instituciones se enfocan en proyectos que ayuden al mantenimiento y preservación de aquellas zonas de recarga hídrica, para asegurar estas fuentes abastecedoras de agua como permanentes pudiendo ser utilizadas por presente y futuras generaciones.

La Región Trifinio, es una de las zonas de recarga hídrica más importantes a nivel de El Salvador, Guatemala y Honduras, zona en la cual se enfoca, la temática tratada en el presente trabajo de grado, a través de los resultados obtenidos durante el desarrollo de un monitoreo hídrico, tanto de cantidad como de indicadores de calidad del agua en fuentes asociadas a zonas de recarga en seis microcuencas de la Región.

El trabajo de grado, se enfoca en el Capítulo I, en la importancia, delimitaciones, objetivos y otros aspectos relevantes que marcan la base del trabajo de investigación realizado.

En el Capítulo II, se plantea la base teórica sobre la cual se desarrolla la investigación, los tipos de áreas de recarga que existen, tipos de modelos productivos actuales, teoría básica sobre la delimitación de áreas de recarga, historia de los índices de calidad del agua, entre otros.



En el capítulo III se enmarca toda la metodología utilizada para la realización de actividades tanto de campo como de procesamiento de datos, tal como visitas de reconocimiento a las fuentes de estudio, delimitación de áreas de recarga y desarrollo del Índice de Calidad del Agua ICAUES/RT.

En el Capítulo IV se muestran, los análisis y resultados obtenidos a partir de la información recopilada en la investigación de campo, tal como resultados de la aplicación del ICAUES/RT para las fuentes de agua, análisis de los parámetros de calidad, análisis de resultados para caudales y resultados de la delimitación de áreas de recarga de las fuentes. Así también, se explica brevemente el resultado de la sistematización de los datos obtenidos en el monitoreo hídrico, utilizando la plataforma ArcGIS en su versión 9.3.

En el Capítulo V, se desarrolla la metodología general propuesta, para la realización en campo de un monitoreo hídrico de aguas superficiales, metodología elaborada de manera sencilla con la finalidad de ser útil y entendible para cualquier persona interesada en aplicarla.

Finalmente, se presenta en el capítulo VI, las conclusiones y recomendaciones pertinentes de acuerdo al desarrollo y resultados obtenidos con la investigación.



CAPITULO I: GENERALIDADES

Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura



1.1 ANTECEDENTES.

1.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA REGION TRIFINIO.

El área del Trifinio comprende 7,541 km², 44.7% Guatemala, 15.3% El Salvador, 40% Honduras (Figura 1-1). La población en esta región es aproximadamente de 709,388 personas, 313,486 para la zona de Guatemala, 115,377 para la zona de El Salvador y 280,525 para la zona de Honduras¹.

Figura1-1. Área que conforma la Región Trifinio.



Fuente: Imágenes satelitales de Google, 2010.

Las tres zonas principales con características propias que constituyen al Trifinio son: Montecristo con su Bosque Nuboso, el cual es el núcleo de la zona y reserva ecológica; el centro nervioso de las actividades políticas, administrativas y comerciales lo integra el triángulo Esquipulas-Nueva Ocotepeque-Metapán; la periferia y área más extensa, contiene los proyectos desarrollistas de crecimiento económico, infraestructura y desarrollo social.

¹ Basado en el documento "Motores de Crecimiento de la Región Trifinio", Informe Final presentado a la Comisión Trinacional del Plan Trifinio, 2008.



Dentro de los recursos hídricos con que cuenta están tres ríos de importancia: Río Lempa, Río Motagua y Río Ulúa.

La Región Trinacional tiene tres zonas climáticas, clasificadas con base a temperatura y precipitación, las cuales son, la Sabana Tropical Caliente, Sabana Tropical Templada Clima Tropical de las Alturas.

Además, la Región Trinacional cuenta con una serie de ecosistemas:

- Bosque Seco Tropical: La biotemperatura es de 24.2 °C y la precipitación promedio anual de 1,301 mm.
- Bosque Húmedo Subtropical: La biotemperatura promedio anual es de 24 °C y la precipitación varía desde 1,400 a 2,000 mm.
- Bosque muy Húmedo Subtropical: La biotemperatura de 22 °C y la precipitación promedio anual es de 2,000 mm promedio anual.
- Bosque Muy Húmedo Montano: 2500 a 2700 msnm; temperatura de 6-12 °C y la precipitación anual es de 1000 a 2000 mm.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS DEL TRIFINIO.

Las características de los recursos naturales con que dispone la región, la infraestructura existente y el potencial socio-económico que pueden ser aprovechados, se basan en los recursos hídricos de importancia Trinacional y los recursos boscosos con los que cuenta y que son de interés mundial, los cuales constituyen una fuente de ingresos a los habitantes locales aprovechando las zonas de vocación agrícola, así como también son fuentes de atracción turística regional y mundial, haciendo uso además para ello de la red de carreteras y comunicaciones disponibles. Dentro de los recursos naturales aprovechables y



más destacados están el Bosque Nuboso de Montecristo, la Biosfera de la Fraternidad y los ríos más importantes Lempa, Motagua y Ulúa.

1.1.3 COMISIÓN TRINACIONAL DEL PLAN TRIFINIO.

La Comisión Trinacional está Integrada por los Vicepresidentes de Guatemala, Honduras, El Salvador. Fue establecida en el marco del Tratado Trinacional para la ejecución del Plan Trifinio, suscrito el 31 de octubre de 1997 y ratificado por los Congresos de Guatemala y Honduras y la Asamblea Legislativa de El Salvador. Dicho plan nace como consecuencia del esfuerzo por la conservación forestal en defensa del Bosque Nuboso de Montecristo, en el punto de confluencia de las fronteras de El Salvador, Guatemala y Honduras.

La Comisión Trinacional del Plan Trifinio es un instrumento de integración trinacional, a través del cohesionamiento social y fortalecimiento de las relaciones comerciales entre las poblaciones fronterizas de los tres países, de la interconexión de sus redes viales, energéticas y de comunicaciones, de la complementariedad de sus servicios sociales y profesionales, de la estructuración institucional trinacional necesaria para la conducción y acompañamiento del plan, tanto administrativa, financiera y jurídicamente, y de la interacción humana a nivel gubernamental, político, técnico, empresarial y popular, por lo cual, adicionalmente al objetivo forestal que generó el Plan Trifinio, éste se orienta hacia fines económicos, sociales y político-integracionistas que, por sí solos, podrían justificar suficientemente los esfuerzos de los tres países por lograr su realización, sin olvidar el objetivo original.

Las reuniones y consultas con las autoridades nacionales de los tres países culminaron en la delimitación actual del área del Plan de Desarrollo Integral de la Región del Trifinio, en la que se incluyen 8 municipios de El Salvador, 15 de



Guatemala y 22 de Honduras, coincidiendo los límites exteriores con los municipales, por conveniencia de análisis estadístico para planificación y proyecciones, identificándose al mismo tiempo una franja de conservación forestal y una franja de usos múltiples.

Dentro de los subprogramas que se generaron para la conservación de los recursos naturales en el Bosque Nuboso Montecristo se encuentran:

Proyecto T-1: Manejo de la Reserva de la Biosfera "La Fraternidad" o Trifinio.

Proyecto T-2: Desarrollo de las Cuencas Hidrográficas Multinacionales Lempa y Motagua. (*Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1992*)

Ambos, concebidos con el fin de mejorar el nivel de ingresos y condiciones de vida de la población de la zona.

1.1.4 PROGRAMA "BOSQUES Y AGUA".

El programa supra-regional "Protección del Bosque Tropical y Administración de Cuencas Hidrográficas en la Región Trifinio" (CAMARENA) / GTZ apoya a la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) y a aliados locales, en el fomento y la implementación del uso sostenible de los recursos naturales para asegurar los recursos hídricos regionales.

El programa "Bosques y Agua", se inició en el año 2009, teniendo como objetivo general el fomento y la implementación transfronteriza de la gestión sostenible de recursos naturales en el Trifinio, con énfasis en el recurso agua.

Bosques y Agua consta de tres componentes:



1) Modelos replicables para el manejo sostenible de recursos naturales:

Este componente tiene dentro de sus objetivos específicos incidir en la adaptación al cambio climático, asegurar la función de la Región Trifinio como productora y abastecedora de agua para El Salvador, Guatemala y Honduras; contribuir a la reducción de la pobreza; impulsar un proceso de desarrollo sustentable con enfoque de género y hacia los jóvenes, priorizando los pueblos originarios (Chortí y Lenca) y ; promover la integración trinacional - El Salvador, Guatemala y Honduras - en la Región Trifinio. Dentro de este componente se desarrollan diferentes actividades productivas de manejo sostenible de los recursos naturales: “Bosque como Ecosistema”, “Sistemas Agroforestales” y “Sistemas Silvopastoriles”, éste último, rescata las experiencias en manejo y prevención de incendios forestales de un proyecto GTZ realizado en el lado salvadoreño del Trifinio para difundirlas a toda la región. Con estos modelos además se pretende mejorar las condiciones de vida de los pobladores locales.

Para la realización de estas actividades, se efectuó un estudio hidrogeológico basado en información cartográfica, geológica e hídrica existente disponible sobre la Región Trifinio así como también basándose en la observación directa realizada en campo, estudiando las zonas posibles de recarga y que fuesen de interés social para la implementación de los modelos productivos (zonas en extrema pobreza, tierras pertenecientes a varios productores, zonas dañadas por las prácticas agrícolas).

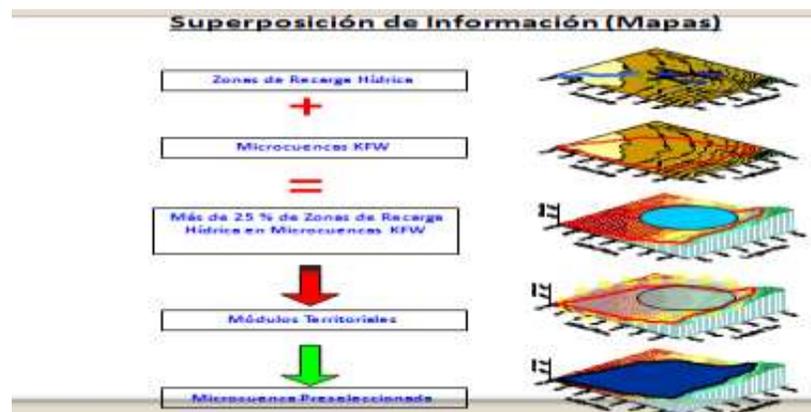
Con base a este estudio, se seleccionaron 6 microcuencas tomando en cuenta los siguientes criterios (Figura 1-2):



- Que el área comprendida por la Microcuenca fuese una zona potencial de recarga hídrica, es decir que sus características sean propicias para facilitar el proceso constante de recarga de acuíferos.
- Las microcuencas seleccionadas debían ser parte de estudios anteriores realizados por el Banco de Crédito para la Reconstrucción KFW de Alemania, en las zonas de interés.
- Como mínimo el 25% del área comprendida por la Microcuenca debía ser una zona de potencial recarga hídrica, lo cual aseguraría que esta zona es la que alimenta a las posibles fuentes de estudio.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se realizó una superposición de mapas que consideran esta información, obteniendo como resultado, una preselección de posibles microcuencas a intervenir que cumplieran con los requisitos descritos anteriormente y dando como resultado una preselección de microcuencas, entre ellas, la Microcuenca Jupula en El Salvador, Carcaj en Guatemala, Marroquín en Honduras entre otras, resultando de este proceso 1197.5 km² de posible área de intervención.

Figura 1-2. Superposición de mapas en la realización del estudio hidrogeológico para la selección de microcuencas en estudio.



Fuente: Programa “Bosques y Agua”, 2010.



Para llevar a cabo la selección de las microcuencas en estudio, el conjunto de técnicos del Programa “Bosques y Agua”, tomó a partir de sus conocimientos sobre recargas hídricas y manejo integral de microcuencas, una serie de consideraciones específicas para la identificación de aquellas que serían candidatas para ser objeto de la implementación de los modelos productivos.

Siendo éstas consideraciones las siguientes:

- Ser áreas de recarga hidrológica para producción de agua, es decir, ser zonas de alimentación de acuíferos, para lo cual se consideró que el 25% de la recarga hídrica debía estar dentro de la Microcuenca. Esta identificación fue realizada con base a estudios hidrogeológicos/hidrológicos de la Región Trifinio.
- Ser zonas de vulnerabilidad ecológica, ya sea por deslizamientos, inundaciones, u otro efecto del cambio climático,
- Ser microcuencas parte de municipios priorizados por estudios anteriores de KFW.
- Poseer una organización social de productores y gobernabilidad local favorable para un eco-desarrollo.
- Encontrarse en un estado de vulnerabilidad económica, es decir, comunidades con alto riesgo de pobreza o muy pobres.
- Contar con presencia de poblaciones indígenas.
- Poseer potencial para producción agroforestal y silvopastoril sustentable.



Paralelo a la preselección, se realizaron actividades para la identificación de productores y asociaciones que fuesen posibles aliados en la implementación de los modelos productivos.

Posterior a esta etapa de preselección de microcuencas, el equipo técnico del Programa “Bosques y Agua”, llevó a cabo actividades de campo y de gabinete con la finalidad de identificar las áreas finales de intervención, los aliados para la implementación y la realización de estudios específicos en área de recarga, comprobación de capa vegetal y tenencia de la tierra. Al realizar la calificación final de las microcuencas, en base a los parámetros previamente mencionados, resultaron seis microcuencas como lo muestra el Mapa 1-1, en las que se implementarían los modelos productivos: Cusmapa, Jupula y El Rosario en El Salvador, Carcaj y Mezcal en Guatemala, y, San Juan Buenavista y Marroquín en Honduras, donde a partir de la época lluviosa del año 2010 se desarrollarán los modelos en cooperación con diferentes actores locales. Con estos mismos actores locales y con fondos de la KFW, la Comisión Trinacional del Plan Trifinio, pretende aplicar los modelos en forma masiva en varias partes de la región.

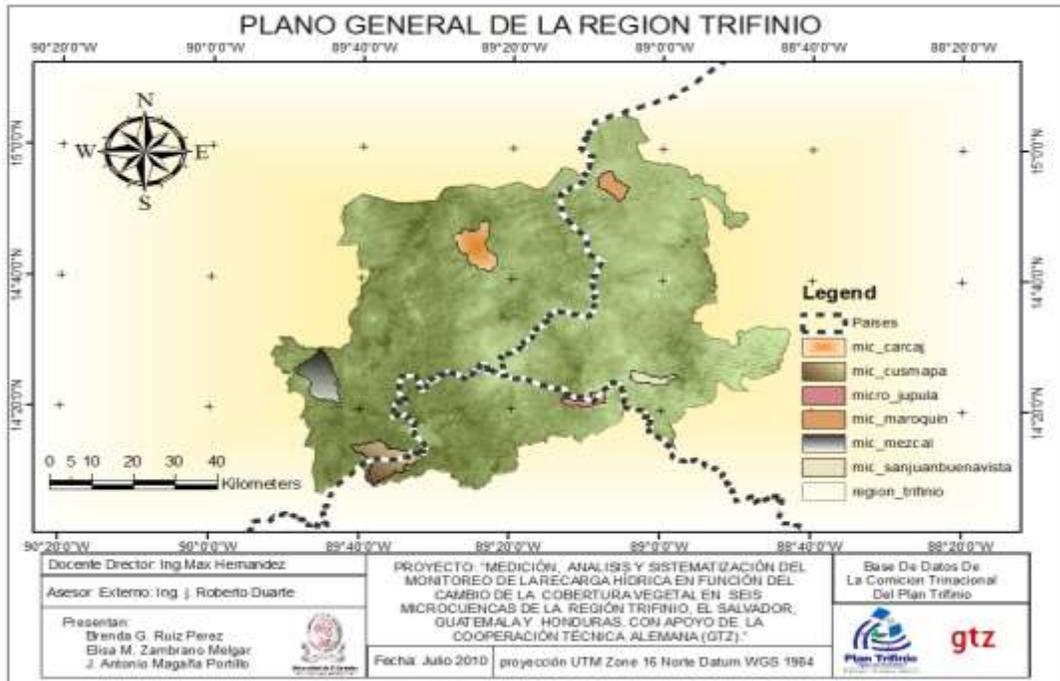
En este primer componente, está incluido el monitoreo de los recursos hídricos en las microcuencas seleccionadas como lo muestra la Figura 1-3.

2) Fortalecimiento institucional para la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) y actores locales:

Busca fortalecer a la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) y organizaciones locales relevantes para el manejo de los recursos naturales del área, como son mancomunidades, municipalidades, ONG’s y asociaciones de productores. La CTPT quiere promover mejoras en su funcionamiento, modificando su organigrama y redefiniendo los roles de sus integrantes.

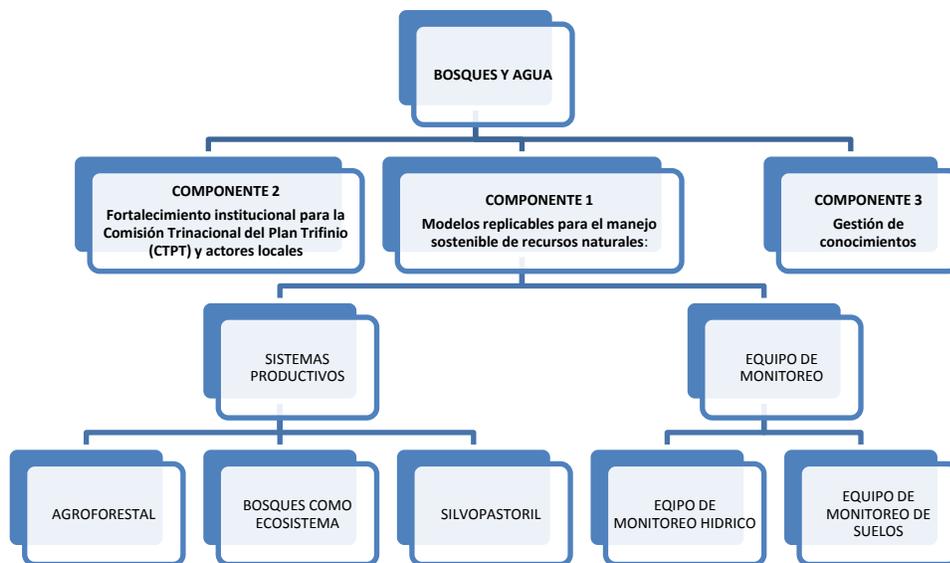


Mapa 1-1: Microcuencas seleccionadas dentro de la Región Trifinio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-3. Flujograma de los componentes del Programa “Bosques y Agua”



Fuente: Elaboración propia.



Además en este componente se trabaja en la estandarización de los procesos para la formulación, planificación y monitoreo de proyectos y en la elaboración de una estrategia de comunicación. Como primer paso se introdujo la metodología de *Capacity Works*, la cual consiste en un modelo de gestión para la conducción de proyectos o programas complejos ofreciendo un enfoque estructurado en términos de gestión que abre espacios de acción para la formulación de las funciones y tareas respectivas.

3) Gestión de conocimientos:

Busca fortalecer el sistema de gestión de conocimientos de la Comisión Trinacional del Plan Trifinio con el fin de mejorar la disponibilidad de información relevante, dentro y fuera de la región del Trifinio, para el manejo sostenible de recursos naturales facilitando el intercambio de experiencias a nivel Centroamericano.

Las contribuciones a la lucha contra la pobreza, la conservación de la biodiversidad, la protección de la fertilidad de los suelos, la adaptación al cambio climático, la prevención de conflictos y la integración regional son efectos de suma importancia en el proyecto.

1.1.5 PARÁMETROS PARA LA UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO.

La ubicación de los puntos de monitoreo está íntimamente relacionada a las condiciones locales, que varían de acuerdo al lugar. Ante todo, se debe obtener información sobre el área de influencia del objeto hidrográfico a ser estudiado tal como localización exacta de los puntos, por medio de mapas cartográficos y visitas a los propios lugares.



Dentro del proceso de implementación de un monitoreo de cantidad y calidad del recurso hídrico, es importante la selección de sitios fijos en los cuales se pueda llevar a cabo el proceso, ya que es de esta manera, en que se podrá dar un correcto seguimiento del mismo.

Para la selección de estos puntos de monitoreo, debe tomarse en cuenta algunos parámetros:

- Que la sección a utilizar para la medición de cantidad de agua, sea siempre la misma, es decir debe escogerse un punto de tal manera que la sección sea siempre la misma en todas las mediciones.
- Seleccionar un punto en el cual sea factible la medición tanto en época seca como en época lluviosa.
- Que el espacio en el punto de monitoreo sea tal, que permita manipular los instrumentos de medición de manera cómoda y segura con el fin de evitar en lo posible que los errores humanos influyan en los resultados.

1.1.6 PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE PARCELAS PRODUCTIVAS.

Para la selección de las parcelas productivas a ser intervenidas con los modelos, los técnicos del programa “Bosques y Agua”, llevaron a cabo visitas de campo e investigaciones de gabinete sobre las microcuencas seleccionadas, con la finalidad de identificar aquellas parcelas que fuesen candidatas ideales para ser intervenidas.

Por ello, se tomaron en cuenta ciertos criterios que facilitarían la selección de estas parcelas:



- Que la parcela se encuentre dentro del área de recarga hídrica, para que los cambios de uso de suelo que puedan realizarse tengan efecto en la calidad y cantidad del agua. Por lo cual, si el área identificada es sólo de bosque, se descarta ya que no es posible el cambio de uso de suelo.
- Que la tenencia de la tierra no esté en poder de una sola persona. Uno de los objetivos del Programa “Bosques y Agua” es trabajar en la reducción de la pobreza, por lo cual, si la parcela es solo de un dueño, la inversión directa por parte del programa sería solo para una persona, que por deducción, sería una persona con muchos recursos económicos.
- Que la zona en la que estén ubicadas las parcelas sea de alta recarga hídrica. Para identificar estas zonas, se hace uso de estudios hidrogeológicos previamente realizados.
- La parcela productiva idealmente debe estar en un municipio con un gobierno que trabaje transparentemente en la canalización de fondos, con lo cual se busca la sostenibilidad a través de las municipalidades involucradas.
- Que la parcela esté degradada por el uso de suelo, para poder observar los impactos luego de la implementación de los modelos productivos.

1.1.7 PUNTOS DE MONITOREO SELECCIONADOS.

Los puntos de monitoreo seleccionados para llevar a cabo el monitoreo del recurso hídrico son:



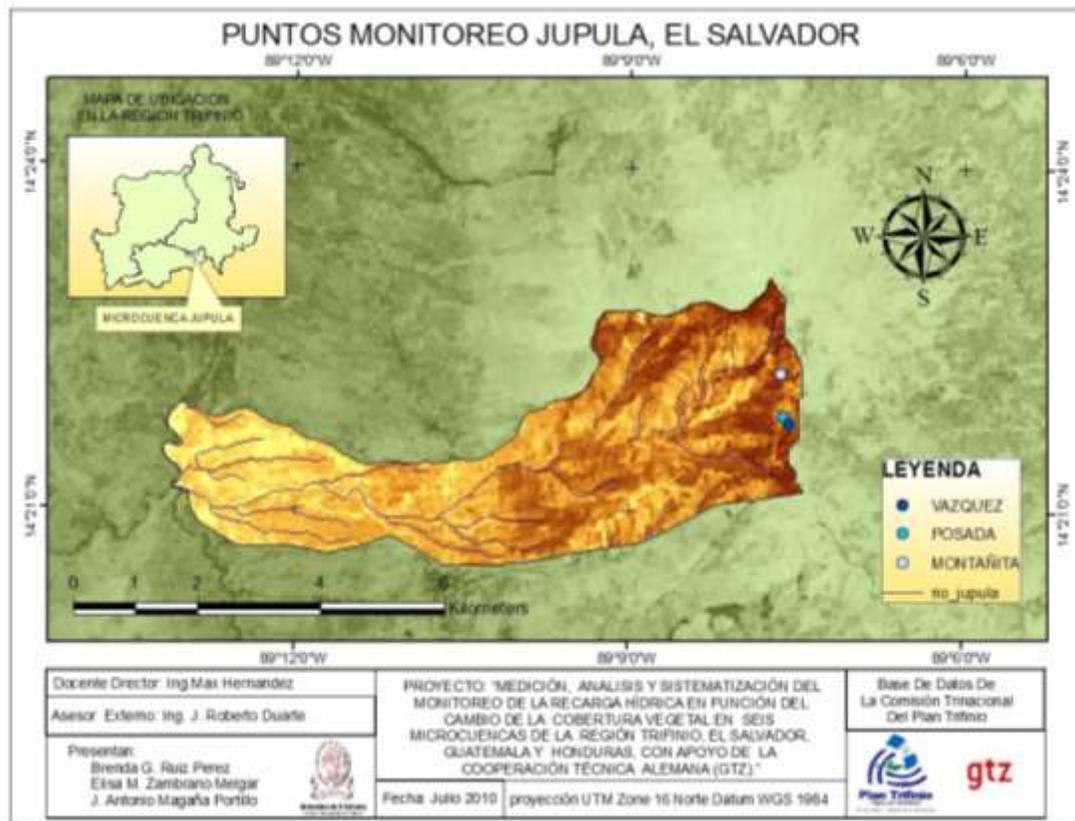
- **EL SALVADOR:**

Tabla 1-1. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Jupula.

MICROCUENCA JUPULA			
Fuente	Coordenada N	Coordenada W	Elevación
Vásquez	14°21'45.9"	89°07'33.4"	2150
Posada	14°21'49.5"	89°07'36.7"	2125
La Montañita	14°22'12.18"	89°07'37.92"	2163

Fuente: Elaboración propia.

Mapa 1-2. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Jupula.



Fuente: Elaboración propia.



Tabla 1-2. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Cusmapa.

MICROCUENCA CUSMAPA			
Fuente	Coordenada N	Coordenada W	Elevación msnm
La Zarca	14°09'17.9"	89°38'39.3"	831

Fuente: Elaboración propia.

Mapa 1-3. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Cusmapa.



Fuente: Elaboración propia.



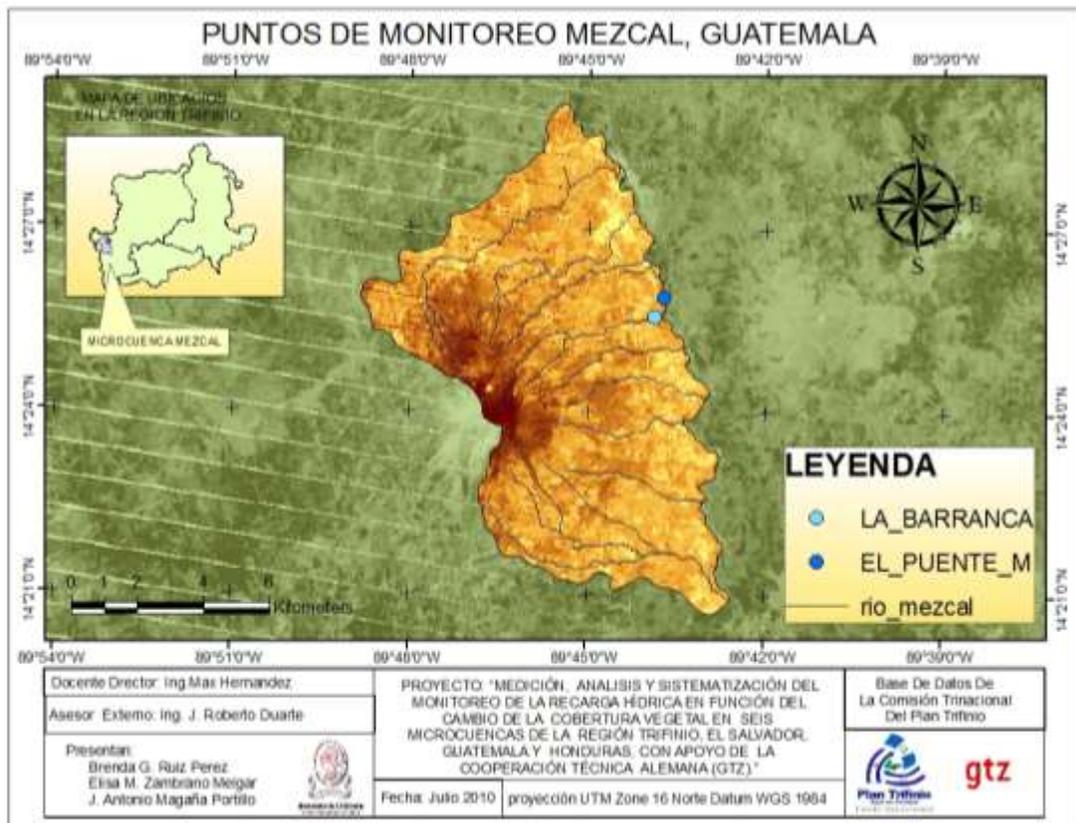
• GUATEMALA:

Tabla 1-3. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Mezcal.

MICROCUENCA MEZCAL			
Fuente	Coordenada N	Coordenada W	Elevación msnm
La Barranca	14°25'33.4"	89°43'52.5"	677
El Puente	14°25'52.3"	89°43'42.5"	655

Fuente: Elaboración propia.

Mapa 1-4. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Mezcal.



Fuente: Elaboración propia.

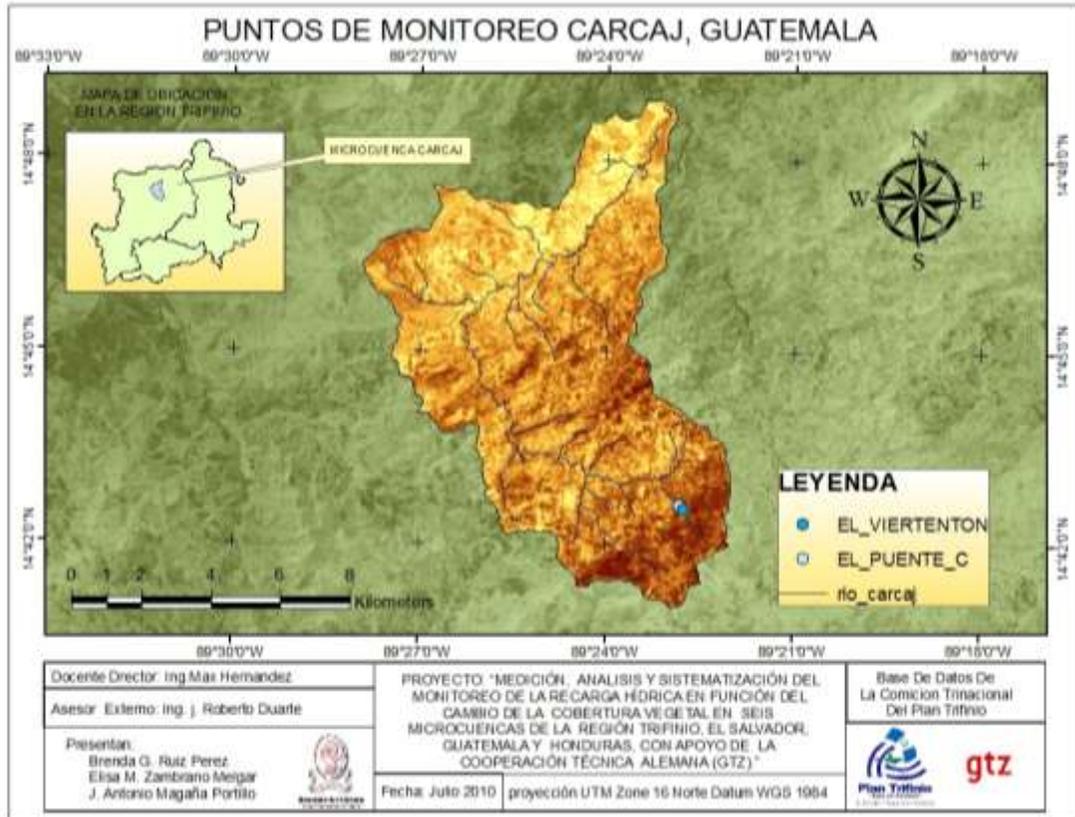


Tabla 1-4. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca Carcaj.

MICROCUENCA CARCAJ			
Fuente	Coordenada N	Coordenada W	Elevación msnm
El Viertentón	14°42'32.3"	89°22'45.6"	1249
El Puente	14°42'36.4"	89°22'49.4"	1170

.Fuente: Elaboración propia.

Mapa 1-5. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Carcaj



.Fuente: Elaboración propia.



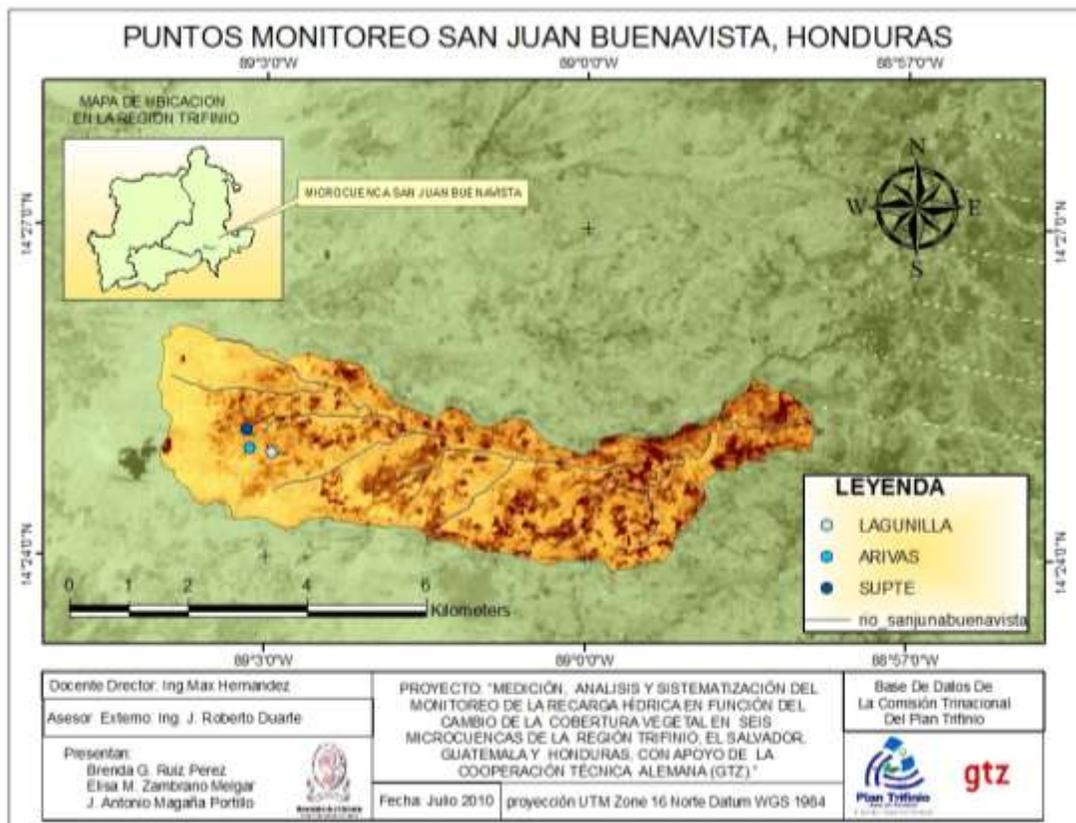
• HONDURAS:

Tabla 1-5. Coordenadas geográficas de los puntos de monitoreo, Microcuenca San Juan Buenavista.

MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA			
Fuente	Coordenada N	Coordenada W	Elevación msnm
El Supte	14°25'08.5"	89°03'10.5"	1981
Arivas	14°24'59.89"	89°03'08.53"	1994
La Lagunilla	14°24'58.5"	89°02'56.58"	1951

Fuente: Elaboración propia.

Mapa 1-6. Puntos de monitoreo en la Microcuenca San Juan Buenavista



Fuente: Elaboración propia.

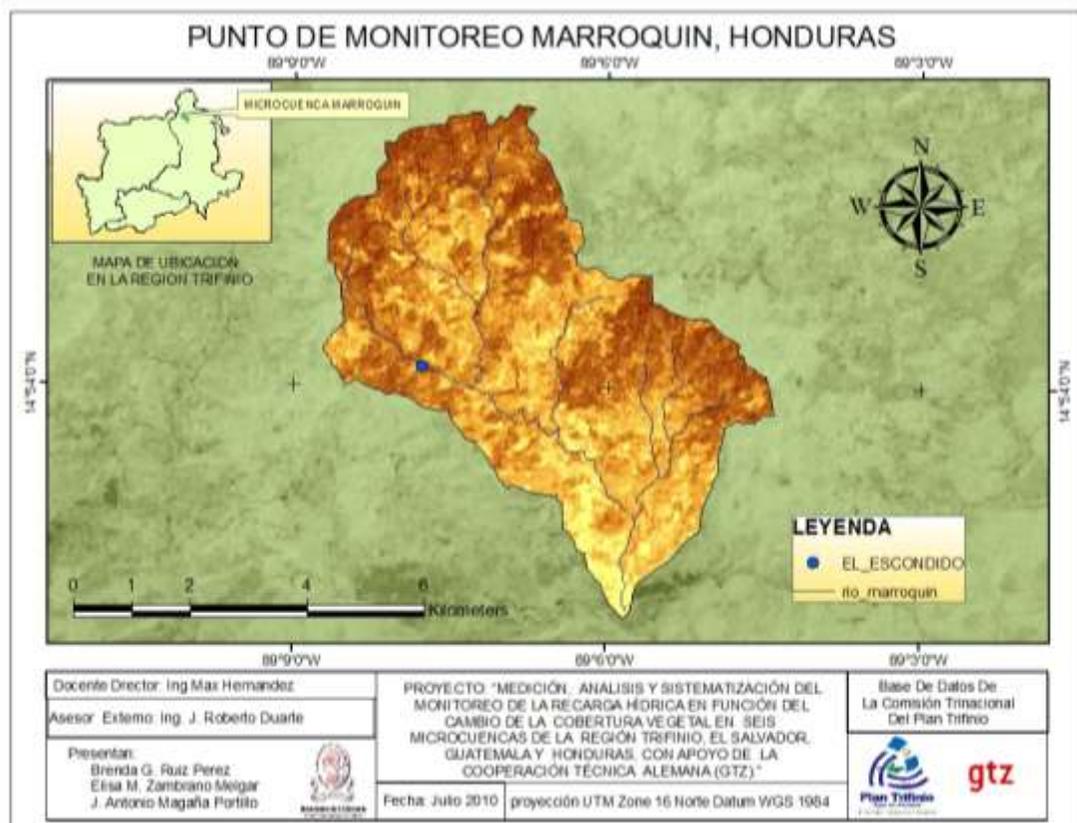


Tabla 1-6. Coordenadas geográficas en los puntos de monitoreo, Microcuenca Marroquín.

MICROCUENCA MARROQUÍN			
Fuente	Coordenada N	Coordenada W	Elevación msnm
El Escondido	14°54'10.6"	89°07'46.2"	961

Fuente: Elaboración propia.

Mapa 1-7. Puntos de monitoreo en la Microcuenca Marroquín.



Fuente: Elaboración propia.



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La Región Trifinio está limitada por 45 municipios fronterizos, situados alrededor del conocido Punto Trifinio, cuya geología se caracteriza por ser una zona altamente fracturada, sitio en el cual coinciden los límites nacionales de Guatemala, Honduras y El Salvador. Comprende 7,541 km², 44.7% Guatemala, 15.3% El Salvador, 40% Honduras y la población es aproximadamente de 700,304 personas.

En materia ambiental la Región Trifinio es de gran importancia a nivel Trinacional, ya que es un corredor biológico natural que posee recursos con gran potencial socioeconómico dentro de los cuales se puede mencionar los recursos hídricos superficiales y subterráneos, la flora y la fauna, que pueden ser aprovechados tanto a nivel regional como a nivel nacional en los tres países involucrados El Salvador, Guatemala y Honduras.

En la Región Trifinio, se han desarrollado programas cuyos trabajos han sido enfocados al manejo integral de cuencas, sin embargo, en el marco de las investigaciones sobre los recursos hídricos en dicha Región, hay un déficit de registros de información en cuanto a la variación de la recarga de los acuíferos, mediante la infiltración del agua precipitada, en función de las variables pendiente, cobertura vegetal, y tipo de suelo. Estos programas desarrollados en la Región, no han tenido continuidad, sino, han terminado al momento de finalizar la intervención de las instituciones que llevan a cabo la ejecución de dichos programas. Asociado al déficit de información, el desconocimiento de la calidad de las fuentes abastecedoras de agua, impide el desarrollo de medidas de saneamiento al recurso hídrico.



A consecuencia de ello, el Programa “Bosques y Agua”, implementará los modelos productivos “Bosque como Ecosistema”, Sistema Silvopastoril y Sistema Agroforestal, en las microcuencas seleccionadas, para lo cual, se precisa de un monitoreo hídrico de medición del impacto de estos modelos en la variabilidad del caudal y de determinados parámetros de calidad, en fuentes de agua que abastecen a comunidades dentro de estas microcuencas, con lo cual se permita obtener una línea base de información tanto de cantidad como de indicadores de calidad del agua, que tendrán una correlación en el tiempo conforme a los impactos producto de la implementación de los Modelos productivos.

Para desarrollar el monitoreo participativo dentro de la Región Trifinio, se delimitará la zona de estudio en seis microcuencas, de las cuales tres pertenecen a El Salvador, dos a Guatemala y dos a Honduras:

1- Microcuenca Jupula, Departamento de Chalatenango, El Salvador.

La Microcuenca Jupula posee un área de 23.68 km² y se encuentra en los municipios de Citalá, La Palma y San Ignacio, Departamento de Chalatenango, El Salvador. Su temperatura promedio anual es de 18° C. La Microcuenca Jupula se muestra en el Mapa 1-8.

2- Microcuenca Cusmapa, Departamento de Santa Ana, El Salvador.

De los municipios que comprenden la Microcuenca Cusmapa se encuentra San Antonio Pajonal, Candelaria la Frontera en el Departamento de Santa Ana, El Salvador y por parte de Guatemala el Municipio de Asunción Mita. La Microcuenca Cusmapa cuenta con una extensión territorial entre ambos países de 99.1 km² y una temperatura promedio de 25 °C. La Microcuenca Cusmapa se muestra en el Mapa 1-8.



3- Microcuenca Mezcal, Departamento de Jutiapa, Guatemala.

La Microcuenca se ubica en el Municipio de Santa Catarina Mita, Departamento de Jutiapa, Guatemala. Posee un área de 89.1 km² y una temperatura promedio anual de 24 °C. La Microcuenca Mezcal se muestra en el Mapa 1-9.

4- Microcuenca Carcaj, Departamento de Chiquimula, Guatemala.

Se encuentra en el Municipio de San Juan Ermita, Departamento de Chiquimula, Guatemala. Posee un área de 81.76 km² y una temperatura promedio anual de 23 °C. La Microcuenca Carcaj se muestra en el Mapa 1-9.

5- Microcuenca San Juan Buena Vista, Departamento de Ocotepeque, Honduras.

Se encuentra dentro de los límites de la Reserva Biológica Güisayote y comprende los municipios de La Labor, San Francisco del Valle, San Marcos, Mercedes, Sinuapa y Fraternidad, Departamento de Ocotepeque. Posee un área de 23 km² y una temperatura promedio anual de 19 °C. La Microcuenca San Juan Buenavista se muestra en el Mapa 1-10.

6- Microcuenca Marroquín, Departamento de Copán, Honduras.

La Microcuenca Marroquín se encuentra ubicada en el Municipio de Santa Rita, Copán, Departamento de Copán. Posee un área de 32.9 km² y una temperatura promedio anual de 23 °C. La Microcuenca Marroquín se muestra en el Mapa 1-10.



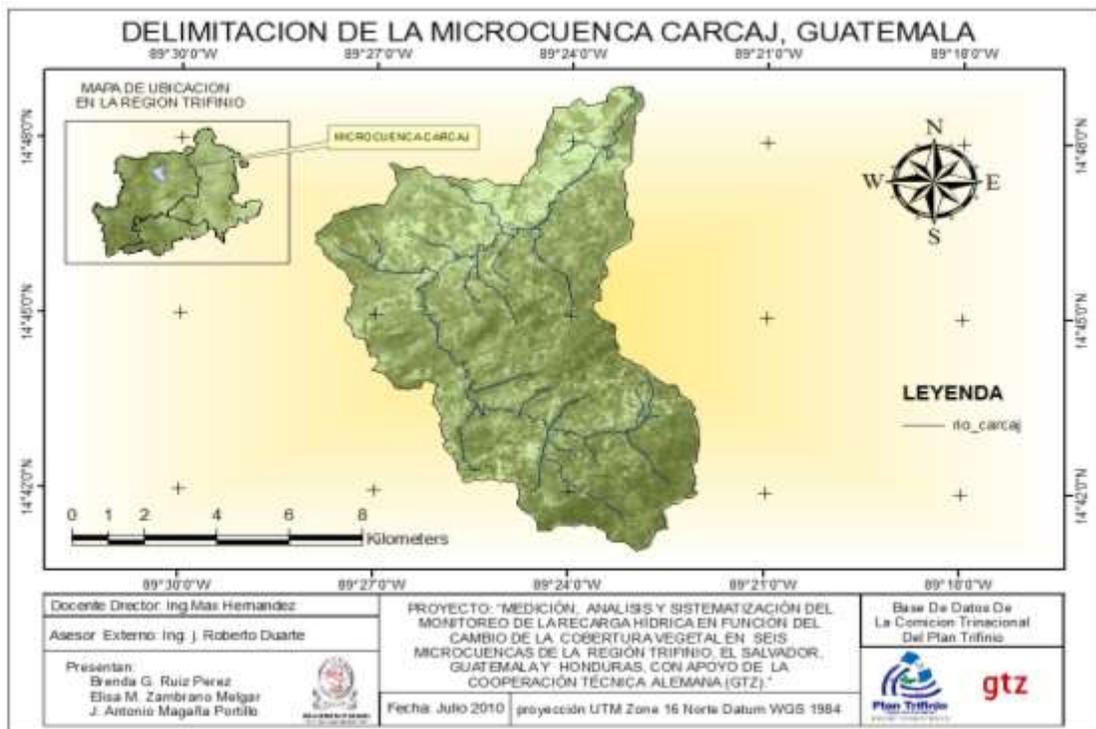
Mapa 1-8. Delimitación de las Microcuencas Jupula y Cusmapa, El Salvador.



Fuente: Elaboración propia.



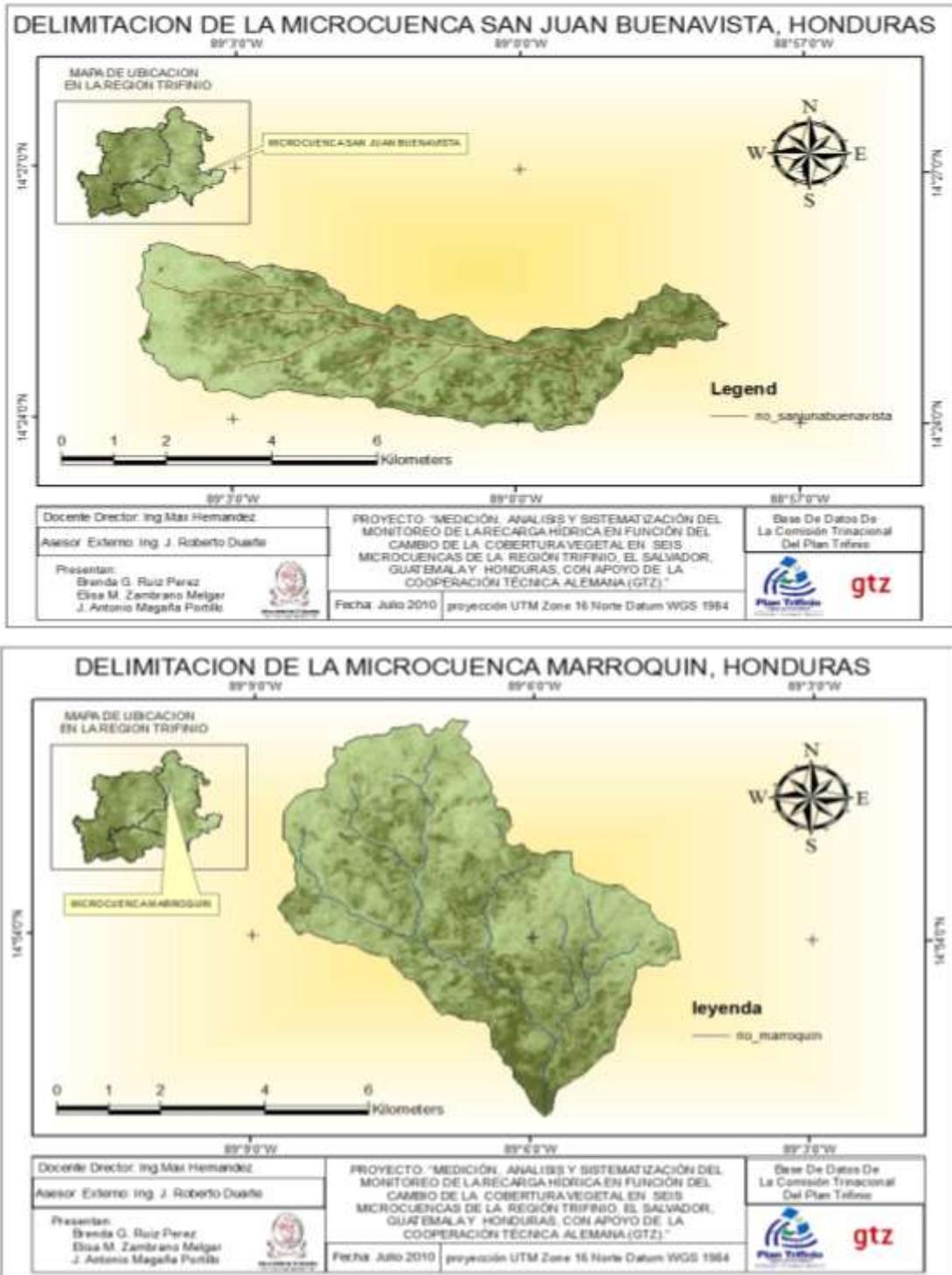
Mapa 1-9. Delimitación de las Microcuencas Mezcal y Carcaj, Guatemala.



Fuente: Elaboración propia.



Mapa 1-10. Delimitación de las Microcuencas San Juan Buenavista y Marroquín, Honduras.



Fuente: Elaboración propia.



Dentro de estas seis Microcuencas, se seleccionaron los puntos de monitoreo de cantidad y parámetros de calidad de agua mencionados en el apartado 1.1.7 de este documento.

El desarrollo del trabajo de investigación denominado **“MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ).”** será una aporte a la minimización de la problemática anteriormente expuesta, al obtener como resultado final, una línea base de datos a partir del monitoreo participativo de la cantidad e indicadores de calidad de agua de los puntos de estudio en las microcuencas seleccionadas.



1.3 OBJETIVOS.

Objetivo general:

- Contribuir al monitoreo de los recursos hídricos en cantidad y con indicadores de calidad del agua, en las seis microcuencas seleccionadas, que facilite la conservación y sostenibilidad de los recursos hídricos en la Región Trifinio.

Objetivos específicos:

- Obtener una base de datos del monitoreo participativo, tanto de cantidad como de indicadores de calidad, en dependencia del cambio de cobertura vegetal en áreas de infiltración y recarga en las siguientes microcuencas:

Para El Salvador Microcuenca Jupula en los municipios San Ignacio, Citalá y La Palma, Departamento de Chalatenango, Microcuenca Cusmapa en los municipios Santiago de la Frontera y San Antonio Pajonal, Departamento de Santa Ana;

Para Guatemala Microcuenca Mezcal en el Municipio Santa Catarina Mita, Departamento de Jutiapa, Microcuenca Carcaj en el Municipio San Juan Ermita, Departamento de Chiquimula; y

Para Honduras Microcuenca San Juan Buena Vista en los municipios La Labor, Sinuapa, Mercedes, Fraternidad, San Marcos y San Francisco del Valle, Departamento de Ocotepeque y Microcuenca Marroquín en los municipios Santa Rita y Copán Ruinas, Departamento de Copán.



- Sistematizar los datos obtenidos del monitoreo participativo de los recursos hídricos, tanto de caudales en las fuentes de agua como de indicadores de calidad en las mismas.
- Proveer a las Municipalidades, en conjunto con técnicos del programa Bosques y Agua, de un sistema de monitoreo participativo de los recursos hídricos en cuanto cantidad e indicadores de calidad de dichos recursos mediante la conformación y capacitación de grupos de promotores ambientales en las seis Microcuencas seleccionadas.
- Determinar los impactos producidos por la implementación, por parte del Programa Bosques y Agua, de los modelos Sistema Agroforestal, Sistema Silvopastoril y Bosque como Ecosistema, con énfasis en la variabilidad en la cantidad de agua e indicadores de calidad de la misma.
- Delimitar el área de recarga hídrica para las fuentes en estudio de cada Microcuenca.



1.4 ALCANCES GLOBALES.

- Conformación, en conjunto con técnicos del Programa Bosques y Aguas, de un sistema de monitoreo participativo de cantidad e indicadores de calidad del recurso hídrico en los puntos seleccionados dentro de las seis microcuencas.
- Conformación y capacitación de un grupo de promotores ambientales, en el proceso de monitoreo de cantidad e indicadores de calidad de recursos hídricos en las seis Microcuencas.
- Determinación de indicadores de calidad del agua en los puntos de estudio mediante pruebas realizadas en el lugar, considerando como norma los valores críticos permisibles para los parámetros bajo análisis, comparando las normativas de salud de los tres países involucrados. Entre dichos parámetros están pH, Amonio, Fosfato, Nitrato, Oxígeno Disuelto, Dureza Total y Conductividad eléctrica.
- Generación de una base de datos, bajo la plataforma ArcGIS 9.3, que contenga información sobre la variación durante el desarrollo del monitoreo, de la cantidad e indicadores de calidad en las fuentes objeto de estudio.
- Referente al tema de recarga hídrica, trazar el área de recarga para las fuentes en estudio de las seis microcuencas seleccionadas.



1.5 LIMITACIONES.

- Dificil acceso en época lluviosa a zonas de estudio y fenómenos climáticos extremos que pongan en riesgo físico al personal de medición.
- Escasez de información tanto de la caracterización de las microcuencas en estudio como de los recursos hídricos contenidos en ellas.
- La selección del tipo de modelo productivo a implementar Modelo “Bosque como ecosistema”, Modelo “Agroforestal” y Modelo “Silvopastoril”, en las áreas de intervención en las seis microcuencas seleccionadas en la Región Trifinio, formará parte de las decisiones externas que no establecerán los miembros del equipo del trabajo de investigación, y las cuales estarán a cargo de los especialistas del Programa “Bosques y Agua”.
- Debido a la escasez de información sobre las microcuencas en estudio, toda la información de índole socioeconómico y de estudios de suelo estará limitada al aporte de datos referente a esta temática, por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.



1.6 JUSTIFICACIONES.

Con la conformación del sistema de monitoreo participativo, se podrá generar una línea base de datos, que permita conocer la variación del caudal del agua y ciertos parámetros de calidad en el punto de afloramiento, a través de la medición de los impactos generados por el uso de los suelos, antes, y al inicio de la implementación de los tres modelos productivos Bosques como Ecosistemas, Sistema Agroforestal y Sistema Silvopastoril. Este monitoreo se realizará tanto en época seca como en época lluviosa, lo cual permitirá tener datos representativos de los impactos generados por el inicio de la implementación de dichos modelos en las seis microcuencas seleccionadas, las cuales son de gran relevancia a nivel Trinacional por ser áreas de recarga hídrica, y a nivel local por abastecer de agua a ciertas comunidades aledañas a ellas.

Debido a que las respectivas mediciones de los parámetros de calidad de las fuentes de abastecimientos iniciarán en época seca, tiempo en el que aún no habrán sido implementados los modelos productivos, se podrá conocer el estado base de los parámetros de calidad sujetos a medición en las fuentes de abastecimiento de agua en estudio de las seis microcuencas seleccionadas.

Con el conjunto de valores de caudal obtenidos durante el desarrollo del monitoreo, se podrá realizar la delimitación del área de recarga para cada fuente en estudio, permitiendo conocer las áreas exactas que deben ser intervenidas mediante prácticas que favorezcan la sostenibilidad del recurso hídrico en dichas fuentes.

Durante el desarrollo del monitoreo se capacitará a un grupo de promotores ambientales por Microcuenca, acción que permitirá proveer a las municipalidades de un grupo capacitado de personas que puedan involucrarse



en el seguimiento de las actividades de medición de parámetros tanto de cantidad como de calidad en las fuentes.

Con la sistematización de los datos obtenidos del monitoreo de las seis microcuencas seleccionadas, se podrá establecer a través de una representación gráfica utilizando la plataforma ArcGIS 9.3, los parámetros monitoreados que puedan ser requeridos para estudios similares tanto para cantidad como indicadores de calidad del agua, tales como caudal, pH, Amonio, Fosfato, Nitrato, Nitrito, Dureza Total, Conductividad Eléctrica y de la variabilidad de los mismos durante el desarrollo de las actividades de medición.

El monitoreo participativo en las seis microcuencas seleccionadas, tendrá como resultado una plataforma de datos apta para utilizarse en proyectos enfocados al manejo, conservación y sostenibilidad de los recursos hídricos en la Región Trifinio.

Con base a lo expuesto anteriormente, se justifica el trabajo de investigación denominado **“MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ).”**



CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura



2.1 CICLO HIDROLÓGICO.

Figura 2-1. Representación del Ciclo Hidrológico



Fuente: U.S. Geological Survey.

El Ciclo Hidrológico, como se muestra en la Figura 2-1, es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos de la hidrosfera, comprendiendo una serie de procesos continuos de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano y cuerpos de agua, movimiento, en el q hay una intervención mínima de reacciones químicas, y el agua solamente se traslada de un lugar a otro o cambia de estado físico y es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad.

Los componentes del Ciclo Hidrológico son:

- **Precipitación.** En ella el vapor de agua asciende a las capas superiores de la atmósfera, y al encontrar temperaturas más bajas se condensa formando



nubes que son arrastradas por los vientos. Las pequeñas gotas de agua en la atmósfera comienzan a hacerse más grandes cuando disminuye la temperatura y se condensan dando origen a la precipitación. Puesto que las condiciones atmosféricas varían mucho geográfica y estacionalmente, son posibles diferentes formas de precipitación. Esto incluye básicamente: la lluvia, nieve y granizo.

- **Evapotranspiración.** Es la transferencia de agua desde la tierra a la atmósfera por evaporación desde el agua de la superficie y el suelo, y por transpiración de la vegetación.

La evapotranspiración se divide en: evapotranspiración real, que es aquella que ocurre en las condiciones naturales de humedad del suelo y, evapotranspiración potencial, la cual representa la cantidad de agua que resultaría evaporada y transpirada si las reservas de agua fuesen suficientes para compensar las pérdidas máximas.

- **Escurrimiento o Escorrentía.** A medida que se mantiene la lluvia, la superficie del suelo se cubre con una película de agua conocida como retención superficial y comienza el flujo hacia algún canal donde una vez que entra en el canal se convierte en escurrimiento superficial.

El escurrimiento se clasifica en tres tipos:

- ✓ **Escurrimiento superficial:** Es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo.
- ✓ **Escurrimiento subsuperficial:** Es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada en el suelo.



- ✓ **Escurrimiento subterráneo:** Es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado (Matus Silva, CATIE 2007).
- **Infiltración.** Es el ingreso vertical descendente del agua de lluvia a través de la superficie de un suelo no saturado. Decece con el tiempo de registro de una tormenta. La conductividad hidráulica, la porosidad del suelo, la condición de la superficie y la capa vegetal son factores que afectan la tasa de infiltración (Matus Silva, CATIE 2007).

2.2 RECARGA HÍDRICA.

Es el proceso de incorporación de agua procedente del exterior a un acuífero producido a partir de la precipitación, de las aguas superficiales, y por transferencias de otro acuífero.

La recarga hídrica depende del régimen de precipitación, de la escorrentía superficial, y del caudal de los ríos; así mismo varía de acuerdo a la permeabilidad de los suelos, de su contenido de humedad, del patrón de drenaje de la cuenca y de la pendiente de la superficie del suelo (INAB² 2003). Los acuíferos recargan en cualquier área en que exista suelo o roca permeable en superficie, que esté en comunicación hidráulica con los acuíferos, y que esté temporalmente en contacto con agua.

2.2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA RECARGA HÍDRICA.

Citando al INAB (2003), los factores que afectan la recarga hídrica son:

² Instituto Nacional del Agua, Guatemala, 2003.



- **El clima**, dentro de estos los factores que afectan la recarga hídrica son, la evapotranspiración, la evaporación del agua y la precipitación pluvial.
- **El suelo**, debido a que suelos impermeables dificultan la infiltración, mientras que suelos permeables facilitan o garantizan la recarga en los acuíferos. Las características del suelo que influyen en la recarga son, la textura, la densidad aparente, el contenido de humedad y la capacidad de infiltración.
- **Topografía**, influye debido al tiempo de contacto que permite entre el agua con la superficie, pendientes fuertes favorecen la escorrentía superficial, disminuyen el tiempo de contacto del agua con la superficie y reducen la infiltración del agua.
- **Estratigrafía geológica**, es muy importante conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos en los estratos o capas del suelo hasta llegar a la zona saturada, ya que estos pueden afectar notablemente la cantidad de recarga hídrica.
- **Cobertura vegetal**, esta disminuye la escorrentía superficial, permitiendo mayor contacto del agua con la superficie y facilitando el proceso de infiltración del agua.
- **Escurrimiento**, el agua que cae proveniente de las precipitaciones forma flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos los cuales son captados por los cauces de los ríos.

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

El área de recarga, es el plano en proyección horizontal que está constituida de estratos porosos o zonas fracturadas, que permiten que la precipitación una vez alcanza la superficie del suelo, ésta se infiltre hasta que las capas superiores del



mismo se saturan, posteriormente, se comienzan a saturar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua se infiltra hasta niveles inferiores al freático, formando los mantos acuíferos, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

De acuerdo con el movimiento del agua en el suelo, subsuelo y manto rocoso, las zonas de recarga hídrica se pueden clasificar en:

- **Zonas de recarga hídrica superficial:** es toda la cuenca hidrográfica, excluyendo las zonas totalmente impermeables, esta es la que se humedece después de cada lluvia, originando escorrentía superficial, según las condiciones de drenaje.
- **Zonas de recarga hídrica subsuperficial:** corresponde a las zonas de la cuenca con suelos con capacidad de retención de agua o almacenamiento superficial sobre una capa impermeable que permite que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo en el sistema de drenaje.
- **Zonas de recarga hídrica subterránea:** corresponde a zonas de la cuenca que presentan fallas geológicas profundas o cuando en el balance hidrogeológico se identifica una pérdida por percolación profunda. Generalmente coincide con las zonas de recarga subterránea. Un aspecto importante en esta zonificación es la conexión entre acuíferos y la recarga que viene de otra cuenca. (Matus Silva, CATIE 2007).



2.2.3 INDICADORES PRÁCTICOS PARA LA DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE RECARGA³

No existe una pauta exclusiva para esta identificación, todo dependerá de los ecosistemas en que se realice el trabajo, pero de manera general se pueden considerar los siguientes:

- Configuración topográfica del terreno (plano o cóncavo)
- Vegetación permanente (especies de raíces pivotantes y profundas en ramificación, follaje verde en épocas de sequía)
- Uso de la tierra con prácticas que favorecen la infiltración del agua en el suelo (prueba práctica de infiltración)
- Situación geológica (permeabilidad de los estratos, depósitos de agua subterránea)
- Distribución de las precipitaciones
- Condiciones del suelo (textura franca, alta porosidad, alta infiltración y permeables)
- Otros factores climáticos (temperatura, evaporación)
- Las intervenciones antropogénicas también deben ser consideradas (pavimentación y edificación, sellado de suelos)
- Destape de áreas de agua subterránea (por ej. extracción de grava),
- Drenaje (por ej. pozos, canales, construcción de grandes lagos artificiales)

³ Rodas Velásquez, "Manejo y gestión de zonas de recarga hídrica de microcuencas y fuentes de agua para consumo humano en Honduras", CATIE 2008



- Compactación del suelo (por ej. por pisoteo del ganado, uso de compactadoras, drenaje)
- Modificación de la cobertura vegetal.

2.2.4 DELIMITACIÓN SUPERFICIAL DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.

En el Cuadro 2-1 y Figura 2-2, se presenta la información requerida para realizar la identificación de zonas de recarga hídrica.

Para cuencas pequeñas es difícil de encontrar datos para realizar el balance, pero en cuencas grandes la limitante es la serie de tiempo. En cuanto a vegetación y uso de la tierra es mucho más probable de levantar u obtener la información; el caso de la información geológica también es una limitante debido a que la información siempre es de carácter regional. Sin embargo algo fundamental será el conocimiento de campo, sobre todo cuando la información necesaria no es del todo disponible en detalle y cantidad (Rodas Velásquez, CATIE 2008).

Cuadro 2-1. Requerimientos para la identificación de zonas de recarga.

Balance hidrológico	Vegetación	Geología	Uso de la tierra y aprovechamiento de agua
Precipitación, evapotranspiración, escorrentía, aporte externo a la cuenta.	Bosques, plantaciones, pastos naturales, especies, ubicación y manejo.	Tipo de rocas, porosidad, permeabilidad, fallas, geomorfología y relieve.	Tipo de cultivos, sistemas de manejo y prácticas, fuentes de agua (pozos, manantiales, río, reservorios, cosecha de agua.
Información limitada.	Existe información.	Información limitada	Existe información.

Fuente: CATIE 2006



Figura 2-2. Las aguas subterráneas y el Ciclo Hidrológico.



Fuente: CATIE 2006

Para desarrollar el proceso de delimitación de las zonas de recarga se requieren los siguientes datos e información⁴:

- Un mapa cartográfico a curvas de nivel que permita diferenciar las zonas planas, zonas cóncavas, zonas cercanas a ríos principales y las zonas inclinadas. La red hídrica es fundamental.
- Un mapa de vegetación y uso de la tierra que permita delimitar sistemas productivos y de conservación (bosques naturales y áreas protegidas), también se puede utilizar la fotografía aérea.
- Un mapa de suelos que represente principalmente la profundidad y sus características (textura, velocidad de infiltración, porosidad y permeabilidad).

⁴ Rodas Velásquez, "Manejo y gestión de zonas de recarga hídrica de microcuencas y fuentes de agua para consumo humano en Honduras", CATIE 2008



- Un mapa geológico, que represente los tipos de rocas, las fallas, grietas, representación de acuíferos regionales y una memoria descriptiva de las características de las rocas.
- Un mapa de ubicación de fuentes de agua (manantiales, pozos, reservorios, lagos y lagunas).

2.3 MODELOS PRODUCTIVOS.

En la producción agropecuaria y forestal de la región en la actualidad, está teniendo mucho auge la implementación de modelos productivos que son amigables con el medio ambiente, que aparte de generar un mayor ingreso que los modelos de producción tradicional, contribuyen a mejorar algunos parámetros de calidad del aire, agua y suelos.

Dentro de los modelos destacados debido a su éxito tanto económico como ambiental se encuentran los siguientes:

2.3.1 MODELO SISTEMA SILVOPASTORIL.

El sistema silvopastoril (SSP) se encuentra dentro de los denominados sistemas agroforestales, cuya definición indica que es un manejo de suelos sostenible, el cual incrementa el potencial del mismo, en la producción de animales y árboles forestales en forma simultánea o secuenciada en el tiempo, sobre la misma unidad de tierra.

Cuando se asocian árboles, forraje y ganado, se tiene un sistema silvopastoril. Este sistema productivo posee dos componentes primarios, uno arbóreo, por eso “silvo” que significa bosque, independientemente de cómo se haya generado y otro herbáceo o forrajero que es la base de sustentación, por ello “pastoril” que significa pastoreo de la producción bovina, donde el ganado generará un



ingreso para el agricultor mientras crecen los árboles, y del bovino podrán obtener carne, y otros productos como leche, lana y cueros, los que pueden ser destinados para venta o autoconsumo.

El silvopastoreo es una práctica agroforestal, específicamente diseñada para la producción de árboles de uso múltiple y ganado produciendo pastos bajo sombra, y es el resultado de la introducción o mejoramiento deliberado de forraje en un sistema de producción forestal, o de otro modo, la introducción deliberada o mejoramiento de árboles en un sistema de producción de forrajes. En otras palabras, es el manejo de árboles, ganado y forrajes en un sistema integrado.

Dentro de los efectos beneficiosos de los árboles sobre los suelos, se incluyen mejoras en la estructura y en las propiedades químicas del suelo como el pH, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de nutrientes que acarrearán mejoras en la productividad neta. Del mismo modo, se emplean especies fijadoras de nitrógeno atmosférico que favorecen la fertilidad del suelo.

2.3.2 MODELO SISTEMA AGROFORESTAL

Es el cultivo deliberado de árboles en la misma unidad de tierra que los cultivos agrícolas, ya sea en forma de mezcla espacial o en secuencia temporal. Debe existir una interacción significativa entre los elementos arbóreos y no arbóreos del sistema, ya sea en términos ecológicos y/o económicos

Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra en donde los recursos leñosos perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos; el propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción respetando en principio de la sostenibilidad.



La agroforestería se puede considerar como la combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicamente viables, que implican el manejo de árboles o arbustos, cultivos alimenticios en forma simultánea o secuencial, garantizando a largo plazo una productividad aceptables y aplicando prácticas de manejo compatibles con las habituales de la población local. Este modelo se fundamenta en principios y formas de cultivar la tierra basado en mecanismos variables y flexibles en concordancia con objetivos y planificaciones propuestos, permitiendo al agricultor diversificar la producción en sus fincas o terrenos, obteniendo en forma asociativa madera, leña, frutos, plantas medicinales, y otros productos agrícolas

2.3.3 MODELO BOSQUE COMO ECOSISTEMA.

El manejo de recursos forestales tiene como base el concepto de rendimiento sostenido, que se refiere a la capacidad de las áreas boscosas de proveer de manera permanente y óptima los múltiples bienes y servicios que la sociedad demanda. Aunque este concepto contempló en sus orígenes el manejo de recursos forestales de manera holística, la evolución del mismo en los últimos dos siglos ha orientado principalmente a la generación de esquemas de producción sostenible de bienes tangibles o un valor de mercado, principalmente madera. En este marco, el manejo forestal tradicional, entendido como una secuencia de decisiones encaminadas a proveer permanentemente a la sociedad de un flujo de productos, minimizando efectos ambientales adversos, ha desarrollado modelos de gestión de los recursos que, si bien han elevado los niveles de producción de las áreas forestales, esto no se ha dado siempre bajo consideración del efecto de las técnicas aplicadas sobre la totalidad de los elementos del ecosistema. El modelo del bosque regular normal ilustra en buena



medida el objetivo del manejo forestal tradicional y su orientación hacia la obtención de bienes.

El manejo de ecosistemas forestales debe entenderse entonces como un concepto del manejo de recursos naturales, en el que las actividades forestales se consideran en el marco de las interacciones ecológicas, económicas y sociales dentro de un área o región determinada, a corto y largo plazo.

El manejo de ecosistemas forestales contempla la toma de decisiones sobre la gestión de los recursos en dos horizontes: uno temporal y uno espacial. La finalidad es lograr la mayor interacción posible entre necesidades sociales, económicas y capacidades ecológicas: procurando un balance entre las demandas de productos y servicios a corto plazo y las demandas de persistencia a largo plazo.

2.4 MÉTODOS Y EQUIPOS DE AFORO.

Para desarrollar un monitoreo del recurso hídrico se deben tomar en cuenta dos variables muy importantes y con las cuales se puede determinar el impacto que provoca la implementación de modelos productivos en la zona de recarga hídrica, éstas variables son la cantidad y la calidad del agua de dicha zona.

2.4.1 MÉTODOS DE AFORO.

Entre los métodos más usados para la determinación del caudal en un cuerpo de agua superficial se encuentran:

- **Velocidad y sección.**

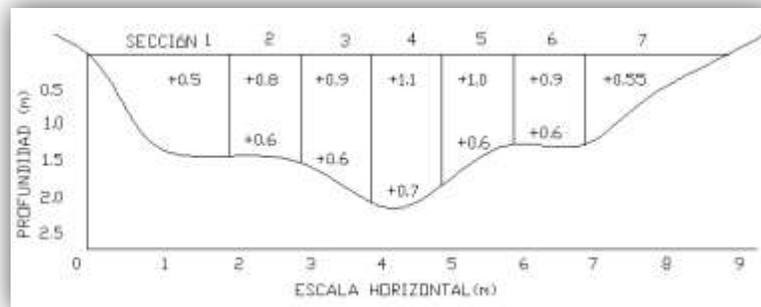
Es uno de los métodos más utilizados para determinar el caudal, se requiere medir el área de la sección transversal del flujo de agua y la



velocidad media, en este método, se expresa el caudal como una relación directa del área de la sección transversal y la velocidad media del agua. Generalmente, el caudal se expresa en l/s o m³/s.

El procedimiento consiste en medir y en trazar sobre papel cuadriculado la sección transversal de la corriente e imaginar que se divide en franjas de igual ancho (Figura 2-3). La velocidad media correspondiente a cada franja se calcula a partir de la media de la velocidad medida a 0,2 y 0,8 de la profundidad en esa franja. Esta velocidad, multiplicada por la superficie de la franja, da el caudal de ese punto y el caudal total es la suma de las franjas.

Figura 2-3. Cálculo del caudal de una corriente a partir de las mediciones efectuadas con un molinete.



Fuente: Elaboración propia.

- **Estructuras hidráulicas.**

Para la medición de caudales también se utilizan algunas estructuras especialmente construidas, llamadas medidores o aforadores, cuyos



diseños se basan en los principios hidráulicos de orificios, vertederos y secciones críticas⁵. Entre ellos:

✓ **Vertedero**

Las estructuras hidráulicas más usadas son los vertederos, los cuales consisten en una estructura con una simple abertura de geometría por donde pasa un líquido, los vertederos son usados intensiva y satisfactoriamente en la medición de caudales pequeños de cursos de agua y conductos, determinan el caudal gracias a la formación estable de venas de agua que pasan a través del orificio de la estructura, donde la altura de dicha vena, aumenta proporcionalmente al caudal. Los vertederos son nombrados de acuerdo a la forma geométrica de su orificio entre los más comunes se encuentran de orificio, rectangular y en forma de V.

• **Método Volumétrico.**

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro. El tiempo que se tarda en llenarlo debe medirse con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados.

⁵ Convenio de Cooperación Interinstitucional INRENA - UCPSI Manual de Hidrometría de Agua, 2005.



2.4.2 EQUIPO DE AFORO.

- **MOLINETE**

Fotografía 2-1. Molinete y barra o eje del molinete



Fuente: Dossier fotográfico.

El molinete es un instrumento que permite la aplicación del método de aforo Area-Velocidad, a las aguas superficiales en las que se desea conocer el valor de caudal presente en los mismos. El molinete, permite realizar una medición más precisa de la velocidad del agua lenta, auxiliándose de una pantalla digital para la visualización de los resultados. Este medidor de corriente se suspende en el agua mediante un eje o varilla (Fotografía 2-1) y con exactitud, mide caudales con velocidades desde 0,1 hasta 25 metros por segundo. La taza giratoria que compone al molinete, está conformada por seis copas en forma cónica (Figura 2-4), tiene un diámetro de cinco pulgadas (12,7 cm) en total y gira sobre un eje vertical, en el cual, cada revolución de la taza es contabilizada digitalmente, con la finalidad de obtener la velocidad de la corriente y permitir mostrarla a través del contador.



2.5 PARÁMETROS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL.

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal.⁶ El término calidad del agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano (agua potable), para uso agrícola o industrial, para recreación o para mantener la calidad ambiental.

2.5.1 PARÁMETROS FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS

✓ **Turbiedad**

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos e incluso microorganismos, que se presentan principalmente en aguas superficiales.

⁶ Quijano-Funes "Evaluación de los medios de vida y la calidad y cantidad del agua de la Subcuenca del Río Jupula", 2008.



✓ **Temperatura**

La temperatura determina la evolución o tendencia de las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua. El aumento de la temperatura, aumenta la solubilidad de las sales, ocasionando cambios de la conductividad y el pH.

✓ **Sólidos**

Las altas concentraciones de sólidos en el agua impiden la penetración de la luz, disminuyen el oxígeno disuelto, limitan el desarrollo de la vida acuática. Los Sólidos Disueltos afectan negativamente la calidad del agua para consumo humano, altas concentraciones pueden ocasionar reacciones fisiológicas desfavorables en los consumidores.

2.5.2 PARÁMETROS QUÍMICOS

✓ **Dureza total**

La dureza es una propiedad que refleja la presencia de metales alcalinotérreos en el agua. De estos elementos, el calcio y el magnesio constituyentes los principales alcalinotérreos en aguas continentales.

La dureza en el agua es el resultado de la disolución y lavado de los minerales que componen el suelo y las rocas.

En relación con la salud, la dureza en el agua no suele ser un problema ni para el consumo humano ni para el de muchas otras especies. Sin embargo, tiene efectos adversos para muchos fines industriales, al igual, que para usos domésticos, tal como sucede con el uso de jabones y este tipo de agua, que reduce su acción limpiadora.



✓ **pH**

Es la medida de la acidez o alcalinidad del agua. Los valores del pH típicamente van de 0 a 14, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de la disolución (donde el disolvente es agua). El pH puede variar según la acidez o alcalinidad del suelo en el que se transporta el agua, infiltración de lluvia ácida, disolución e infiltración de partículas ácidas o alcalinas presentes en agroquímicos.

- ✓ **Nitrógeno amoniacal:** Las aguas debajo de conglomerados urbanos, donde se descargan aguas negras, tienen siempre amoníaco, llegando a veces hasta 4 mg/l. La presencia de amoníaco libre o ion amonio (NH_4^+) se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa, que en presencia de un pH alto, pasa a amoníaco afectando las aguas para la producción piscícola, o, transformándose en nitritos si el medio es aerobio.
- ✓ **Nitritos:** Aparecen en el agua tanto por la oxidación del amoníaco, como por la reducción de los nitratos. Su presencia se debe a contaminación reciente, aunque haya desaparecido el amoníaco. La presencia de nitritos limita el uso del agua para consumo humano, su presencia indica polución, con la consecuente aparición de organismos patógenos.
- ✓ **Nitratos:** Pueden provenir de las rocas que los contengan (poco común), o bien por oxidación bacteriana de la materia orgánica, principalmente de las eliminadas por los animales. La concentración aumenta en las aguas superficiales por el uso de fertilizantes y el aumento de la población (vertimientos de aguas residuales domésticas).



✓ **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto proviene de la mezcla del agua con el aire, ocasionada por el viento y/o, en la mayoría de los casos, principalmente del oxígeno que liberan las plantas acuáticas en sus procesos de fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno como la de cualquier otro gas en el agua, depende de la presión atmosférica imperante en cada sitio, de la temperatura media del cuerpo de agua y de su contenido en sales disueltas. Por lo que, la solubilidad del O₂ en el agua es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la concentración de sales disueltas.

Aun cuando no existe una concentración mínima de oxígeno que cause efectos fisiológicos adversos sobre la salud humana, sí existe una limitante en cuanto a la cantidad de O₂ que se requiere para sostener la vida de los peces en los cuerpos de agua superficiales. En general, se acepta que una concentración de 4 mg/l es adecuada para estos fines, en tanto que concentraciones inferiores a 3 mg/l pueden ser letales para la fauna piscícola de un lago o reservorio⁷.

✓ **Fósforo**

El fósforo disuelto en el agua puede proceder o bien de ciertas rocas, o del lavado en los suelos, en cuyo caso puede tener su origen en pozos sépticos o estercoleros, dependiendo la concentración de fósforo de un agua superficial de la densidad de población, ganadería.

El fósforo se encuentra en el agua como fósforo orgánico o inorgánico, disuelto o en suspensión. Los fosfatos favorecen la eutrofización, lo cual

⁷ A partir de información obtenida del Equipo técnico del Programa “Bosques y Agua”, 2010.



trae como consecuencia el aumento en el medio de materias orgánicas, bacterias heterotróficas, que modifican el carácter fisicoquímico del agua, y hacen que disminuya el oxígeno disuelto.

✓ **Metales pesados**

Los mecanismos que regulan la presencia de metales en el agua, además de los microorganismos que tienden a variar el pH, es la solubilidad de sus sales. Las concentraciones de metales pesados suelen ser muy pequeñas, el mayor problema en el medio ambiente se da por la posibilidad de que sufran bioacumulación.

✓ **Microcontaminantes orgánicos**

Los microcontaminantes orgánicos están ligados a fenómenos de toxicidad. La contaminación por estos grupos de compuestos se deriva de actividades domésticas, industriales y agrícolas.

2.5.3 EQUIPO DE MEDICIÓN DE PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUA.

El equipo que permite realizar, en campo, la medición de los parámetros de calidad del agua en estudio, son los siguientes:

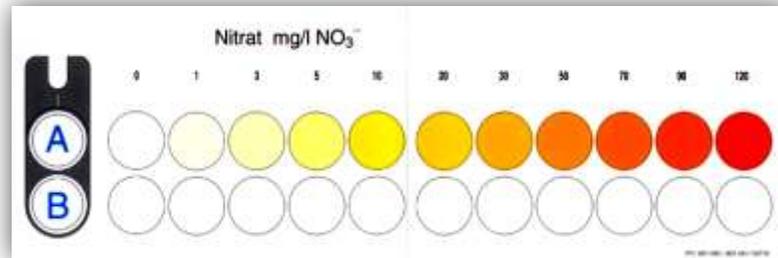
✓ **Kit para calidad de agua, método del colorímetro**

Un kit responde a las necesidades para evaluar la calidad del agua ofreciendo un test para el control de sus parámetros fundamentales, es decir, durezas, pH, Amonio (NH_4), Fosfato (PO_4), Nitrato (NO_3) y Oxígeno disuelto. Los resultados de la medida de los diferentes parámetros se ven a través de una tabla de colores compuesta por rangos



entre los que se encuentran los valores, por ejemplo, la cartilla de rangos del nitrato se puede observar en la Fotografía 2-2.

Fotografía 2-2. Cartilla de rangos de valor de Nitrato.



Fuente: Dossier fotográfico..

Los frascos de reactivos y los accesorios utilizados para el análisis están organizados eficazmente en práctico maletín para las labores de campo, mostrado en la Fotografía 2-3.

Fotografía 2-3. Kit de Calidad



Fuente: Dossier fotográfico..

- **Conductivimetro EC400: ExStik®**

El EC400: ExStik® posee un alcance múltiple de sensores para la medición de conductividad, TDS, salinidad y temperatura (ver Fotografía 2-4).



Ofrece 3 gamas de medición del agua de grifo, aguas residuales y soluciones acuosas. Este instrumento permite tener una visualización simultánea de los tres parámetros que es capaz de medir.

Fotografía 2-4. Conductivímetro



Fuente: Dossier fotográfico..

- **Equipo de laboratorio:** entre el equipo de laboratorio para análisis de calidad de agua se encuentran los Fotómetros (medición de cloro total, cloro libre, Bromo, entre otros), incubadoras (análisis de Coliformes fecales y otros microorganismos), medidores de turbidez, entre otros, que permiten realizar un análisis completo de las muestras de agua tomada, con la finalidad de conocer sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

2.5.4 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana, por lo que pueden ser definidos como aquellas familias 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.



No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que distinguen, los coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo, y los coliformes fecales aquellos de origen intestinal.

Los coliformes fecales, definidos como aquellos que fermentan la lactosa a 44,5 – 45,5 °C, se encuentran en los intestinos de los humanos y otros animales de sangre caliente. Se pueden hacer pruebas específicamente para coliformes fecales o para el total de bacterias coliformes que incluye todos los tipos de bacterias coliformes y que puede indicar contaminación fecal.

El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros:

- Escherichia , Klebsiella, Enterobacter

2.5.5 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE PRESENCIA COLIFORMES

- **Método de tubos múltiples**

En este método, el estudio se inicia con la prueba presuntiva de la presencia de bacterias coliformes, que consiste en sembrar volúmenes de concentraciones determinadas de la muestra de agua en matraces o tubos de ensayo con un adecuado medio líquido de cultivo específico, que contiene lactosa. Después de la incubación a 35 ó 37°C durante el tiempo necesario, se examina el líquido para detectar la producción de gas o de ácido. La prueba recibe el nombre de presuntiva por que la reacción positiva observada puede ser causada por algún otro microorganismo o combinación de ellos, y la hipótesis de que se trata de bacterias coliformes deberá confirmarse con pruebas adicionales utilizando medios más selectivos (OPS, 1987).



- **Método de membrana filtrante**

El otro método de recuento de gérmenes coliformes es la filtración de un volumen dado de muestra a través de una membrana compuesta de ésteres de celulosa o de algunas otras sustancias, típicamente con poros de 0.45mm de diámetro que retienen bacterias coliformes y de muchas otras clases presentes en la muestra (OPS, 1987).

Todas las bacterias quedan retenidas en la superficie de la membrana, que se incuba puesta hacia arriba en medio de cultivo adecuado y a temperaturas convenientes, para proceder después al recuento de las colonias que se desarrollan sobre la superficie de la membrana.

2.5.6 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE UTILIZADOS POR ORGANIZACIONES DE LA SALUD.

A continuación se exponen las directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993, y que son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable (ver Cuadro 2-2, 2-3, 2-4), al igual que las señaladas por las normativas de cada región a nivel Trinacional (El Salvador, Guatemala y Honduras).

Cuadro 2-2. Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

PARÁMETRO	UNIDAD	LIMITE
Sólidos totales disueltos	mg/l	100*
Turbidez	UNT	5**
Temperatura	°C	No rechazable
pH	–	8.5***

* Por las condiciones propias del país

** Para el agua tratada en la salida de planta de tratamiento de aguas superficiales, el límite máximo permisible es de 1.

*** Límite Mínimo Permisible 6.0 unidades

Fuente: Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable, 2006



Cuadro 2-3. Límites máximos permisibles para calidad microbiológica en El Salvador.

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE		
	TÉCNICA		
	FILTRACIÓN POR MEMBRANAS	TUBOS MÚLTIPLES	PLACA VERTIDA
Bacterias coliformes totales	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----
Escherichia coli	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----

Fuente: Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable, 2006

Cuadro 2-4. Límites Permisibles para calidad de agua a nivel regional.

ELEMENTO/	SÍMBOLO/	DIRECTRIZ BASADA EN LA SALUD
Nitratos	NO ₃	45 mg/l ¹
Nitrito	NO ₂	1 mg/l ¹
Fosfato	PO ₄	No hay directriz
Amonio	NH ₄	0.5 mg/l
Dureza	CaCO ₃	500 mg/l ²
Oxígeno Disuelto	O ₂	4 - 6.5 mg/L ³
Conductividad	CE	No hay directriz
Sulfatos	mg/l	400

¹ Límite Máximo Permissible en Norma Salvadoreña Obligatoria, 2006

²Establecida tanto por la OMS y como límite máximo permisible en Norma Salvadoreña Obligatoria, 2008.

³ Fuente: Diagnóstico Nacional de la calidad de aguas superficiales del DGSNET / MARN, Rangos para parámetros de calidad de agua cruda para potabilizar, conforme a la Norma Nacional publicada en el Diario Oficial, 1987.



2.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA⁸

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con los efectos humanos y usos posibles. Cuando se realizan monitoreos hídricos, para simplificar la interpretación de los parámetros en estudio, existen Índices de Calidad de Agua (ICA), los cuales son números únicos que expresan el estado de calidad de los recursos hídricos evaluados, mediante la integración de las mediciones de parámetros sujetos al criterio de selección del investigador.

2.6.1 ANTECEDENTES SOBRE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA⁹

Los índices de calidad de agua aparecen en la literatura a principios de 1965, en donde son Horton (1965) y Liebman (1969) los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA, la ciencia del desarrollo de éstos no madura hasta los 70s.

El índice General de Calidad de Agua fue desarrollado por Brown *et al.* (1970), el cual es una versión modificada del ICA que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF) basado en nueve parámetros, Pratti (1971), presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius (1972) realiza otro similar con once parámetros. El primero de éstos, fue mejorado por Deininger para la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos en 1975 (NAS, 1975).

Entre 1995 y 1996 se desarrollaron, entre otros, los siguientes avances: la Estrategia de Evaluación de la Florida (The Strategic Assessment of Florida's

⁸ Literatura sobre ICA por Universidad de Pamplona, Colombia, 2005.

⁹ Literatura sobre ICA por Universidad de Pamplona, Colombia, 2005



Environment-SAFE) que formuló un índice en 1995 y El índice de British Columbia (BCWQI) desarrollado en 1996.

En este último año, un estudio realizado por Helmond y Breukel, demostró que por lo menos 30 índices de calidad de agua son de uso común alrededor del mundo, y consideran un número de variables que van de 3 a 72. Prácticamente todos estos índices incluyen por lo menos 3 de los siguientes parámetros: O₂, DBO y/o DQO, NH₄, PO₄-P, NO₃-N, pH y sólidos totales.

Existen Índices que a pesar de haber sido desarrollados para las condiciones propias de una región o país son ampliamente empleados a nivel mundial y han sido validados en diferentes estudios; tal es el caso del ICA-NSF (1970) y el ICA de Dinius (1987). A partir de estos Índices varios autores y entidades de control ambiental han realizado modificaciones, para adaptarlos a las condiciones específicas de diferentes ríos. Ejemplos de esto son las investigaciones realizadas por Rojas (1991), Behar, Zúñiga y Rojas (1997) y Ramírez y Viña (1998), en ríos de condiciones tropicales en Colombia, a la vez, en la región centroamericana, El Salvador ha utilizado un ICA para la zona.

En El Salvador, para valorar la calidad ambiental de las aguas superficiales se aplica el INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA), recomendado por el Programa Ambiental de El Salvador-, proyecto ejecutado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería durante el período de 1997 - 2000 (Mena, Z). Este índice se utiliza para calificar la calidad de agua de los ríos y evaluar la aptitud del agua para permitir el desarrollo de vida acuática; para condiciones óptimas adopta un valor máximo determinado de 100, valor que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en el agua en estudio, en donde un nivel pésimo



de calidad de agua se representa con un valor de cero¹⁰. Considera los siguientes parámetros de calidad:

- Coliformes fecales
- Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto
- pH
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días
- Nitratos
- Fosfatos
- Incremento de la temperatura en el cauce del agua
- Turbidez
- Sólidos totales disueltos.

Instituciones gubernamentales, tales como SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador), lo utiliza para evaluar la calidad de los cuerpos superficiales del país.

A continuación se presentan algunos ICAs, señalados en la literatura, junto con sus respectivos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, analizados para el establecimiento del nivel de calidad en fuentes de agua.

¹⁰ Informe de Calidad de Agua, 2009, SNET



Cuadro 2-6. Índices de Calidad de Agua

Parámetro	Índices de Calidad del Agua-ICA							
	NSF ¹	Dinius ²	León ³	Montoya ⁴	Queralt ⁵	CETESB ⁶	Behar ⁷	Rojas ⁸
Temperatura	√	√	√		√	√		
Conductividad		√		√	√			
pH	√	√	√	√		√		√
Alcalinidad		√	√	√				
Oxígeno Disuelto	√	√	√	√	√	√	√	√
DBO5	√	√	√	√		√	√	√
DQO			√		√			
Sólidos Totales	√			√		√		√
Sólidos Suspendidos			√	√	√			
Turbiedad	√			√		√		√
Color		√		√				
Dureza Total		√	√	√				
Coliformes Totales		√	√	√				
Coliformes Fecales	√	√	√	√		√	√	√
Nitrógeno Total						√		
Nitrógeno Amoniacal			√	√				
Nitratos	√	√	√	√				
Fósforo Total						√		
Fosfatos	√		√	√				
Cloruros		√	√	√				
Grasas y aceites				√				
Detergentes				√				
Fenoles			√					
Número total de parámetros	9	12	15	18	5	9	3	6

Fuente. Estudio de la calidad del agua del Río Cauca y sus principales tributarios. Santiago de Cali, Octubre 2004

¹ National Sanitation Foundation (1970) desarrolló el ICA-NSF, que ha sido adoptado para el desarrollo de monitoreos hídricos en El Salvador por el SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales)

² Dinius (1987) desarrolló un ICA multiplicativo que tiene en cuenta los diferentes usos del recurso hídrico.

³ León (1998) desarrolló un ICA multiplicativo a partir de la adaptación y modificación del ICA de Dinius (1987) en la cuenca Lerma-Chapala en México

⁴ Montoya (1997) desarrolló un ICA de tipo aditivo en el estado de Jalisco México

⁵ Queralt (1982) desarrolló el Índice Simplificado de calidad de las aguas (ISQA), para las cuencas de Cataluña en España.

⁶ CETESB (2002) Modificó el ICA-NSF multiplicativo y lo adaptó para los ríos del Estado de Sao Pablo en Brasil.

⁷ Behar, Zúñiga y Rojas (1997) modificaron el ICA-NSF aditivo para los ríos Cali y Meléndez en el departamento del Valle del Cauca en Colombia mediante un modelo estadístico.

⁸ Rojas (1991) desarrolló un ICA de tipo multiplicativo adaptado al Río Cauca en el departamento del Valle del Cauca en Colombia



2.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS INDICES DE CALIDAD DE AGUA.

La ventaja de un Índice de Calidad del Agua radica, en que para biólogos, ingenieros sanitarios y ambientales, administradores de recursos hídricos, y personas en general, como el caso de los usuarios, la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos.

Es conveniente conocer algunos de los elementos a favor y en contra de los ICAs como los que se listan a continuación.

Cuadro 2-5. Beneficios y limitaciones en el uso del ICA

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toma información compleja y la sintetiza de manera que se hace fácilmente entendible. ▪ Ayuda a transformar gran variedad de indicadores ambientales en un sistema de fácil comunicación. ▪ La información derivada de su aplicación, es de utilidad a las personas que trabajan con las normativas del uso y conservación del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puede generalizarse demasiado y terminar en juicios subjetivos, dado el peso de algunas de las variables. ▪ Un solo índice puede no ser indicativo de toda la dinámica del sistema. Puede indicar que la calidad no es apta para abastecimiento, pero puede ser utilizada para recreación y ser apta para el desarrollo de la biota acuática. ▪ Un índice está limitado en términos espacio temporales y puede dar lecturas erráticas en un lugar y en una época específica.

Fuente. Literatura sobre ICA por Universidad de Pamplona, Colombia, 2005

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua y su difusión comunicativa, sin embargo, no pretenden



reemplazar los medios de transmisión de la información existente. Se pueden mencionar seis posibles usos del ICA:

- **Manejo del recurso.** En este caso pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- **Clasificación de Áreas.** Son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- **Aplicación de normatividad.** En situaciones específicas y de interés, es posible determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- **Análisis de la tendencia.** El análisis de los índices en un período de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está disminuyendo o mejorando.
- **Información pública.** En este sentido, pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- **Investigación Científica.** Tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

2.6.3 CRITERIOS DE DISEÑO PARA UN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Antes de desarrollar esta temática se requieren de algunas definiciones para poder establecer un Índice de Calidad de Agua (ICA). La primera de ellas, es parámetros de calidad, y se establecen como aquellos indicadores físicos, químicos y microbiológicos del agua, que se utilizan para la detección y control de contaminación presente en ella, que a la vez ofrecen información, conforme los resultados obtenidos en el monitoreo, del origen de posibles fuentes



contaminantes. La selección del conjunto de parámetros denominado como vector de calidad, dependerá de los usos prioritarios que pueda tener o dársele al cuerpo de agua, tales como consumo humano, riego, entre otras.

La segunda de ellas es el subíndice de un parámetro. Para ello, deberán estar disponibles los resultados del monitoreo y a partir de ellos, asignarles un valor, denominado subíndice, el cual se establece con base al impacto negativo que las concentraciones del parámetro de calidad medido genera en el cuerpo de agua y por consiguiente a quienes hacen uso de él. Para ello, se toma en consideración estudios previos hechos al elemento y los valores permisibles que señalan las normativas aplicables, conforme a su uso. Finalmente el grupo evaluador de la calidad de agua, será quien establezca los subíndices a los valores obtenidos del monitoreo realizado a los parámetros físico-químicos y biológicos seleccionados, conforme al nivel de acercamiento o alejamiento que el resultado de la medición tenga con los límites permisibles a las normativas del agua de la región en estudio, además de las investigaciones previamente realizadas a los parámetros involucrados.

La tercera definición se enfoca al peso de las variables, delimitados como aquellos valores numéricos correspondientes a cada parámetro de calidad del grupo seleccionado, que establecen el grado de contaminación que éstos generan a un cuerpo de agua, por lo tanto sugiere la importancia de asignar racional y unificadamente dichos pesos, de acuerdo al uso del agua y al riesgo que implique el aumento o disminución de las concentraciones de los parámetros. El criterio del grupo evaluador será el que predomine en el establecimiento de estos valores, por tanto en esta etapa se corre el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad.



Mediante las definiciones establecidas de los elementos implicados en el cálculo de un ICA, parámetros de calidad, subíndices junto con sus pesos, se describe algunos criterios de diseño para conformar un índice de este tipo.

Desde sus principios la base de la mayoría de los índices, la constituyó la metodología Delphi, que se aplicó al Índice de Calidad de Agua desarrollado por “*The National Sanitation Foundation (NSF)*”, que consistió básicamente en la asignación de factores de ponderación a parámetros físicos, químicos o biológicos, y el estableciendo de valores de importancia, conforme la influencia que cada uno de ellos tenían en el recurso agua, por tanto, la sumatoria de estos valores expresa un resultado final mediante un índice. Este método implica la simplificación y el uso de juicios subjetivos (“Literatura sobre ICA por Universidad de Pamplona, Colombia, 2005”).

De acuerdo con esto, existe la oportunidad de asignar mayor importancia a algunos parámetros, sin embargo, pueden existir otros que no hayan sido determinados, estudiados o entendidos. Por consiguiente, es importante que los parámetros y valores que constituyen un índice se precisen adecuadamente.

Se requiere que el conjunto de parámetros de calidad a ser incluidos, denominado también como vector de calidad de agua, sean definidos y consistentes, de otra forma el índice puede no ser significativo, por tanto, éstos deben indicar la adaptabilidad del cuerpo de agua para el uso propuesto. Cada observación es representativa de una muestra particular tomada en un tiempo y lugar definido, es decir, es un único punto en la historia de calidad del agua del cuerpo estudiado. El puntaje del subíndice puede establecerse como el grado de cómo el valor del parámetro medido, está a la altura del valor permisible o máximo señalado por la normativa del agua, según su uso, correspondiente a la zona o región donde se está evaluando la calidad del recurso hídrico.



El índice de un curso usado como fuente de agua potable debe tener un estándar alto y los parámetros deben indicar que el agua es potable. Normalmente las normativas de calidad de agua para consumo humano y uso recreativo, son las más exigentes.

2.6.4 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA FORMULACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA.

Muchos de los recientes índices de calidad de agua tienen como aspecto común, su cálculo sobre la base de los siguientes 3 pasos consecutivos:

- Selección de Parámetros.
- Determinación de los valores para cada parámetro de calidad del agua o subíndices (q_i).
- Asignación de los pesos de los parámetros de calidad (w_i).

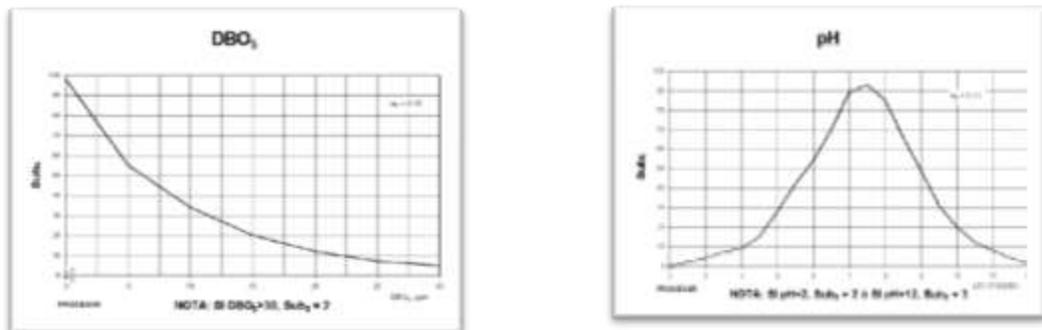
En primera instancia, se recurre a la selección de los parámetros de calidad a ser valorados en la muestra, esto conlleva a un conjunto de n -parámetros de calidad, en donde se pueden considerar entre 2 y un número infinito de los mismos. La opción para la consideración de éstos depende de varios factores, de los cuales se pueden hacer mención, las circunstancias que están afectando a la fuente, o bien, conforme los elementos físico-químicos, microbiológicos y radiactivos, dictados por normativas del agua según su uso, requeridos para garantizar su calidad, a la vez criterios de tiempo y localización del monitoreo, pero principalmente el juicio de los expertos que se encuentren involucrados con la medición del recurso agua evaluado.

Consecuentemente a la selección, se realiza la determinación de los subíndices (q_i), para ello pueden ser utilizados varios métodos:



- Darle un valor numérico representativo a cada parámetro, a través de un análisis de comparación del resultado obtenido de la medición, con su respectivo valor permisible o tolerable que señala las normativas del agua conforme el uso, aunado al criterio del investigador, el cual debe tener un previo conocimiento de la incidencia de la variable evaluada al elemento del agua.
- Convertir el parámetro en un número dimensional por medio de diagramas de calibración. En este caso se debe desarrollar para cada parámetro su propio diagrama, en el que se indique la correlación entre el parámetro y su valor en la escala de calidad. Esta escala generalmente está entre 0 y 100, aunque también se acostumbra escalarlos entre 0 y 1, según se ha venido estableciendo a partir de los primeros trabajos desarrollados para la determinación de ICAs (“Literatura sobre ICA por Universidad de Pamplona, Colombia, 2005”). Ejemplos de estos diagramas, se muestran a continuación, para los casos específicos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y pH, donde se puede apreciar una escala horizontal que representan los posibles valores monitoreados de los parámetros, y una vertical, que muestra los subíndices por cada valor obtenido.

Figura 2-4. Diagramas de calibración



Fuente. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).



- Una alternativa para el diagrama de calibración es realizar una tabla de calibración. En estas tablas, el valor del parámetro está igualmente relacionado con la escala de calidad.
- Desarrollar para cada parámetro una formulación matemática, con el fin de convertir los valores del parámetro de acuerdo con varias escalas, con lo cual los valores del parámetro conservan sus unidades originales.

En cuanto a la asignación de los pesos por cada parámetro de calidad seleccionado, básicamente predominará el criterio que posea el grupo evaluador, y de cuánta importancia o impacto determinen que genera cada elemento medido, en la calidad de la fuente de agua evaluada. Sin embargo el análisis de pesos del vector de calidad, deberá hacerse de forma conjunta, debido que a partir de un número base, que frecuentemente se asigna de 1, debe repartirse, conforme a la importancia dada a cada parámetro, entre cada uno de ellos.

Finalmente, la determinación del Índice de Calidad de Agua se da por la integración de los subíndices que lo conforman y de sus respectivos pesos.

Frecuentemente se consideran dos enfoques para el cálculo de un índice de calidad de agua (“Literatura sobre ICA por Universidad de Pamplona, Colombia, 2005”).

- El primero es el producto ponderado, dada por la siguiente fórmula:

En este método, los pesos (w_i), dan importancia a los puntajes o subíndices (q_i) que se le asignan a cada parámetro de calidad evaluado y éste es ponderados o



elevado al valor de importancia o peso que se le ha dado, para luego ser multiplicados los resultados de cada parámetro ponderado. Este método evita calcular un valor satisfactorio aunque el subíndice sea cero o insatisfactorio.

- La otra aproximación es la suma ponderada, en ella, cada puntaje (q_i) es multiplicado por su peso (w_i), por tanto estos productos son sumados para obtener el índice, como se muestra a continuación:

Si los pesos de cada parámetro de calidad evaluado son los mismos para cada puntaje, entonces el valor del índice es llamado valor aritmético no ponderado. Si la suma de los pesos de uno de ellos no es idéntica, entonces se conoce como calidad del agua aritmética.

El uso de uno u otro método dependerá del tipo de monitoreo que se esté realizando en el cuerpo de agua, por ejemplo, para un programa donde las muestras son tomadas en estaciones ya establecidas en un período de tiempo y los puntajes han sido agrupados dentro de segmentos de tiempo, el mejor estimador de la calidad de agua, es un promedio de los valores del índice.

A continuación se muestra una tabla resumen de las fórmulas utilizadas en el cálculo de algunos ICAs desarrollados (Tabla 2-1).

A partir de dichas fórmulas se ha considerado para el posterior estudio a los cuerpos de agua monitoreados en las seis microcuencas seleccionadas dentro de la Región Trifinio, utilizar el ICA a través del promedio aritmético ponderado, debido al análisis de calidad requerido en cada fuente, estableciendo mediante los resultados obtenidos y el uso de este índice, el grado de contaminación en éstas, logrando identificar aquellos parámetros fuera de norma que hacen



modificar la calidad del agua analizada, que inciden directamente en el usuario de dicho recurso hídrico, todo ello, conforme a la siguiente fórmula:

Tabla 2-1. Fórmulas para la estimación de un ICA.

MÉTODO	FÓRMULA
1. Promedio no ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i)$
2. Promedio aritmético ponderado	$ICA = \sum_{i=1}^n (q_i w_i)$
3. Promedio geométrico no ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{1/n}$
4. Promedio geométrico ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{w_i}$
5. Subíndice mínimo	$ICA = \min (q_1, q_2, \dots, q_n)$
6. Subíndice máximo	$ICA = \max (q_1, q_2, \dots, q_n)$
7. Promedio no ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$
8. Promedio ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2$

Fuente. Van Helmond & Breukel, 1996.

Simbolismos:

ICA: Índice de Calidad del Agua.

n: Número de Parámetros.

qi: Escala de Calidad (subíndice) del Parámetro i.

wi: Factor de Ponderación del Parámetro i



2.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Los Sistemas de Información Geográfica, SIG, son un instrumento de desarrollo sostenible que facilita la gestión de los recursos naturales mediante el ingreso, manipulación, análisis y presentación de información de carácter multidisciplinario e integral capaz de formular estrategias de desarrollo tomando en cuenta los tres elementos de sostenibilidad: rentabilidad económica, compatibilidad con el medio ambiente y con la sociedad, para lo cual hace uso de elementos computarizados esenciales en el análisis de variables que afectan a un territorio, además, respalda y fortalece con fundamento científico la toma de decisiones, mediante la descripción previa de un lugar o la simulación de un fenómeno con tendencias esperadas.

Los SIG permiten realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos, realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial, comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal), efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos, integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que esté relacionada con la base de datos nativa u original. (Geog buffalo, 2004).

2.7.1 HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

La historia moderna de los Sistemas de Información Geográfica se remonta a la década de los 60. En el año 1964, en Canadá, se diseña el primer Sistema de Información Geográfico, destinado en este caso, al mantenimiento de un



inventario de recursos naturales a escala nacional, se le llamó “Canadian Geographical Information System CGIS” (Bosque Sendra, 2000). Los SIG, pueden ser utilizados para realizar complejos cálculos de análisis espacial, análisis estadísticos específicos y modelaje cartográfico, entre otros, indispensables para los investigadores, planificadores, proyectistas, consultores, administradores de recursos naturales, entre otros, para soportar la toma de decisiones, análisis locacional, simulación y animación tendencial, además de otros de gran utilidad complementaria, de naturaleza gráfica, semi-gráfica y numérica.

2.7.2 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Un SIG cuenta con los siguientes elementos:

- **Hardware.** Referido a la computadora y a determinados periféricos para la captura de la información geográfica como por ejemplo mesas digitalizadoras, impresores, equipos GPS, Scanner, otros.
- **Software** Un sistema manejador de bases de datos (SMBD), herramientas para el ingreso y manipulación de información geográfica, herramientas de soporte para consultas, análisis y visualización geográfica y una interfase gráfica del usuario para la fácil visualización de información. A nivel comercial, se encuentran el ArcView, ArcGIS, ILWIS Academic, IDRISI, Erdas Imagine, AutoCAD Map, de los cuales los más conocidos son ILWIS, ArcView, y ArcGIS. (Villanueva, C.E.E.; Vilchez, J. L. 2003).
- **Bases de datos Geográficas:** Las bases de datos, constituyen una representación simplificada del mundo real con la que los expertos tienen



que trabajar. Las bases de datos pueden ser cartográficas y tabulares, y pueden obtenerse por fuentes directas o levantamiento propio en el lugar, o adquirirse de algún proveedor de datos. (Medina Mendoza, R.1997).

La base de datos de los software SIG pueden ser raster o vectoriales.

El modelo de SIG raster se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Compartimenta el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Mientras mayores sean las dimensiones de las celdas (resolución) menor es la precisión o detalle en la representación del espacio geográfico.

En el caso del modelo de SIG vectorial, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio. Para modelizar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres objetos espaciales: el punto, la línea y el polígono.

- **El recurso humano:** Los usuarios de SIG varían desde especialistas técnicos, que diseñan, elaboran, fabrican y mantienen el sistema, hasta aquellos usuarios que lo utilizan para ayudar a realizar análisis específicos (Villanueva, C.E.E.; Vilchez, J. L. 2003).
- **Métodos o procedimientos:** Se refiere a los pasos a seguir para obtener una respuesta mediante las operaciones de análisis en un SIG (Medina Mendoza, R.1997).

Independientemente de los variados logicales o software de SIG disponibles en el mercado, sus principales componentes son siempre y básicamente los siguientes:

- Un subsistema de entrada de datos (mapas, datos numéricos etc.);



- Un subsistema de almacenamiento y recuperación de datos espaciales en una forma que posibilite un acceso eficiente a los mismos;
- Un subsistema de manipulación, para analizar y generar datos derivados;
- Un subsistema de presentación de datos, tanto en la forma tabular como gráfica.

Los principales temas que puede resolver un SIG son:

- Localización: Preguntar por las características de un lugar concreto
- Condición: El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: Detección de pautas espaciales.
- Modelos: Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.



CAPITULO III METODOLOGÍA

Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura



3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS GIRAS DE RECONOCIMIENTO DE LOS PUNTOS DE MONITOREO.

Para realizar el reconocimiento de los puntos de monitoreo seleccionados correspondientes a las seis microcuencas pertenecientes a los países de El Salvador, Guatemala y Honduras, se realizó una gira de campo en la cual se visitó cada punto con la finalidad de observar directamente sus características físicas, permitiendo analizar la metodología más adecuada para la medición de los parámetros de interés, caudal e indicadores de calidad. Del mismo modo, la visita de campo a cada sitio, dejó en evidencia el tipo de mejoras físicas que el área de monitoreo necesitaba, para que las mediciones llevadas a posteridad se desarrollaran de manera efectiva, obteniendo así, el escenario de campo real sujeto a medición.

A continuación se presenta la descripción de la visita de campo realizada a cada microcuenca:

3.1.1 MICROCUENCA CUSMAPA, EL SALVADOR

El día 23 de febrero de 2010, se realizó la visita de reconocimiento en campo de la Microcuenca Cusmapa, cuyas características generales se presentan la tabla 3-1, en donde se especifican los siguientes tipos de suelos cuya descripción es aplicable a los suelos de las seis microcuencas:

- Andosole: Permeabilidad elevada y textura muy fina.
- Regosole: Alta permeabilidad.
- Luvisole: Semipermeable.
- Cambisole: Semipermeable, suelo joven con proceso inicial de acumulación de arcilla.



- Vertisole: Arcillas con permeabilidad lenta.
- Rendzina: Permeable, capa superficial rica en materia orgánica que descansa sobre roca caliza.

Dentro de esta Microcuenca, previamente seleccionada, se tuvo como único punto de monitoreo, la fuente denominada como La Zarca.

Cuadro 3-1. Características generales de la Microcuenca Cusmapa.

UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA:	Municipios San Antonio Pajonal y Santiago de la Frontera, departamento de Santa Ana.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN LAS QUE SE ENCUENTRA:	89°31'W y 89°40'40"W
	14°08'30"N y 14°15'15"N
ÁREA QUE COMPRENDE:	99.1 km ²
GEOLOGÍA:	Terciario: Rocas volcánicas tobas, rocas piroclásticas, asociaciones de tipo riolítico y andesítico.
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL:	1000-1500 mm
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL:	25 °C
TIPOS DE SUELO:	Andosole*, Regosole*, Luvisole*, Cambisole*, Vertisole*, Rendzina*. De material volcánico poco profundo.

Fuente. Programa "Bosques y Agua", 2010.

a) Fuente La Zarca

La fuente La Zarca tiene como coordenadas geográficas N 14°09'17.9" y W 89°38'39.3" y elevación 831 msnm.

Se observó que el uso de tierra cercanas a la fuente, son agrícolas y de pastoreo. Además de ello, actualmente en dicha fuente existe un tanque de captación municipal cuya agua es dirigida a los pobladores de Paraje Galán, Candelaria de la Frontera, el cual es manejado por la persona residente del lugar de captación,



quien es el encargado de abrir y cerrar las válvulas de control de la obra, así como del mantenimiento de la misma. En este punto, existe una canaleta de concreto de 0.20X0.29 m, la cual es utilizada para desalojar el rebalse del agua captada por el tanque y que a la vez se encuentra conectada a una pila rectangular de grandes dimensiones utilizada eventualmente con fines recreativos por los pobladores cercanos a la fuente.

Por tanto, de acuerdo a lo observado, se estableció la factibilidad de utilizar el tubo de desagüe como punto de aforo, cuyo caudal proveniente del lugar de captación, recorre la canaleta existente y se evacúa mediante dicho tubo al finalizar la canaleta, que a la vez está conectada a la pila. Lográndose de esta manera tomar el valor de caudal en el punto de monitoreo.

Fotografía 3-1. Fuente La Zarca, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.



Fuente. Dossier fotográfico.

3.1.2 MICROCUENCA JUPULA, EL SALVADOR

El día 18 de febrero de 2010, se realizó la visita de reconocimiento en campo de la Microcuenca Jupula, cuyas características generales se presentan la tabla 3-2, teniendo previamente seleccionadas como fuentes de monitoreo, las fuentes establecidas como Posada, Vásquez y La Montañita.



Cuadro 3-2. Características generales de la Microcuenca Jupula.

UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA:	Municipios Citalá, San Ignacio y La Palma, departamento de Chalatenango.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN LAS QUE SE ENCUENTRA:	89°07'30" W y 89°13'15" W
	14° 23' N y 14°20'30" N
ÁREA QUE COMPRENDE:	23.68 km ²
GEOLOGÍA:	Terciario: Rocas volcánicas tobas, rocas piroclásticas, asociaciones de tipo riolítico y andesítico.
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL:	1300-2300 mm
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL:	18 °C
TIPOS DE SUELO:	Andosole, Luvisole, Regosole. Profundidad moderada, textura media a fina encontrados en colinas y montañas de valles altos.

Fuente. Programa "Bosques y Agua", 2010.

a) Fuente Posada

La fuente Posada ubicada en la Microcuenca Jupula, El Salvador, posee las coordenadas geográficas N14°21'49.5" y W 89°07'36.7", elevación 2125 y se encuentra ubicada en tierras destinadas a la agricultura.

El punto de medición presenta la forma de riachuelo, donde los habitantes que hacen uso de ella utilizan rocas para formar pequeñas presas temporales que permitan tomar agua directamente con mangueras de PVC generalmente de ½ pulgada de diámetro.

Para la medición del caudal en este punto se hace necesario realizar una limpieza general del fondo del riachuelo debido a que la acción del paso del agua produce acumulación de rocas y sedimentos, produciendo de esta manera estancamiento, por lo que en cada medición, se necesita uniformizar el fondo y remover cualquier obstáculo que genere turbulencia o tendencia del agua a



empozarse. Dicha fuente de monitoreo se encuentra ubicada a orillas de la carretera asfaltada que conduce de San Ignacio a Miramundo.

Fotografía 3-2. Fuente Posada, Microcuenca Jupula, El Salvador.



Fuente. Dossier fotográfico.

b) Fuente Vásquez

La fuente Vásquez, posee las coordenadas geográficas N14°21'45.9" y W 89°07'33.4", elevación 2150 msnm, cuyas tierras se encuentran destinadas al pastoreo, agricultura y bosque. Dicha fuente de monitoreo se encuentra ubicada a orillas de la carretera asfaltada que conduce de San Ignacio a Miramundo.

Debido a la existencia de una depresión en el suelo, el agua se recoge en una cavidad natural, en donde el cual, parte de los habitantes aledaños a éste, la han destinado como punto de captación, a partir de la extracción que se realiza por medio de mangueras de PVC de ½ pulgada o 1 pulgada de diámetro. A partir de este punto de estancamiento, se genera un riachuelo de pequeñas dimensiones que tiene como punto de llegada un tanque de mampostería a cielo abierto, siendo éste igualmente utilizado para la extracción de agua por los residentes más cercanos a la fuente.



Inicialmente se consideró el levantamiento de una pequeña obra de mampostería en el punto de estancamiento, obra q contaría con un tubo de desagüe que permitiría tomar volumétricamente el caudal. Sin embargo, un análisis posterior detenido de las características físicas del lugar, hizo que se decidiera utilizar como punto de medición el pequeño riachuelo q va de la fuente al tanque contiguo, siendo necesario para esto, realizar una limpieza general del fondo y la disposición adecuada del área transversal del riachuelo mediante el uso de la pala, de modo tal, que permitiese la ubicación del molinete de forma apropiada.

Fotografía 3-3. Fuente Vásquez, Microcuenca Jupula, El Salvador.



Fuente. Dossier fotográfico.

c) Fuente La Montañita

La fuente La Montañita posee las coordenadas geográficas N14°22'12.18" y W 89°07'37.92", elevación 2163 msnm., en donde la tenencia de tierras se hacen con fines de conservación natural, mediante bosques, además de pastoreo y agricultura.

Para la medición del caudal en este punto se hace necesario realizar una limpieza general del fondo del riachuelo debido a que la acción del paso del



agua produce acumulación de rocas y sedimentos, por lo que en cada día de medición, se necesita uniformizar el fondo y remover cualquier obstáculo que genere turbulencia o tendencia del agua a empozarse. Dicha fuente de monitoreo se encuentra ubicada a orillas de la carretera asfaltada que conduce de San Ignacio a Miramundo.

Fotografía 3-4. Fuente la Montañita, Microcuenca Jupula, El Salvador.



Fuente. Dossier fotográfico.

3.1.3 MICROCUENCA MEZCAL, GUATEMALA

Dicha Microcuenca no se encuentra delimitada por un parte de aguas como generalmente se establece en una Microcuenca. La delimitación de Mezcal se encuentra sujeta a criterios socioeconómicos, debido a que la zona presenta mayor nivel de pobreza en dicha zona, por lo que parte del equipo involucrado en el desarrollo del Programa “Bosques y Agua” fueron los encargados de establecer el área de intervención para la aplicación de los modelos productivos



Modelo “Bosque como ecosistema”, Modelo “Silvopastoril”, Modelo “Agroforestal”, y a partir de ello denominarla como Microcuenca Mezcal.

El día 24 de febrero de 2010, se realizó la visita de reconocimiento en campo de la Microcuenca Mezcal, cuyas características generales se presentan la tabla 3-3, considerándose previamente dentro de ésta las siguientes fuentes de monitoreo: La Barranca y El Puente.

Cuadro 3-3. Características generales de la Microcuenca Mezcal.

UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA:	Municipios Santa Catarina Mita, departamento de Jutiapa.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN LAS QUE SE ENCUENTRA:	89°42'30" W y 89°48'50" W 14°29'05" N y 14°20'40" N
ÁREA QUE COMPRENDE:	89.1 km ²
GEOLOGÍA:	Cuaternario (Aluviones) y conos volcánicos de basalto y andesitas serie de olivino.
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL:	600-1200 mm
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL:	24 °C
TIPOS DE SUELO:	Cambisole, Regosole, Vertisole. Pedregosos y poco profundos.

Fuente. Programa “Bosques y Agua”, 2010.

a) Fuente La Barranca

La fuente La Barranca posee las coordenadas geográficas N14°25'33.4" y W 89°43'52.5", elevación 677 msnm, cuyas tierras son utilizadas para pastoreo.

El punto de medición presenta la forma de río, donde los habitantes que hacen uso de ella utilizan las aguas río abajo como punto de aseo personal, punto recreativo o para realizar labores de lavandería. Dicha fuente abastece de agua a la comunidad del mismo nombre y la parte baja de la comunidad El Quebracho.



El río presenta un ancho aproximadamente de 2 m, por lo cual, para la toma del valor de caudal se hace necesario la división del área transversal en franjas de igual ancho, permitiendo tomar valores individuales de caudal que posteriormente deben ser sumados.

Además, el río presenta grandes rocas a su paso, debido a ello, debe uniformizarse el paso de la corriente retirando el mayor número posible de rocas que generen un flujo turbulento.

El punto de monitoreo se encuentra ubicado en la parte baja de la Microcuenca Mezcal, contiguo al paso de la carretera que lleva de Santa Catarina Mita hacia la frontera San Cristóbal en El Salvador.

Fotografía 3-5. Fuente La Barranca, Microcuenca Mezcal, Guatemala.



Fuente. Dossier fotográfico.

b) Fuente El Puente

La fuente El Puente posee las coordenadas geográficas N 14°25'52.3"y W 89°43'42.5", elevación 655 msnm.

En este punto de monitoreo se presenta una obra de mampostería de ladrillo de barro en forma de pila, en la cual se encuentran conectadas dos tuberías, una de



PVC y otra de Acero Galvanizado, las cuales, una de ellas conduce hasta este punto el agua captada de una fuente localizada en la parte superior de la obra de mampostería, mientras que la otra proviene del rebalse de una obra de captación. Dicha fuente abastece a cinco aldeas del municipio: Llano de San Vicente, Santa Rosa, Cuesta de García, Aguilares y Cerríos

Esta fuente de agua se encuentra ubicada a orillas del río Ostúa, bajo el puente del mismo nombre, sobre la carretera asfaltada que conduce de Asunción Mita a Ipala. Los terrenos aledaños a ella se encuentran cubiertos por maleza, que en ocasiones se ven sometidos a procesos de quema para ser utilizados para fines de agricultura.

Fotografía 3-6. Fuente El Puente, Microcuenca Mezcal, Guatemala.



Fuente. Dossier fotográfico.

3.1.4 MICROCUENCA CARCAJ, GUATEMALA

El día 03 de marzo de 2010, se realizó la visita de reconocimiento en campo de la Microcuenca Carcaj, cuyas características generales se presentan la tabla 3-4,



estableciéndose dentro de ésta como fuentes de monitoreo, previamente seleccionadas, las fuentes El Puente y Viertentón o Quequesque.

Cuadro 3-4. Características generales de la Microcuenca Carcaj.

UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA:	Municipio San Juan Ermita, departamento de Chiquimula.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN LAS QUE SE ENCUENTRA:	89°28' W y 89°22'W
	14°49' N y 14°41' N
ÁREA QUE COMPRENDE:	81.76 km ²
GEOLOGÍA:	Cretacio: Carbonatos Neocomianos
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL:	600-1200 mm
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL:	23 °C
TIPOS DE SUELO:	Luvisole , Molisole. Suelos poco profundos, pedregosos de texturas finas a medias sobre roca caliza y mármol.

Fuente. Programa “Bosques y Agua”, 2010.

a) Fuente El Puente

La fuente El Puente posee las coordenadas geográficas N 14°42'36.4"y W 89°22'49.4", elevación 1170 msnm y se encuentra en tierras destinadas al desarrollo de actividades agrícolas.

En este punto se observan formaciones rocosas por las cuales desciende el flujo de agua proveniente de la fuente, llegando a una poza de pequeñas dimensiones a partir de la cual el agua continúa su curso en forma de río.

El caudal de la fuente es tal que en verano permite realizar la medición de dicho valor a su paso por la formación rocosa, no así en invierno ya que el caudal aumenta considerablemente, por lo cual se hace necesario realizar el cálculo al inicio del río, posterior al paso del agua por la poza. En este punto, el río se divide en dos ramificaciones que luego de un corto recorrido se unen en una



misma corriente, haciendo necesario medir el caudal individual por ramificación para posteriormente sumarse y obtener el valor total que aporta la fuente.

Se observa también la presencia de un número variable de mangueras de PVC de $\frac{1}{2}$ y 1 pulgada de diámetro, que permiten a los habitantes realizar la extracción directa del agua de la fuente, utilizada en su mayoría para consumo humano y actividades agrícolas. El caudal extraído con las mangueras, debe adicionarse al valor calculado con las dos ramificaciones del río.

Debido a la presencia de rocas, es necesario previo al cálculo de caudal, retirar cualquier obstáculo que genere un flujo turbulento en el agua.

Fotografía 3-7. Fuente El Puente, Microcuenca Carcaj, Guatemala.



Fuente. Dossier fotográfico.

b) Fuente Viertentón Quequesque

La fuente Viertentón Quequesque posee las coordenadas geográficas N $14^{\circ}42'32.3''$ y W $89^{\circ}22'45.6''$, elevación 1249 msnm, y se encuentra en tierras destinadas al desarrollo de actividades agrícolas. Dicha fuente de agua abastece a Quequesque, Roblarcito, Karcaj, Magallal y Los Encuentros.



Se presenta en este punto una obra de mampostería, destinada a la captación de temporal del agua de la fuente, mediante una caja recolectora que funciona por gravedad. A partir de esta obra, se genera un riachuelo, en el que se puede observar la presencia de un número variable de mangueras de PVC de $\frac{1}{2}$ y 1 pulgada de diámetro, destinadas a la extracción directa del agua del riachuelo, destinada en su mayoría para consumo humano y actividades agrícolas.

Las dimensiones del riachuelo hacen posible determinar el valor del caudal al inicio de su paso ladera abajo, siendo necesario realizar el cálculo de la cantidad de agua extraída por las mangueras, adicionando posteriormente ambos valores obteniendo el caudal total aportado por la fuente.

Debido a la presencia de rocas, es necesario previo al cálculo de caudal, retirar cualquier obstáculo que genere un flujo turbulento en el agua.

Fotografía 3-8. Fuente Viertentón Quequesque, Microcuenca Carcaj, Guatemala.



Fuente. Dossier fotográfico.

3.1.5 MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA, HONDURAS

El día 25 de febrero de 2010, se realizó la visita de reconocimiento en campo de las fuentes de monitoreo previamente seleccionadas dentro de la Microcuenca



San Juan Buenavista, cuyas características generales se presentan la tabla 3-5. Dichas fuentes son las denominadas El Supte, Arivas y La Lagunilla.

Cuadro 3-5. Características generales de la Microcuenca San Juan Buenavista.

UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA:	Municipios La Labor, San Francisco del Valle, San Marcos, Mercedes y Sinuapa, Departamento de Ocotepaque.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN LAS QUE SE ENCUENTRA:	89°47'55"W y 89°04'W
	14°26'05"N y 14°23'55N
ÁREA QUE COMPRENDE:	23 km ²
GEOLOGÍA:	Pleozoico: Rocas metamórficas constituidas por esquistos de clorita y muscovita, mármol granítico y milonitizado.
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL:	1000-1600 mm
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL:	19 °C
TIPOS DE SUELO:	Andosole, Luvisole, Regosole. Profundidad moderada, textura media a fina encontrados en colinas y montañas de valles altos.

Fuente. Programa "Bosques y Agua", 2010.

a) Fuente El Supte

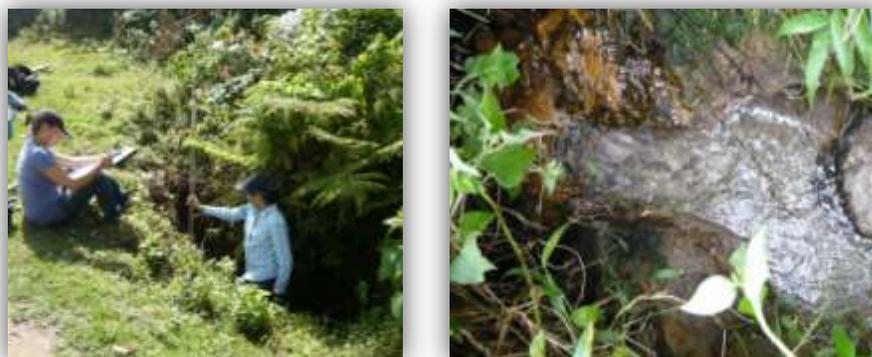
La fuente El Supte posee las coordenadas geográficas N 14°25'08.5"y W 89°03'10.5", elevación 1981 msnm y se encuentra en tierras destinadas al desarrollo de actividades tanto agrícolas como forestales, debido a que está contenida dentro de los límites de la Reserva Biológica de Güisayote.

El punto de medición presenta la forma de riachuelo dentro de una oquedad formada en el subsuelo, por lo que para la medición del caudal en este punto se hace necesario realizar una limpieza general del fondo debido a que la acción del paso del agua produce acumulación de rocas y sedimentos, por lo que en cada medición, se necesita uniformizar el fondo y remover cualquier obstáculo que genere turbulencia o agua empozada.



La fuente se encuentra ubicada a orillas de la carretera cerca del caserío Arivas y en las tierras aledañas a la misma, las prácticas son eminentemente agrícolas, siendo ésta la fuente principal de ingresos de sus habitantes.

Fotografía 3-9. Fuente El Supte, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.



Fuente. Dossier fotográfico.

b) Fuente Arivas

La fuente Arivas posee las coordenadas geográficas N 14°24'59.89" y W 89°03'08.53", elevación 1994 msnm y se encuentra en tierras destinadas al desarrollo de actividades tanto agrícolas como forestales, debido a que está contenida dentro de los límites de la Reserva Biológica de Güisayote.

El punto de medición presenta la forma de riachuelo, por lo que para la medición del caudal en este punto se hace necesario realizar una limpieza general del fondo debido a que la acción del paso del agua produce acumulación de rocas y sedimentos, sobre todo arenas, por lo que en cada ocasión destinada a medición, se necesita uniformizar el fondo y remover sedimentos y hojas arrastradas por la corriente que facilitan el empozamiento del agua. Éste punto de monitoreo se encuentra a orillas de la carretera cerca del



caserío Arivas, en una zona rodeada por plantas acuáticas. En las tierras aledañas a la misma, las prácticas son eminentemente agrícolas.

Fotografía 3-10. Fuente Arivas, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.



Fuente. Dossier fotográfico.

c) Fuente La Lagunilla

La fuente La Lagunilla posee las coordenadas geográficas N 14°24'58.5" y W 89°02'56.58", elevación 1951msnm. Se encuentra en tierras destinadas al desarrollo de actividades tanto agrícolas como forestales, debido a que está contenida dentro de los límites de la Reserva Biológica de Güisayote.

La fuente se encuentra ubicada a orillas de la carretera cerca del Caserío Arivas. En las tierras aledañas a la misma, las prácticas son eminentemente agrícolas. El punto de medición presenta la forma de riachuelo, por lo que para la medición del caudal en este punto se hace necesario realizar una limpieza general del fondo debido a que la acción del paso del agua produce acumulación de rocas y sedimentos.



Fotografía 3-11. Fuente La Lagunilla, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.



Fuente. Dossier fotográfico.

3.1.6 MICROCUENCA MARROQUÍN, HONDURAS

El día 25 de febrero de 2010, se realizó la visita de reconocimiento en campo de la Microcuenca Marroquín, cuyas características generales se presentan la tabla 3-6, teniéndose previamente seleccionada dentro de ésta, la fuente de monitoreo El Escondido.

Cuadro 3-6. Características generales de la Microcuenca Marroquín.

UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA:	Municipio Santa Rita de Copán, departamento de Copán.
COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN LAS QUE SE ENCUENTRA:	89°04'25" W y 89°0845" W 14°51'50" N y 14°56'40" N
ÁREA QUE COMPRENDE:	32.9 km ²
GEOLOGÍA:	Terciario: Rocas volcánicas tobas, rocas piroclásticas, asociaciones de tipo riolítico y andesítico.
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL:	800-1500 mm
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL:	23 °C
TIPOS DE SUELO:	Regosole, Luvisole, Nitosole, Rendzina. Suelos poco profundos, pedregosos de texturas finas a medias sobre roca caliza y mármol.

Fuente. Programa "Bosques y Agua", 2010.



a) Fuente El Escondido

La fuente El Escondido posee las coordenadas geográficas N 14°54'10.6"y W 89°07'46.2", elevación 961msnm.

Para llegar a este punto de monitoreo, es necesario caminar a partir de la vía principal de acceso a la Microcuenca, siendo las tierras que la rodean, de uso forestal y agrícola, al mismo tiempo que algunas son utilizadas para la ganadería en pequeña escala.

El punto de medición presenta la forma de riachuelo en un medio rocoso, por lo que para la medición del caudal en este punto se hace necesario realizar una limpieza general del fondo debido a que la acción del paso del agua produce acumulación de sedimentos, no así de rocas.

Fotografía 3-12. Fuente El Escondido, Microcuenca Marroquín, Honduras.



Fuente. Dossier fotográfico.



3.2 METODOLOGÍA A SEGUIR PARA LA REALIZACIÓN DE AFOROS.

Los métodos utilizados para la medición de caudal varían de acuerdo a las condiciones que se presentan en cada lugar, entre ellas, condiciones físicas de la fuente y obras presentes realizadas por el hombre en los puntos de monitoreo. De acuerdo al reconocimiento de los puntos seleccionados en las microcuencas, se determinó el uso de los métodos Área-Velocidad, Volumétrico y Método del Flotador. Siendo los pasos generales para la aplicación de dichos métodos, los que se describen a continuación:

3.2.1 MÉTODO ÁREA-VELOCIDAD

Para aplicar este método se siguen los pasos detallados a continuación:

1. Realizar una limpieza general en el punto de monitoreo, procurando retirar cualquier tipo de obstáculo que genere un flujo inestable o turbulento. Tratar de que la superficie donde se realizará la medición sea lo más uniforme posible.
2. Identificada el área donde se colocará el molinete, se procede a tomar 5 lecturas de velocidad haciendo uso del contador digital. Anotar las lecturas de velocidad y el número de revoluciones de las tazas cónicas.
3. Posterior a realizar las 5 lecturas, tomar las medidas de ancho y de altura del área donde se colocó el molinete.
4. Aplicar la fórmula general de caudal (ec. 3-1) para obtener dicho valor, utilizando como velocidad, el promedio de las 5 lecturas obtenidas en la medición.



$$Q = AV \text{ (ec. 3-1)}$$

Donde:

Q=caudal, A= área, V= velocidad promedio.

Los pasos anteriores, se aplican cuando el ancho del área de medición es pequeño por lo que permite realizar las mediciones en un solo punto de dicha área. Pero si el ancho es considerable se realiza lo siguiente:

1. Con una cinta métrica se divide el área en un cierto número de franjas de igual ancho, cuya partición dependerá del ancho total del río, para luego proceder con la medición de la profundidad de cada una de ellas.
2. Se coloca el molinete y se toman 5 lecturas de velocidad, esto se realiza para cada franja. Las franjas de los extremos, se consideran de velocidad cero, por lo tanto, no se toman en cuenta.
3. Se obtiene el área de la franja mediante el producto del ancho por la profundidad medida y éste a la vez por el promedio de las 5 lecturas de velocidad obtenidas en dicha franja, obteniendo así, el caudal en ese punto (ec.3-2).
4. Se repite los pasos anteriores para cada franja y para obtener el caudal total, se realiza la suma de los resultados obtenidos (ec. 3-3).

$$Q_f = A_f V_f \text{ (ec.3-2)}$$

$$Q_t = \Sigma Q_f \text{ (ec. 3-3)}$$

Donde:

Q_f = Caudal de franja; A_f = Área de franja; V_f = Velocidad de franja

Q_t = Caudal total; ΣQ_f = Sumatoria de los caudales de franja



3.2.2 MÉTODO VOLUMÉTRICO

Este método se utiliza en los puntos de medición en los que no es posible aplicar el método Área-Velocidad, o en puntos de monitoreo en los que el método Volumétrico resultará más fácil o efectivo para la medición.

Para aplicar este método se siguen los pasos detallados a continuación:

1. Para conocer el volumen total de agua por segundo que se presenta en el punto de medición, se utilizará un recipiente de capacidad conocida, el cual se colocará de forma tal, que permita que el agua llene por completo la capacidad de dicho recipiente.
2. Con un cronómetro, se contabilizará el tiempo total, desde que el recipiente entra en contacto con el agua a medir, hasta que está totalmente lleno.
3. Se realizará este proceso 5 veces y con las lecturas se obtendrá el promedio de tiempo en que el recipiente tarda en llenarse.
4. Para obtener el caudal, se dividirá la capacidad del recipiente entre el promedio obtenido de las lecturas de tiempo (ec. 3-4).

$$Q = V_r / t \text{ (ec. 3-4)}$$

Donde:

Q =caudal; V_r =Volumen del recipiente; t=tiempo promedio de llenado

3.2.3 MÉTODO DEL FLOTADOR

Este método, se utiliza cuando las condiciones físicas del lugar no permiten utilizar el método Volumétrico y el caudal es tan pequeño que no puede ser medido con el método Área-Velocidad. Sirve también como método de



comparación en campo de resultados cuando se ha aplicado el método Área-Velocidad.

Para llevar a cabo este método se siguen los pasos detallados a continuación:

1. Seleccionar un tramo de distancia tal que no esté ubicado en una curva.
2. Medir con cinta métrica la distancia del tramo a utilizar así como su ancho y profundidad. Debe referenciarse el punto de inicio y de finalización del tramo.
3. Seleccionar un objeto tal que sea capaz de mantenerse a flote, por ejemplo un trozo de madera, una hoja resistente u otro que se considere conveniente para este fin.
4. Con un cronómetro, se contabiliza el tiempo que tarda el flotador en recorrer el tramo a totalidad, repitiendo esta operación 5 veces y obteniendo el promedio de tiempo.
5. Se obtiene la velocidad de la corriente dividiendo la distancia del tramo entre el promedio de tiempo realizado por el flotador (ec. 3-5) y posteriormente se multiplica el área transversal del tramo por la velocidad obtenida, permitiendo esto, conocer el valor de caudal.

Si el área del tramo es considerable, debe realizarse el proceso anterior dividiendo en franjas el ancho y sumando los valores individuales de Q para obtener el caudal total.

Si el ancho es pequeño:

$$V = d / t \text{ (ec. 3-5)}$$

$$Q = AV \text{ (ec. 3-1)}$$



Donde:

V= velocidad de corriente; d= distancia del tramo; t= promedio de tiempo

Q=caudal; A= área transversal del tramo

Si el ancho es considerable:

$$Q_f = A_f V_f \text{ (ec. 3-2)} \quad Q_t = \Sigma Q_f \text{ (ec. 3-3)}$$

Donde:

Q_f =Caudal de franja; A_f = Área de franja; V_f =Velocidad de franja

Q_t = Caudal total; ΣQ_f =Sumatoria de los caudales de franja

3.3. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL POR MICROCUENCA.

De acuerdo a las características físicas que presentan los puntos de monitoreo seleccionados en las seis microcuencas pueden aplicarse uno o varios métodos, pudiendo la elección de los mismo variar durante el desarrollo del monitoreo hídrico debido a los cambios físicos que pueda sufrir el punto de medición, u otros factores que permitan realizar el proceso de aforo de una manera diferente y más confiable que la seleccionada al inicio de las giras de campo, por lo que la metodología seleccionada para cada punto está sujeta a posibles cambios cuando éstos sean para beneficio de las actividades de monitoreo y éstos permitan la obtención de datos confiables en el levantamiento de la línea base de caudales para las fuentes en estudio.



Cuadro 3-7. Metodología de aforo a aplicar en cada fuente de agua en estudio durante el monitoreo hídrico.

PAÍS	MICROCUENCA	FUENTE	MÉTODO VOLUMÉTRICO	MÉTODO ÁREA VELOCIDAD	MÉTODO DEL FLOTADOR
El Salvador	Cusmapa	La Zarca	X		
	Jupula	Posada		X	X
		Vásquez		X	X
		La Montañita		X	X
Guatemala	Mezcal	La Barranca		X	X
		El Puente	X		
	Carcaj	El Puente		X	X
		Viertentón, Quequesque		X	X
Honduras	San Juan Buenavista	El Supte		X	X
		Arivas		X	X
		La Lagunilla		X	X
	Marroquín	El Escondido		X	X

Fuente: Elaboración propia.

3.4 METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA.

La metodología de medición de los parámetros de calidad de agua a tomar en cuenta durante el desarrollo del monitoreo hídrico, aplicable para las seis microcuencas en estudio, será la misma en todos los puntos de estudio. Los parámetros a medir son pH, Nitrato, Oxígeno Disuelto, Fosfato, Amonio y Dureza Total.

3.4.1 METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.

La medición de los parámetros químicos en los puntos de monitoreo, se realizó exclusivamente utilizando el kit de medición en campo VISOCOLOR ECO ANALYSENKOFFER y apoyándose de los manuales para el uso de reactivos en



la determinación de cada parámetro químico. Este kit de medición permite obtener datos inmediatos de los parámetros en medición y evita la necesidad de enviar grandes muestras de agua a laboratorio.

Los parámetros físicos del agua medidos en los puntos de monitoreo seleccionados son Conductividad Eléctrica y Temperatura.

a) Medición de Conductividad Eléctrica y Temperatura en los puntos de monitoreo.

La medición del valor de Conductividad Eléctrica, se realizó exclusivamente con el Conductivímetro EXTECH. En cada medición el resultado final se tomó como el promedio de 5 lecturas obteniendo valores con unidades $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El Conductivímetro EXTECH, además de realizar el cálculo de la Conductividad Eléctrica, también muestra en la pantalla digital el valor de la temperatura de la muestra de agua en análisis, por lo que al tomar las 5 lecturas de temperatura simultáneamente se obtienen valores de temperatura en $^{\circ}\text{C}$. El resultado final fue en cada caso el valor promedio de las 5 lecturas.

Para el análisis de los datos obtenidos de indicadores de calidad, se tomará como referencia la recopilación de normas aplicables para agua potable:

- El Salvador, Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable 2008, NSO 13.07.01:08.
- Guatemala, Norma Guatemalteca Obligatoria para Agua Potable COGUANOR. NGO 29.001.98.
- Honduras, Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable. 1995.

Dichos parámetros se resumen en la siguiente tabla:



Cuadro 3-8. Valores permisibles para parámetros de calidad aplicables a El Salvador, Guatemala y Honduras, utilizados para el monitoreo hídrico.

PARÁMETRO EN ESTUDIO	UNIDAD	FÓRMULA	VALOR PERMISIBLE
Nitrato	mg/l	NO ₃	<45*
Amonio	mg/l	NH ₄	0.5*
pH	NA	NA	6.0-8.5*
Fosfato	mg/l	PO ₄	No hay directriz
Oxígeno Disuelto	mg/l	O ₂	No hay directriz
Dureza Total	mg/l de CaCO ₃	NA	500*
Conductividad Eléctrica	μS/cm	NA	<1500**
Temperatura	°C	NA	15<T<34**

NA: No Aplica

* Tomado como valor más conservador a partir de las normas salvadoreñas para agua potable.

** Tomado como valor más conservador a partir de las normas guatemaltecas para agua potable.

Fuente: Elaboración propia, a partir de las normas de salud aplicables para El Salvador, Guatemala y Honduras.

3.4.2 METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS BACTERIOLÓGICOS EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.

Los parámetros bacteriológicos medidos en cada punto de monitoreo son unidades de colonias de Coliformes Totales y Escherichia Coli.

Los parámetros bacteriológicos fueron las únicas pruebas que no se desarrollaron en campo debido a la complejidad requerida para la realización de las mismas, por lo cual, las pruebas se apoyaron en el uso de un laboratorio destinado únicamente para este fin constituido por una incubadora, pipetas estériles, y membranas de filtración Compact Dry.

El procedimiento para la toma de muestras se detalla a continuación:



1. Quitar el sello de la bolsa estéril para muestra.
2. Llenar la bolsa con agua hasta el límite de capacidad indicado en la misma y procurando no tocar la boca de la bolsa para evitar cualquier tipo de contaminación. Es importante respetar la marca de capacidad de la bolsa para dejar un espacio aéreo que facilite la mezcla por agitación antes de realizar la prueba bacteriológica.
3. Tamaño de muestra: 100 ml.
4. Tiempo entre recolección y análisis: 6 horas máximo.

Para la toma de muestras se utilizaron bolsas plásticas especiales para muestreo con capacidad para 100 ml de agua, las cuales se depositaron en una hielera especial para su correcto transporte desde el punto de monitoreo hasta el laboratorio.

Para el análisis de los resultados obtenidos del muestreo bacteriológico, se tomará como referencia las normas aplicables para agua potable en El Salvador, Guatemala y Honduras, las cuales se resumen en la siguiente tabla:

Cuadro 3-9. Límites máximos permisibles para calidad microbiológica utilizados en el monitoreo hídrico.

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE		
	TÉCNICA		
	FILTRACIÓN POR MEMBRANAS	TUBOS MÚLTIPLES	PLACA VERTIDA
Bacterias coliformes totales	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----
Bacterias coliformes fecales o	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----
Escherichia coli	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----

Fuente: Normativas aplicables para agua de consumo humano correspondiente a El Salvador, Guatemala y Honduras.



3.4.3 FRECUENCIA DE MUESTREO.

La medición de los parámetros de calidad, aforos y análisis bacteriológico, serán realizados cada 15 días a partir del mes de Marzo del 2010 y finalizando en el mes de Octubre del mismo año.

3.5 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR/REGIÓN TRIFINIO (ICAUES/RT).

Bajo la definición de Índices de Calidad de Agua, como aquellos números únicos que expresan el estado de calidad de los recursos hídricos evaluados, mediante la integración de las mediciones de parámetros sujetos al criterio de selección del investigador, se desarrolló una metodología para la clasificación del agua de las fuentes contenidas en las seis microcuencas seleccionadas en la Región Trifinio, a partir de los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados, mediante un Índice de Calidad para las fuentes monitoreadas en la Región Trifinio (ICAUES/RT), desarrollado por estudiantes de la Universidad de El Salvador formuladores del trabajo de grado.

La metodología implementada en el presente estudio consistió en tres fases, la primera de ellas, enfocada a la selección de los parámetros de calidad que conformaría el ICAUES/RT, para posteriormente determinar los subíndices como los pesos correspondientes a cada parámetro fisicoquímico y microbiológico involucrado.



3.5.1 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ICAUES/RT.

El monitoreo hídrico llevado a cabo a partir del mes de marzo del corriente año, en las fuentes de seis microcuencas seleccionadas en la Región Trifinio, distribuidas de la siguiente manera: Microcuenca Jupula y Cusmapa en El Salvador; Mezcal y Carcaj en Guatemala; Marroquín y San Juan Buenavista en Honduras, los parámetros de calidad medidos han sido:

Cuadro 3-10. Parámetros utilizados para la realización del ICAUES/RT.

PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO		
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	NITRATO	ESCHERICHIA COLI
pH	FOSFATO	AMONIO
OXIGENO DISUELTO	DUREZA TOTAL	COLIFORMES TOTALES

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, se consideró evaluar la incidencia de los valores arrojados durante el período de monitoreo, de los diez parámetros medidos, en la calidad del agua de las fuentes.

En donde, los parámetros de calidad medidos se encuentran contenidos en las siguientes categorías:

- a) Cantidad de materia orgánica, determinada por el Oxígeno Disuelto (O₂).
- b) Materia Bacteriológica presente, establecida por Coliformes Totales y Escherichia Coli.



- c) La materia orgánica señalada por la concentración de iones de Hidrógeno (pH), y nutrientes: nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4) y Amonio (NH_4).
- d) Salas disueltas, por la Dureza Total (CaCO_3), Conductividad Eléctrica ($\mu\text{Sm/cm}$).

3.5.2 DETERMINACIÓN DE SUBÍNDICES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD.

Para la determinación de los subíndices se hizo uso de los valores permisibles, correspondientes a cada parámetro de calidad evaluado, establecidos en las normativas de calidad de agua para consumo humano de los tres países involucrados, El Salvador, Guatemala y Honduras, siendo estas normas:

- En El Salvador la “Norma Salvadoreña Obligatoria” NSO 13.07.01.08 AGUA POTABLE, 2008.
- En el caso de Guatemala se utiliza la “Norma Guatemalteca Obligatoria para Agua Potable” COGUANOR. NGO 29.001.98 publicada en el diario oficial el 4 de agosto de 2000.
- En Honduras, se utiliza la “Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable” que fue aprobada mediante el acuerdo No. 084 del 31 de julio de 1995 y entro en vigencia el 4 de octubre de ese mismo año.

Debido a que cada país de la Región Trifinio adopta su propia normativa de calidad de agua para consumo humano, se da que en determinados casos los valores permisibles de un mismo parámetro de calidad cambian de una normativa a otra, o bien, sólo se establece en un sólo país, algunos de ellos son la temperatura, pH, dureza total y nitrato como nitrato, por tanto, se creó un cuadro que contiene los parámetros de calidad medidos con los valores más



críticos a nivel trinacional, como resultado de la comparación de los valores permisibles de cada parámetro evaluado, señalados en las normativas de cada país involucrado, detallado en el cuadro 3-11.

Debido a que las normativas correspondientes a los países de Guatemala y Honduras aplicables a la calidad de agua para consumo humano, no señalan valores permisibles para parámetros microbiológicos analizados en el presente trabajo de grado, se utilizará los que señalan en El Salvador, los cuales están reglamentados, en donde no admite bacterias Coliformes Totales ni *Escherichia Coli* mediante el método de membranas, el cual es utilizado para el análisis de las muestras de agua de las fuentes estudiadas. Por tanto, en 100 ml de agua debe haber 0 colonias de estas bacterias, y para fines de análisis la suma de ambas colonias de bacterias se ha establecido como Unidades Formadoras de Colonias (UFC), la que se analizará como el parámetro de calidad integrado de dos indicadores bacteriológicos medidos para el cálculo del ICAUES/RT.

Posteriormente, se procedió a realizar el análisis para la determinación de los subíndices.

Para ello se utilizaron cinco categorías diferentes con sus respectivos rangos, basados en la escala establecida por Brown y modificada para el establecimiento de subíndices y su correspondiente interpretación. El puntaje viene desde 0 hasta un valor máximo de 100, en donde el primer subíndice o puntaje, corresponde a un pésimo valor obtenido de la medición de un determinado parámetro de calidad, por lo cual hace inadecuado el uso de esa agua, debido el grave perjuicio que provocaría a la salud del consumidor, además de sobrepasar considerablemente el valor permisible establecido en la normativa de calidad (ver Tabla 3-1). Mientras que el 100, se asigna a un resultado aceptable del parámetro de calidad, indicando que su concentración no pone en riesgo la



salud humana y que se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos en la norma de calidad de agua.

Tabla 3-1. Escala de subíndices. ICAUES/RT.

CALIDAD DEL VALOR DEL PARÁMETRO MEDIDO	VALOR DE SUBÍNDICE	INTERPRETACIÓN
EXCELENTE	91-100	No pone en riesgo a la salud humana.
BUENA	71-90	Presenta poca probabilidad de riesgo a la salud humana
REGULAR	51-70	Sobrepasa los límites de calidad de agua establecidos en normativas de salud, representando un riesgo a quien la consume.
MALA	26-50	Alta probabilidad de riesgo a la salud humana
PÉSIMA	0-25	No debe consumirse el agua

Fuente. Elaboración propia.

Debido a que el valor de algunos de los parámetros de calidad no están normados en la región trinacional, el grupo formulador del trabajo de grado se auxilió para poder establecer los subíndices correspondientes a dichos parámetros, en la Guías de la Calidad del Agua para Consumo Humano, de la Organización Mundial de la Salud, tercera edición, además del documento denominado “La calidad de las aguas de uso potable”¹¹, tal es el caso del fosfato el cual se establece un valor máximo de 0.1 mg/l, en donde mínimas trazas, ya son indeseables, debido a que la sola presencia de este parámetro indica una contaminación ya sea de aguas residuales o de fertilizantes.

Por tanto, a partir de las escalas proporcionadas por el kit de calidad para cada parámetro bajo estudio y de que tanto se alejan o se acercan esos valores a los límites permisibles, se asignó subíndices a cada parámetro evaluado, como se señala a continuación:

¹¹ Autores: Fabrizio P. Feliciani, Marina Lo Gludice, con Cooperación Italiana.



Tabla 3-2. Subíndices por cada parámetro de calidad. ICAUES/RT.

RANGOS	PONDERACIONES				
	0-25	26-50	51-70	71-90	91-100
pH					
< 4	25				
4.0-5.0		50			
5.0-6.0			70		
6.0-8.5					100
8.5-9.0		26			
> 9	0				
NITRATO (mg/l)					
ND					100
0-1					100
1.0-3.0					100
3.0-5.0					100
5.0-10.0					100
10.0-20.0				90	
20-30				90	
30-50		50			
50-70	0				
70-90	0				
90-120	0				
AMONIO (mg/l)					
ND					100
0-0.5				90	
0.5-1.0		50			
1.0-2.0		26			
2.0-3.0	0				
3.0-5.0	0				
5.0-7.0	0				
7.0-10.0	0				
10.0-15	0				
FOSFATO (mg/l)					
ND					100
0-0.2				71	
0.2-0.3			51		
0.3-0.5	0				
0.5-0.7	0				
0.7-1.0	0				
1.0-2.0	0				
2.0-3.0	0				
3.0-5.0	0				
OXIGENO DISUELT(mg/l)					
0-10					100
DUREZA TOTAL (CaCO₃)					
< 60		50			
60-200					100
200-500				71	
> 500	0				
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA(μSm/cm)					
0-1500					91
TEMPERATURA (°C)					
< 7	0				
7.0-15.0				90	
15-34					100
34.1-35		50			
>35	0				
UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (1 ml)					
0					100
> 0	0				

Fuente. Elaboración propia.



3.5.3. PONDERACIÓN DE IMPORTANCIA DE LOS PARÁMETROS ICAUES/RT.

En el diseño de sistemas de Índice de Calidad del Agua, la asignación de pesos (ponderación) de cada variable o parámetro de calidad, tiene que ver mucho con la importancia de los usos pretendidos.

Para el correspondiente cálculo de pesos para cada parámetro evaluado, se tomó en cuenta los efectos negativos a la salud humana y la vida acuática si el agua de las fuentes presentara valores fuera de norma para consumo humano (cuadro 3-11).

A partir de lo anterior, se estableció dos tablas donde se contempla los pesos relativos de los parámetros analizados, tanto para consumo humano como para vida acuática.

En lo que respecta a la vida acuática, los valores que se tomaron en cuenta para determinar la influencia negativa en los peces, son los establecidos a continuación.

Cuadro 3-11. Límites permisibles para vida acuática (peces) y consumo humano.

PARÁMETRO	DIRECTRIZ PARA SALUD HUMANA	DIRECTRIZ PARA VIDA ACUÁTICA
pH	6.0-8.5	5.0-9.0
Nitratos	45 mg/l	<200
Fosfato	No hay directriz	<3
Amonio	0.5 mg/l	no hay directriz
Dureza	500 mg/l	20-300
Oxígeno Disuelto	4 - 6.5 mg/L	>4
Temperatura	15-34 °C	15-32
Conductividad	1500 µS/cm	150-1000
UFC (100 ml)	15-34 °C	no hay directriz

Fuente A partir de las normas aplicables a El Salvador, Guatemala y Honduras para consumo humano y del Centro Nacional Universitario Bariloche, Argentina para vida acuática.



3.5.4 CÁLCULO DE LOS PESOS DE LOS PARÁMETROS DEL ICAUES/RT.

Inicialmente se asignó un valor de importancia a cada parámetro de calidad, el cual se manejó dentro del rango de 0 a 10, como criterio establecido por el equipo evaluador del ICAUES/RT, en donde el 10 reflejaba un alto grado de deterioro a la salud humana, en caso de que el parámetro saliera de los valores permisibles señalados en las normativas para consumo humano, caso contrario, el 0 designaba un nulo perjuicio. Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 3-3. Valor de importancia en ser humano y vida acuática. ICAUES/RT.

PARÁMETROS DE CALIDAD EVALUADOS	COMPONENTE AMBIENTAL	
	SER HUMANO	VIDA ACUÁTICA
Nitrato (mg/l)	10	2
Amonio(mg/l)	6	2
Fosfato(mg/l)	6	5
pH	6	9
Dureza Total (CaCO ₃)	6	9
Conductividad Eléctrica(μSm/cm)	2	7
Temperatura (°C)	1	10
Oxígeno Disuelto (mg/l)	1	10
Unidades Formadores de Colonias (100 ml)	10	0

Fuente. Elaboración propia.

En continuación, la importancia dada a los parámetros, mediante los valores establecidos entre 0 y 10, se pasaron a porcentajes o escala de 0 a 1, para



determinar su peso dentro del conjunto de variables tomadas en cuenta. Los resultados se señalan en las siguientes tablas.

Tabla 3-4. Pesos Relativos en ser humano y vida acuática, ICAUES/RT.

PARÁMETROS DE CALIDAD EVALUADOS	PESOS RELATIVOS (Wi)	
	SER HUMANO	VIDA ACUÁTICA
Nitrato (mg/l)	0,208	0.037
Amonio(mg/l)	0,125	0.037
Fosfato(mg/l)	0,125	0.093
pH	0,125	0.167
Dureza Total (CaCO ₃)	0,125	0.167
Conductividad Eléctrica(μSm/cm)	0,042	0.130
Temperatura (°C)	0.021	0.185
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.021	0.185
Unidades Formadores de Colonias (100 ml)	0.208	0
TOTAL	1,000	1,000

Fuente. Elaboración propia.

3.5.5 ECUACIÓN DE CÁLCULO DEL ICAUES/RT

Finalmente, se incorpora los subíndices y pesos correspondientes a cada uno de los nueve parámetros evaluados, para calcular el Índice de Calidad de Agua para los usos: consumo humano y vida acuática enfocada a peces.

Por lo tanto, a partir de las fórmulas anteriormente señaladas, se ha considerado para el posterior estudio a los cuerpos de agua monitoreados en las seis microcuencas seleccionadas dentro de la Región Trifinio, utilizar el ICA a través del promedio aritmético ponderado, debido al análisis de calidad requerido en cada fuente, estableciendo mediante los resultados obtenidos y el uso de este índice, el grado de contaminación en éstas, logrando identificar aquellos



parámetros fuera de norma que hacen modificar la calidad del agua analizada, que inciden directamente en el usuario de dicho recurso hídrico, todo ello, conforme a la siguiente fórmula (ec. 3-6):

(ec. 3-6)

Donde:

w_i, son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

q_i, es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100, PI representa la operación multiplicativa de las variables q elevadas a la w.

Por tanto, al asignar los subíndices o calidad a cada uno de los 9 parámetros de calidad evaluados, y establecer sus correspondientes pesos, puede a partir de estos dos elementos, calcular el ICAUES/RT en las fuentes monitoreadas en las seis microcuencas seleccionadas.

3.5.6 RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL ICAUES/RT.

Finalmente para realizar la clasificación de la calidad del agua según el valor del ICAUES/RT, los rangos utilizados fueron de 0 a 100, debido que a lo largo de la historia de los ICAs se ha utilizado frecuentemente estos rangos de valores propuesto por Brown, uno de los pioneros en la creación de este índice en los años '70, teniendo en cuenta, además de ello, las características que debe presentar el agua para ser considerada como fuente de captación para el



consumo humano. Dicha clasificación se presenta en la siguiente tabla, estableciéndose a la vez, la interpretación de los rangos de valores modificados bajo el criterio del grupo evaluador, y correspondientes a la calidad de agua resultante, para el uso del agua como consumo humano y vida acuática.

Tabla 3-5. Clasificación de ICAUES/RT para consumo humano y vida acuática

CALIDAD DEL AGUA	VALOR	INTERPRETACIÓN	
		SER HUMANO	VIDA ACUÁTICA
EXCELENTE	91-100	Apta para el consumo sin poner en riesgo a la salud humana.	Permite el desarrollo óptimo de peces
BUENA	71-90	Presenta poca probabilidad de riesgo a la salud humana, por lo que es preciso monitorear fuente e identificar origen de contaminación. Permite tratamiento mediante métodos caseros	Permite el desarrollo de peces
REGULAR	51-70	Sobrepasa los límites de calidad de agua establecidos en normativas de salud, representando un riesgo a quien la consuma. Requiere de un proceso de potabilización profunda	Permite el desarrollo limitado de peces
MALA	26-50	Amenaza para el consumo humano, requiere de tratamiento especializado	Alta probabilidad que no puedan desarrollarse peces
PÉSIMA	0-25	No apta para el contacto ni consumo humano	No permite el desarrollo de peces

Fuente. Elaboración propia.



3.6 METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DEL AREA DE RECARGA DE LAS FUENTES EN ESTUDIO.

Para el cálculo del área de recarga de una fuente de interés, se puede hacer uso tanto de métodos de trazo de parte-aguas con imágenes satelitales, como de métodos matemáticos basados en ciertos datos específicos.

3.6.1 CALCULO DEL ÁREA DE RECARGA PARA LAS FUENTES EN ESTUDIO, BASADO EN EL TRAZO DEL PARTE-AGUAS.

Para la delimitación del área de recarga de la fuente, basándose en el parte-aguas, primero debe tomarse en cuenta las observaciones realizadas durante la visita de reconocimiento del lugar, en la que debe observarse la dirección del flujo y la cantidad del caudal de la fuente. Dado que la fuente se encuentra en una zona fracturada, se tiene que constatar que el área de recarga o el terreno ubicado en la parte alta del afluente, sea proporcional con el caudal que emerge de dicha fuente. Además de ello, debe observarse que las aguas, no sean conducidas a través de una fractura desde otro sitio hasta la fuente en estudio. Como siguiente paso, al constatar que el caudal es proporcional al área de recarga, se procede a realizar la delimitación de dicha área a través de imágenes satelitales del lugar, tomando como punto de partida y de llegada la fuente en análisis, trazando el parte-aguas en los puntos de mayor elevación, donde en dicha área, la infiltración se da por la acción de la fuerza gravitacional y capilar, aprovechando las condiciones de rugosidad del suelo y la presencia de vegetación en el lugar, llegando hasta los acuíferos. Este trazo se realiza haciendo uso de las herramientas del software ArcGIS, para el caso, en su versión 9.3.



Al obtener el trazo del parte-aguas a través de la imagen satelital, debe realizarse el cálculo del área que comprende la delimitación que se hizo, esto, se hace por medio de las herramientas del software en cuestión. Ésta delimitación y el área obtenida de la misma, es sólo un trazo inicial, ya que está sujeta a cambios puesto que debe comprobarse con el área que se obtendrá a partir de los cálculos matemáticos. En caso de que estas áreas difieran entre sí por mucho, el trazo a través de ArcGIS, debe realizarse nuevamente.

3.6.2 CÁLCULO DEL ÁREA DE RECARGA PARA LAS FUENTES DE AGUA EN ESTUDIO, BASADO EN MÉTODOS MATEMÁTICOS.

El método matemático para el cálculo del área de recarga, se basa en la ley de conservación de flujos, donde el agua total que entra al área de recarga, debe ser igual al total de agua que aflora en la fuente en estudio. Los siguientes pasos, describen el procedimiento utilizado para el cálculo numérico del área de recarga hídrica para las fuentes objeto de estudio:

1. A partir de los datos obtenidos para caudal durante el monitoreo hídrico, obtener el flujo base (Q_b) para la fuente, el cual se calcula, promediando los valores de caudal obtenidos durante la época seca en que se realizó la medición en campo.
2. A partir de los datos obtenidos para caudal durante el monitoreo hídrico, obtener el flujo excedente para la época de invierno (Q_{ex}) en la fuente, el cual se calcula, promediando los valores de caudal obtenidos durante la época de lluviosa en que se realizó la medición en campo y restándole el flujo base calculado en el paso 1.
3. Calcular el caudal de salida en la fuente, que será, la suma del caudal base más el caudal excedente calculados en el paso 2 y 3 respectivamente.



4. A partir de la delimitación del área de recarga trazada mediante el software ArcGIS, se obtiene mediante las herramientas del programa, la sumatoria del área de los diferentes tipos de cobertura vegetal comprendidas en dicha zona. Calcular el porcentaje de área de cada tipo de cobertura sobre el total obtenido.
5. Calcular la pendiente promedio de la delimitación del área de recarga, tomando para tal fin, las elevaciones de los puntos más lejanos de dicha área y la distancia entre ellos.
6. Haciendo uso del nomograma presentado en la Fotografía 3-13 y el dato de pendiente promedio, así como de la clasificación de permeabilidad del suelo (previamente conocido), obtener los coeficientes de escorrentía para cada tipo de cobertura vegetal.
7. Obtener el coeficiente de escorrentía ponderado, realizando la sumatoria de los productos del porcentaje de área para cierto tipo de cultivo y su coeficiente de escorrentía.
8. Calcular el coeficiente de infiltración para el área de recarga, el cual es:

$$C_i = 1 - C_e \text{ (ec. 3-7)}$$

Donde:

C_i =coeficiente de infiltración.

C_e =coeficiente de escorrentía ponderado.

9. Calcular el área de recarga de la fuente:

Se sabe que caudal es igual a un volumen conocido obtenido en un determinado tiempo, por lo tanto, que el caudal de entrada es:



$$Q_e = V/T \text{ (ec.3-8)}$$

Donde:

Q_e = Caudal de entrada, considerado igual al caudal de salida calculado en el paso 3, debido a la conservación de flujo.

V = Volumen dado por la precipitación en un área determinada.

T = Tiempo, período en el cual se acumulan las precipitaciones. En este caso será de un año (año anterior a la fecha en que se realizará el cálculo).

La precipitación que cae sobre el área, no infiltra en totalidad, debido a que parte de ella es extraída del área de recarga por acción de la Evapotranspiración, Escorrentía Superficial y Flujo Subterráneo. Para el caso del presente documento, solo se tomará en cuenta la variable Escorrentía Superficial por ser la más representativa y ya que el objetivo no es realizar un balance hídrico, sino trazar aproximadamente el área de recarga para saber si las parcelas intervenidas por el Programa “Bosques y Agua” se encuentran dentro de dicha área, con lo cual se tendrá la idea de que tan favorable serán estas acciones para la cantidad e indicadores de calidad de la fuente.

El volumen que se utiliza para poder obtener el caudal de entrada, es la precipitación que se infiltra multiplicada por el área de recarga (ec.3-9), donde ésta última representa el dato desconocido a determinar. Por lo tanto:

$$V = I * A \text{ (ec.3-9)}$$

Donde:

I = Cantidad de Infiltración del agua en el suelo

A = Área de recarga.



Al sustituir ec.3-9 en ec.3-8 se obtiene:

$$Q_e = I * A / T \text{ (ec.3-10)}$$

Por lo tanto para realizar el cálculo del área de recarga se tiene que:

$$A = Q_e * T / I \text{ (ec.3-11)}$$

Además, Para determinar el agua que infiltra, debe multiplicarse la precipitación por el coeficiente de infiltración, para que el agua que es extraída en forma de escorrentía, sea descartada en los cálculos y así tomar en cuenta sólo las descargas que son a través de flujos subterráneos; para ello, se multiplica la precipitación por un coeficiente de infiltración tal como se mencionó anteriormente:

$$I = P * C_i \text{ (ec.3-12)}$$

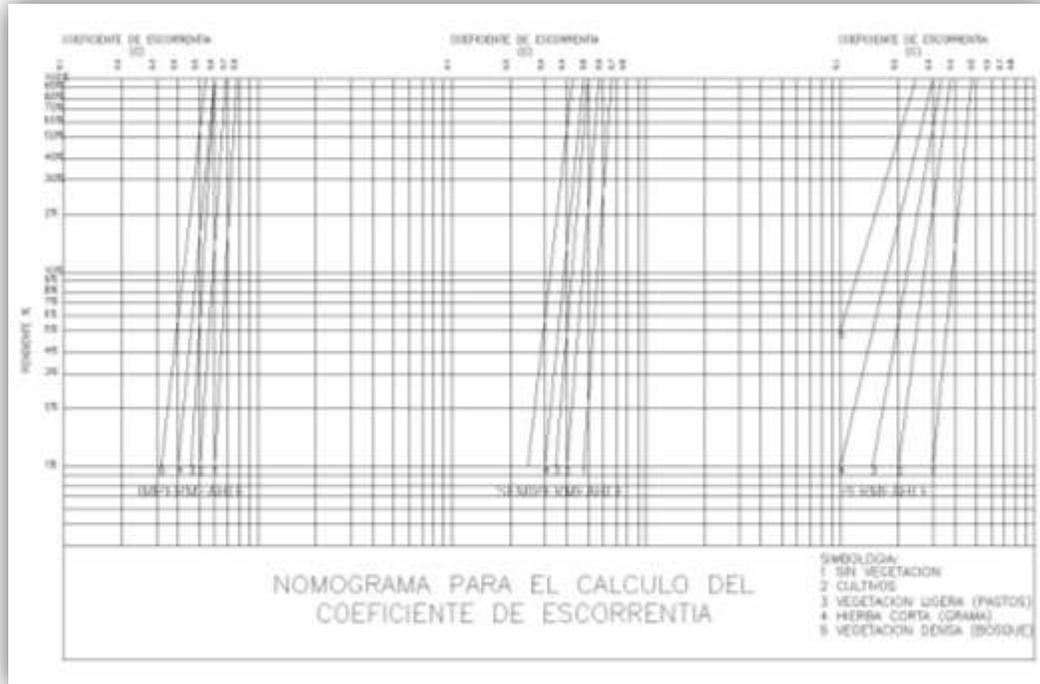
Donde:

P= Precipitación promedio anual.

C_i= Coeficiente de infiltración obtenido en el numeral 6.



Fotografía 3-13. Nomograma Ven Te Chow para el cálculo del coeficiente de escorrentía.



Fuente: Archivo de Tablas del grupo formulador del trabajo de grado.

10. Posterior a la obtención de la cantidad de agua infiltrada, se realiza el cálculo del área de recarga con la ecuación 3-11, y se compara con el trazo realizado en ArcGIS. Si estos valores varían por mucho, debe repetirse el cálculo, hasta que la diferencia de ambas áreas sea mínima (aproximadamente 10%).



CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura



4.1 ANÁLISIS DE CAUDALES DE LAS FUENTES EN ESTUDIO EN LAS SEIS MICROCUENCAS.

Los resultados obtenidos de la medición de caudales durante el desarrollo de monitoreo, son útiles para el cálculo del área de recarga de cada fuente en estudio, en las seis microcuencas. Además, se utilizaron para relacionar la variación de los indicadores de calidad, con los aumentos de agua en las fuentes en las giras de medición, para poder realizar los análisis de dichos parámetros. La entrada del invierno, se presentó en la última semana del mes de mayo, evidenciándose en el aumento de los caudales en todas las fuentes, a partir de esta fecha.

Los gráficos de caudal obtenidos fueron:

a) Fuente La Zarca, Microcuenca Cusmapa, El Salvador:

Gráfico 4-1. Resultados de Caudal, Cusmapa, La Zarca.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de caudal, tienen un notable aumento a partir de la semana posterior a la entrada del invierno (semana del 1 al 4 de junio). Se observa, que el tiempo de recorrido del agua subterránea que recarga en esta zona es muy pequeño,

debido a que el área se encuentra en un estrato fisurado. Los caudales se mantuvieron menores a 75 l/s. A partir de la observación del gráfico, el flujo base para esta fuente se establece de 2.0 l/s.



b) Fuentes La Montañita, Vásquez y Posada, Microcuenca Jupula, El Salvador:

Gráfico 4-2. Resultados de Caudal, Jupula, fuentes Montañita, Vásquez y Posada.



Fuente: Elaboración propia

Para las fuentes La Montañita, Vásquez y Posada, el aumento del valor de caudal se presentó a partir de la primer semana posterior a la entrada del invierno, manteniéndose fluctuante a partir de esta fecha. Al igual que para la Microcuenca Cusmapa, el

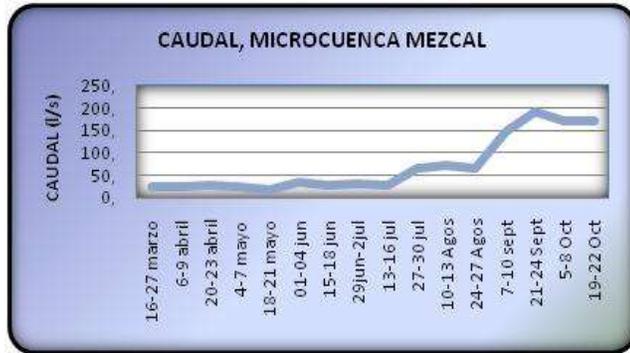
aumento de los caudales posterior a las precipitaciones, se da en un período corto de tiempo. Los caudales se mantuvieron por debajo de los 50 l/s, 10 l/s y 4 l/s para La Montañita, Posada y Vásquez respectivamente. Esta Microcuenca presenta un tipo de suelo permeable. Los valores de caudal base resultantes para las fuentes La Montañita, Vásquez y Posada, son de 0.9, 0.6 y 0.9 l/s respectivamente.

c) Fuente La Barranca, Microcuenca Mezcal, Guatemala:

El aumento considerable en la cantidad de agua en esta fuente, se puso en evidencia a partir de la tercer semana posterior a la entrada de la época de invierno (29 de junio al 2 de julio), siendo el tiempo de respuesta mayor al presentado por la Microcuenca Cusmapa, ya que en esta zona, para la fuente La Barranca, se presenta un estrato tan fracturado, que se comporta como si fuese un estrato poroso.



Gráfico 4-3. Resultados de Caudal, Mezcal, La Barranca.



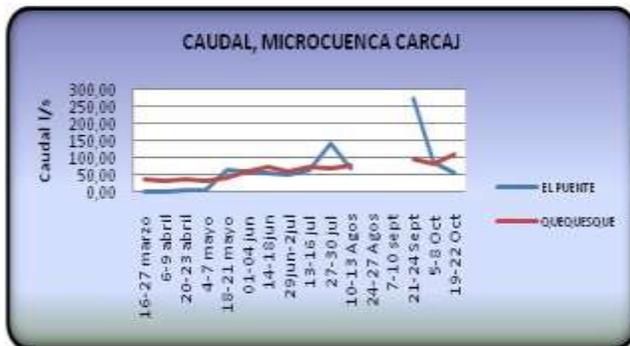
Fuente: Elaboración propia

A partir de este incremento, y para el resto de las mediciones en el monitoreo hídrico, el valor de caudal se mantuvo en valores altos y constantes, presentándose un nuevo incremento a partir de la semana del 7 al 10 de septiembre. Los

caudales se mantuvieron menores a 192 l/s. Esta Microcuenca presenta un tipo de suelo Semipermeable. El caudal base resultante para esta fuente es de 23.4 l/s.

e) Fuentes El Puente y Viertentón Quequesque, Microcuenca Carcaj, Guatemala:

Gráfico 4-4. Resultados de Caudal, fuentes El Puente y Viertentón Quequesque.



Fuente: Elaboración propia

Los aumentos significativos de caudal para estas fuentes, se presentaron a partir de la semana de entrada de la época lluviosa, siendo en ocasiones mayor para el punto de monitoreo El Puente, probablemente por el aporte de escorrentías superficiales al flujo del agua.

Los caudales mayores se obtuvieron en esta fuente, llegando hasta los 274 l/s. El gráfico se vuelve discontinuo en la semana del 24 al 27 de agosto debido a

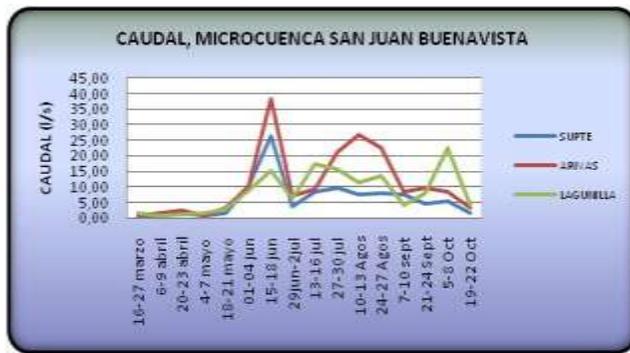


deslaves considerables en el camino, impidiendo el acceso a las fuentes de agua. El caudal base resultante para las fuentes El Puente y Viertentón Quequesque son de 14.4 y 37.0 l/s respectivamente.

f) Fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla, Microcuenca San Juan Buenavista,

Honduras:

Gráfico 4-5. Resultados de Caudal, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.



Fuente: Elaboración propia

Los aumentos significativos en las tres fuentes se presentaron en la semana posterior a la entrada de la época de invierno (semana del 1 al 4 de junio), semana en la que se observa la respuesta de la recarga, mediante el aumento en el caudal de salida. A partir de esta fecha,

los valores pico en cada fuente varían poniendo en evidencia, la diferencia del régimen de la salida del agua para cada una de ellas. Los caudales más altos se presentaron en la Fuente Arivas, y las tres fuentes presentaron un tiempo corto de respuesta en el caudal posterior a las precipitaciones. El tipo de suelo en esta Microcuenca es permeable. Los caudales base para las fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla son de 1.0, 1.6 y 1.6 l/s respectivamente.

f) Fuentes El Escondido, Microcuenca Marroquín, Honduras:

La respuesta significativa, en el aumento de caudal de esta fuente, se presentó a partir de la cuarta semana posterior a la entrada de la época lluviosa.



Gráfico 4-6. Resultados de Caudal, Marroquín, Fuente El Escondido.



Fuente: Elaboración propia

El Tiempo de respuesta de esta Microcuenca no es tan rápido como se ha presentado en otras microcuencas como Cusmapa y San Juan Buenavista. Los caudales se mantuvieron menores a los 16 l/s. El gráfico presenta discontinuidad en la semana

del 15 al 18 de junio, debido a derrumbes en el lugar impidiendo el acceso a la fuente de agua.

La observación del tiempo de respuesta de los caudales posterior a las precipitaciones, permite relacionar el aumento o disminución en los valores medidos en los parámetros de calidad durante el desarrollo del monitoreo hídrico, con la fluctuación de la cantidad de agua en los puntos de monitoreo en estudio. La variación de los caudales puede conllevar el arrastre de partículas de compuestos impregnados en el suelo producto de las actividades antropogénicas en las zonas de estudio, eminentemente dedicadas a la agricultura y pastoreo.

El análisis de la variación de los indicadores de calidad bajo monitoreo, así como los resultados de la aplicación del ICAUES/RT, se presentan a continuación.



4.2 ANÁLISIS PARA LA OBTENCIÓN DEL ICAUES/RT PARA LAS SEIS MICROCUENCAS SELECCIONADAS.

Para el establecimiento de un indicador de la calidad que las fuentes en estudio de las seis microcuencas presentan, a partir de los datos obtenidos durante las actividades de monitoreo hídrico presentados en el Anexo A-1, se hace uso del ICAUES/RT descrito anteriormente en el apartado 3.5 del desarrollo de la metodología, el cual, se calculó para cada semana de medición en las fuentes de las seis microcuencas bajo estudio, obteniendo los siguientes resultados.

4.2.1 ICAUES/RT, MICROCUENCA CUSMAPA, EL SALVADOR.

Las tablas para el cálculo del ICAUES/RT de la Microcuenca Cusmapa se presentan en el Anexo A-2 (Gira 1 como ejemplo) y los resultados obtenidos para el mismo, se muestran en la tabla 4-1:

Tabla 4-1. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Cusmapa, fuente La Zarca, El Salvador.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 2:	5-6 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 5:	17-21 MAYO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 7:	15-18 JUNIO	64,2	REGULAR	87,6	BUENA
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 9:	12-16 JULIO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA

Fuente: Elaboración propia



La calidad de agua predominante tanto en época de verano como época de invierno, fue REGULAR, ya que los parámetros de calidad fosfato y unidades formadoras de coliformes sobrepasan los valores permisibles por normativas regionales que regulan la salud humana.

Por tanto, el agua de dicha fuente: Sobrepasa los límites de calidad de agua establecidos en normativas de salud, representando un riesgo a quien la consume, por lo que requiere de un proceso de potabilización profunda, sin embargo, permite el desarrollo de peces, siendo para éste fin, un agua de calidad clasificada como BUENA.

4.2.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA CUSMAPA, EL SALVADOR.

A partir del levantamiento de información realizada por Técnicos del Programa “Bosques y Agua” en las parcelas en estudio en la Microcuenca Cusmapa, se obtuvo la siguiente información sobre las prácticas agrícolas más comunes y los cultivos más comunes, tomadas sobre un área total de 45.5 MZ de parcelas.

Tabla 4-2. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.

MICROCUENCA	PRACTICA	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
Cusmapa	Cultivos	45.5	100
	Bosque	1	2.2
	Pasto	1	2.2

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

**Tabla 4-3.** Cultivos más comunes, Microcuenca Cusmapa, El Salvador.

CULTIVO	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
maíz	21,4	47,03
frijol	10,9	23,96
café	8,25	18,13

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Se observa que los cultivos que predominan son el maíz, El frijol y el café, para los cuales las tecnologías aplicadas más utilizadas son los fertilizantes y los herbicidas según se observa en la Tabla 4-4 y sus respectivos nombres en las tablas 4-5, junto al cual, se presenta en paréntesis, el tipo de compuesto que aporta al suelo al momento de ser aplicado, siendo también estos, producto de la acumulación en los suelos por el uso constante de los mismos para fines agrícolas.

Tabla 4-4. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca Cusmapa, El Salvador

CULTIVO	TECNOLOGÍA APLICADA			
	FERTILIZANTE %*	INSECTICIDA %*	HERBICIDA %*	FUNGICIDA %*
Maíz	47,03	4,4	19,78	10,99
Frijol	23,96	2,2	12,09	0
Café	18,13	3,85	3,85	2,75

* Porcentaje de área en el que se usa sobre el total de parcelas.

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.



Tabla 4-5. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Cusmapa, El Salvador

FERTILIZANTES	HERBICIDAS	INSECTICIDAS
Mezcla 16-20-0 (Nitrogeno, Fosfato, Potasio)	Gramoxone	Basudin (Fosfato)
Mezcla 15-15-15 (Nitrogeno, Fosfato, Potasio)	Glifosato (Fosfato)	Terbufos (Fosfato)
Urea (Nitrato y Fosfato)		

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Las fertilizaciones en esta Microcuenca fueron en los primeros 15 días de Julio, a finales de agosto y a principios de octubre.

Los datos anteriores, son de utilidad para el análisis de la variación de los parámetros medidos de marzo a octubre del año 2010, es decir, durante el desarrollo del monitoreo hídrico:

Gráfico 4-7. Resultados de pH, Cusmapa, La Zarca.



Fuente: Elaboración propia

a) Nivel de pH

A partir del gráfico, se observa que el valor de pH presentado durante el desarrollo del monitoreo hídrico, ha sido constante, manteniéndose en un rango de 6.5 a 7.5, considerándose éste como un valor neutro de pH, indicando que no ha habido aporte de

partículas de suelo o roca que alteren dicho valor acidificando o alcalinizando



las aguas subterráneas. Los fertilizantes, herbicidas e insecticidas utilizados en las prácticas agrícolas, también presentan valores de pH considerados como neutros, exceptuando el Basudin, químico utilizado como insecticida y que posee un pH alcalino, con un rango de 9.0 a 10.5, por lo que podría modificar ligeramente el pH del agua si existieran grandes infiltraciones de este producto.

b) Conductividad Eléctrica (CE)

Gráfico 4-8. Resultados de CE, Cusmapa, La Zarca.



Fuente: Elaboración propia

La Conductividad Eléctrica ha sido uno de los parámetros que se ha mantenido prácticamente constante durante el desarrollo del monitoreo hídrico, fluctuando entre los 150 y 156 µS/cm, como lo muestra el gráfico.

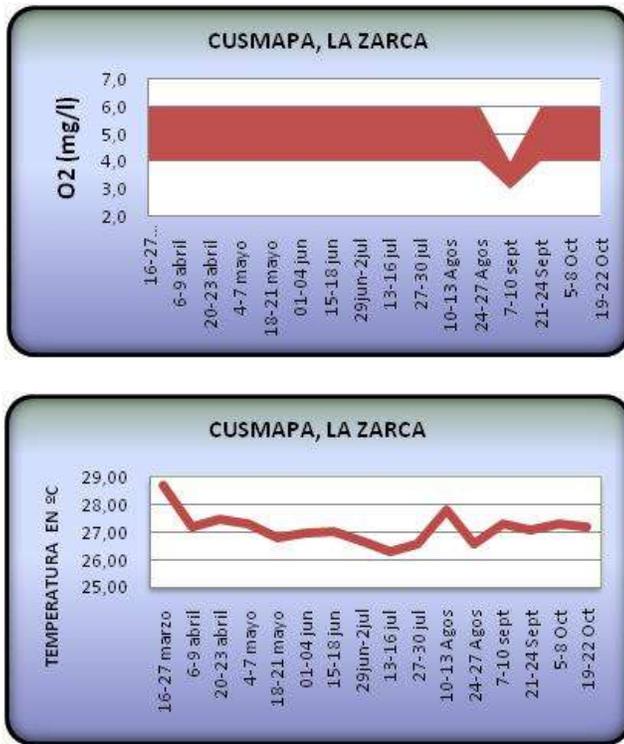
La influencia del arrastre de sales presentes en el suelo o rocas, no ha provocado cambios representativos en la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, manteniéndose los niveles muy por debajo de los permisibles que garantizan el bienestar de los consumidores, siendo éste nivel de 1500 µS/cm.

Un valor alto de CE también es un indicador de valores anómalos de pH, por lo que se observa que ambos parámetros se han mantenido en valores constantes, por lo que se han mantenido en equilibrio mutuo.



c) Nivel de Oxígeno Disuelto y Temperatura

Gráfico 4-9. Resultados de Oxígeno disuelto y Temperatura, Cusmapa, La Zarca.



Fuente: Elaboración propia

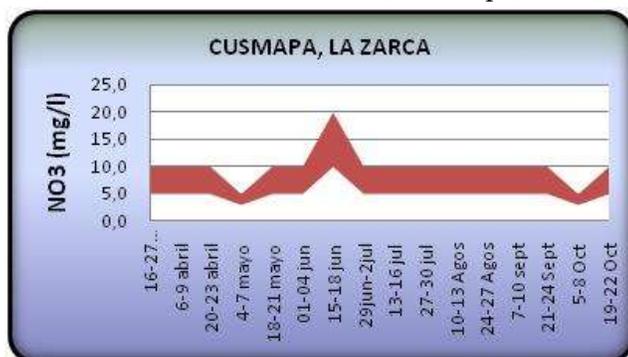
La adición de Nitratos y Fosfatos a las aguas subterráneas podría facilitar el crecimiento de plantas y microorganismos que disminuyan el nivel de Oxígeno Disuelto en el agua de la fuente en estudio, sin embargo la contaminación de las aguas por este tipo de compuestos no ha sido suficientemente alta como para provocar descensos grandes del nivel de Oxígeno, manteniéndose éste en un rango de 4.0 a 6.0 mg por litro

de agua, siendo 4.0 mg/l el valor mínimo permisible por las normas para la conservación de la vida acuática. El tipo de agroquímicos utilizados en los ciclos de cultivo de las parcelas dentro del área de recarga, no aportan compuestos que al infiltrar al acuíferos represente una fuente potencial de extracción de oxígeno, así como tampoco ha influenciado a este fin, la temperatura del agua, la cual se ha mantenido entre los 26 y 29 °C.



d) Nitrato (NO₃)

Gráfico 4-10. Resultados de NO₃, Cusmapa, La Zarca.



Fuente: Elaboración propia

Los fertilizantes utilizados en estas parcelas han sido los Fosfatos y las Ureas¹².

En el caso de las Ureas, este tipo de fertilizantes aportan cantidades grandes de nitrógenos al suelo, de las cuales solo el 50% son aprovechados por los

cultivos¹³, por lo tanto, al continuar el ciclo de nitrógeno, los restos no aprovechados por las plantas se transforman en acumulaciones de nitratos en el suelo, presentando una fuente potencial de contaminación por este elemento en las aguas al infiltrar en las zonas de recarga hídrica. Tal como se puede observar en el gráfico 4-10, los niveles de Nitrato obtenidos durante las giras de monitoreo hídrico se han mantenido constantes, presentándose esta tendencia debido a que los suelos en esta Microcuenca han sido eminentemente agrícolas con el paso de los años, facilitando la acumulación de este compuesto en el suelo y presentando una fuente constante de contaminación a los mantos acuíferos de la zona, cuyos niveles se han mantenido entre 5 y 10 mg de Nitrato por cada litro de agua durante el período de monitoreo. Sin embargo existen ciertos incrementos durante el mes de junio que coinciden con el inicio de la estación lluviosa.

¹² Obtenido a partir de entrevistas realizadas a agricultores de la zona.

¹³ "Los Recursos Hídricos en la parte alta de la Cuenca del Río Lempa", Comisión Trinacional del Plan Trifinio.



e) Fosfato (PO₄)

Gráfico 4-11. Resultados de PO₄, Cusmapa, La Zarca



Fuente: Elaboración propia

Los fosfatos constituyen otro de los productos utilizados por los agricultores dentro del ciclo de cultivo, a lo largo de los años, para los productos agrícolas como el maíz, el café y el frijol¹⁴. Dentro de este tipo de tecnologías, se pueden mencionar los insecticidas

como el Terbufos, que pertenece al tipo de químicos Organofosforados, lo cual indica que puede aportar partículas de fosfato al suelo, y por lo tanto representar una fuente de contaminación de los acuíferos por medio de la infiltración.

Debido a que los suelos han sido de constante uso agrícola a través de los años, es posible que algunas trazas de iones fosfato adicionadas a partir de aplicaciones anteriores de fertilizantes, herbicidas o insecticidas, también se encuentren aún influenciando el nivel de este parámetro en el agua subterránea de la Microcuenca Cusmapa, el cual ha variado entre 0.5 y 3.0 mg de fosfato por litro de agua.

f) Amonio (NH₄)

Durante el desarrollo del monitoreo hídrico, el nivel de Amonio se ha mantenido como NO DETECTABLE, es decir, no apreciable con el método de análisis

¹⁴ Tomado a partir de la Tabla 4-3.



aplicado en campo para su detección, ni con la escala presentada en el mismo (el valor menor presentado por la escala del Kit de monitoreo de calidad, para el Amonio, es de 0.5 mg/l), ya que los valores presentes de este parámetro, en caso de encontrarse en el agua, tendría un valor demasiado pequeño, lo cual es favorable para el recurso hídrico de la Microcuenca y la salud de los consumidores, puesto que el Amonio es altamente tóxico para los seres humanos. El único valor detectado de Amonio se presentó en la primera semana de medición, probablemente por una descarga directa de este compuesto y que no fue registrada por el equipo de medición debido a que antes del monitoreo hídrico, no se implementaba ningún control de estos parámetros en la fuente de agua.

La ausencia de Amonio indica que no hay fuentes constantes y directas de aporte de este parámetro al agua.

g) Dureza Total (GH)

Gráfico 4-12. Resultados de GH, Cusmapa, La Zarca.



Fuente: Elaboración propia

La Dureza Total indica la presencia de sales en el agua, en su mayoría carbonato de calcio, ya que este constituye el 90% de los componentes salinos de aguas subterráneas.

El origen de estas sales proviene del arrastre de partículas del suelo o de rocas

presentes en el medio en que circula el agua, y en muy pocas ocasiones, de sales provistas por productos químicos aplicados durante los ciclos de cultivo.



El nivel de Dureza Total, se ha mantenido entre los 54 y 162 mg de carbonato de calcio por litro de agua, fluctuando entre estos valores debido a la presencia de rocas efusivas básicas intermedias, basaltos, que aportan partículas de calcio al agua de los acuíferos. El nivel de Dureza Total, ha disminuido debido a la disolución de sales por acción de las precipitaciones con la entrada de la época de invierno. Por lo anterior, se deduce que los aportes de dichas sales son constantes y tienen como única fuente representativa el arrastre de partículas del suelo. La disolución de sales no ha tenido influencia de la temperatura del agua, ya ésta última se ha presentado en niveles constantes.

h) Coliformes Totales y E. Coli (UFC)

Gráfico 4-13. Resultados de UFC, Cusmapa, La Zarca.



Fuente: Elaboración propia

En todas las giras de monitoreo las Unidades Formadoras de Coliformes (UFC) presentaron valores mayores a cero, indicando la presencia de materia fecal en el agua, proveniente de animales de sangre caliente o de aguas residuales no tratadas

correctamente en la zona, por lo que este valor se encuentra fuera de lo establecido en las normas de salud, que indica que el número de UFC debe ser igual a cero. Las pruebas en laboratorio para UFC, se realizaron a partir de la gira 7 de monitoreo comprendida del 15 al 18 de junio.



4.2.3 ICAUES/RT, MICROCUENCA JUPULA, EL SALVADOR.

Los resultados obtenidos para el ICAUES/RT para la Microcuenca JUPULA, fuentes La Montañita, Posada y Vásquez, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4-6. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Jupula, fuente La Montañita, El Salvador.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 2:	5-6 ABRIL	66,4	REGULAR	84,4	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	68,9	REGULAR	86,2	BUENA
GIRA 5:	17-21 MAYO	60	REGULAR	79,8	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	72,5	BUENA	88,9	BUENA
GIRA 7:	15-18 JUNIO	66,4	REGULAR	84,4	BUENA
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	66,4	REGULAR	84,4	BUENA
GIRA 9:	12-16 JULIO	68,9	REGULAR	86,2	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	68,9	REGULAR	86,2	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	68,9	REGULAR	86,2	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	60	REGULAR	79,8	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	60	REGULAR	79,8	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	66,4	REGULAR	84,4	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	66,4	REGULAR	84,4	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	68,9	REGULAR	86,2	BUENA

Fuente: Elaboración propia

Durante la época de verano, que incluye los meses marzo y abril, y la época de invierno (a partir del mes de mayo) para la fuente La Montañita, la calidad del agua obtenida con la aplicación del ICAUES/RT, se mantiene como REGULAR, lo cual indica que sobrepasa los límites de calidad de agua establecidos en normativas de salud, representando un riesgo a quien la consume, por lo que requiere de un proceso de potabilización profunda. Durante ambas épocas, la calidad del agua de esta fuente para el desarrollo de vida acuática se mantiene como BUENA. Los parámetros que presentan mayores niveles en esta fuente son el Nitrato, el Fosfato y UFC de coliformes totales y E. coli, presentando valores significativos e indicando una fuente permanente de contaminación o



acumulaciones de compuestos contaminantes durante los ciclos de cultivo previos.

Tabla 4-7. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Jupula, fuente Posada, El Salvador.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 2:	5-6 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 5:	17-21 MAYO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 7:	15-18 JUNIO	70,6	REGULAR	92,2	EXCELENTE
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 9:	12-16 JULIO	72,2	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 10:	27-30 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	87,1	BUENA	89,8	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	64,2	REGULAR	87,6	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	64,2	REGULAR	87,6	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA

Fuente: Elaboración propia

Para la fuente Posada, la calidad del agua durante la época de verano, se mantiene como REGULAR, mientras que a partir de la entrada de la época de invierno, la calidad del agua se mantiene entre REGULAR y BUENA, indicando, una leve mejora en los niveles obtenidos en los parámetros de calidad bajo monitoreo, asociado, a las variaciones de caudal en la fuente, y presentando la posibilidad de tratar el agua con métodos caseros que minimicen el riesgo a la salud humana por su consumo. Sin embargo, a pesar de lo anterior expuesto, no debe tomarse a la ligera el tratamiento del agua de esta fuente, debido a que presenta niveles altos en ciertos indicadores de calidad, principalmente, los presentados por el Fosfato, Nitrato y Coliformes Totales.

**Tabla 4-8.** Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Jupula, fuente Vásquez, El Salvador.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 2:	5-6 ABRIL	55,9	REGULAR	86,1	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	64,8	REGULAR	92,6	EXCELENTE
GIRA 4:	3-4 MAYO	70,6	BUENA	92,2	EXCELENTE
GIRA 5:	17-21 MAYO	64,2	REGULAR	87,6	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	70,6	BUENA	92,2	EXCELENTE
GIRA 7:	15-18 JUNIO	55,9	REGULAR	86,1	BUENA
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	73,1	BUENA	94	EXCELENTE
GIRA 9:	12-16 JULIO	64,2	REGULAR	87,6	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	70,6	BUENA	92,2	EXCELENTE
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	70,6	BUENA	92,2	EXCELENTE
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	51,8	REGULAR	88,9	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	45,5	MALA	84,3	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	55,9	REGULAR	86,1	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	55,9	REGULAR	86,1	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	55,9	REGULAR	86,1	BUENA

Fuente: Elaboración propia.

La calidad del agua para la fuente Vásquez, se mantiene como REGULAR durante la época de verano. Sin embargo, durante la época de invierno, fluctúa entre una calidad REGULAR y BUENA, e inclusive presentando una calidad MALA en la semana de medición realizada entre el 7 y 10 de septiembre, evidenciando, los niveles altos de Nitrato registrado durante las mediciones en esta fuente, niveles, que se mantienen al límite o posiblemente sobrepasando el nivel permitido por las normas de salud aplicables, las cuales indican un valor no mayor de 45 mg/l para este parámetro. Otro de los indicadores que se registraron fuera de norma, al igual que en las otras fuentes de esta Microcuenca, son las Unidades Formadoras de Coliformes, que hacen que el agua en este punto, presente un riesgo potencial a la salud humana si se consume sin un previo tratamiento especializado.



4.2.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA JUPULA, EL SALVADOR.

A partir del levantamiento de información realizada por Técnicos del Programa “Bosques y Agua” en las parcelas en estudio en la Microcuenca Jupula, se obtuvo la siguiente información sobre las prácticas agrícolas más comunes y los cultivos más comunes, tomadas sobre un área total de 71.5 MZ de parcelas.

Tabla 4-9. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Jupula, El Salvador.

MICROCUENCA	PRACTICA	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
Cusmapa	Cultivos	23.35	32,66
	Bosque	19.7	27.55
	Pasto	21.75	30.42
	otros	0.2	0.28

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-10. Cultivos más comunes, Microcuenca Jupula, El Salvador.

CULTIVO	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
maíz	9.0	12.59
frijol	0.5	0.7
papa	2.4	3.36
repollo	6.75	9.44
durazno	3.63	5.08
aguacate	1.08	1.51

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Se observa que los cultivos q predominan son el maíz, El repollo y el durazno, para los cuales las tecnologías aplicadas más utilizadas son los fertilizantes y los



herbicidas según se observa en la Tabla 4-11 y sus respectivos nombres en la tabla 4-12.

Tabla 4-11. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca Jupula, El Salvador

CULTIVO	TECNOLOGÍA APLICADA			
	FERTILIZANTE %*	INSECTICIDA %*	HERBICIDA %*	FUNGICIDA %*
Maíz	9.0	2.5	7.5	2
Frijol	0.25	0.25	0	0.25
papa	2.4	2.4	1	2.4
repollo	6.75	6.75	4.5	5.75
durazno	1.63	1	1	1
aguacate	0.33	0	0	0

* Porcentaje de área en el que se usa sobre el total de parcelas.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-12. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Jupula, El Salvador

FERTILIZANTES	HERBICIDAS
Mezcla 15-15-15 (Nitrógeno, Fosfato, Potasio)	Roundup (Fosfato)
Gallinaza (Nitrato, Fosfato, modifica pH)	Hedonal (pH básico)

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

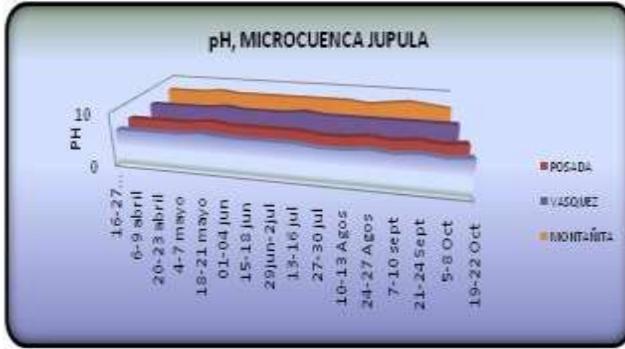
Las fertilizaciones se realizaron 3 veces en los primeros dos meses de la época de invierno.

Los datos anteriores, son de utilidad para el análisis de la variación de los parámetros medidos de marzo a octubre del año 2010, es decir, durante el desarrollo del monitoreo hídrico:



a) Nivel de pH

Gráfico 4-14. Resultados de pH, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.



Fuente: Elaboración propia

En los puntos de monitoreo de la Microcuenca Jupula, se observó que los niveles de pH se encuentran en un rango entre 6.0 a 8.0 mg/l. Dichas variaciones inician la primera y segunda semana de mayo, época en la cual se presentó un leve aumento en el caudal, propiciando el arrastre de

sales y minerales, especialmente de nitratos y fosfatos, que son utilizados en el área de recarga como fertilizantes de hortalizas y granos básicos, modificando el pH del agua y coincidiendo los puntos picos de este con los de los valores monitoreados de NO_3 y PO_4 .

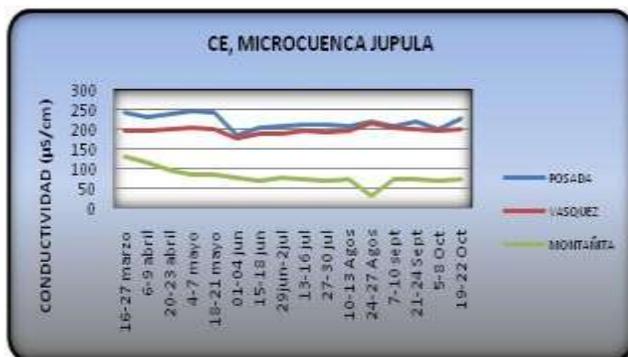
b) Conductividad Eléctrica (CE)

Conductividad eléctrica, es una medida directa de la capacidad del agua para conducir electricidad, siendo directamente proporcional a las concentraciones de sales disueltas en el agua, conforme al tipo de suelo y roca por la que ésta se conduzca.

Conforme a la entrada de la época lluviosa, en el mes de junio, la solubilidad de las sales presentes en el medio en que el agua circula ha aumentado, y la conductividad ha tenido una disminución. A partir de éste mes, los valores registrados han permanecido bajo un mismo rango constante en las fuentes Posada y Vásquez.



Gráfico 4-15. Resultados de CE, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.



Fuente: Elaboración propia.

En la Fuente Montañita, se observa una pequeña disminución en su conductividad en la segunda semana de agosto, la cual implica una disolución de sales alta de 72.18 a 29.50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respecto a la primera monitoreada en el mes, debido a una tormenta producida en la zona, en el momento del monitoreo. El valor máximo registrado ha sido de 132.48 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mientras que las fuentes Posada y Vásquez se han obtenido de 244.6 y 205 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Estos valores se han registrado en semanas donde no ha habido precedentes de lluvias en la Microcuenca, además de ello no han sobrepasado el límite permisible de 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

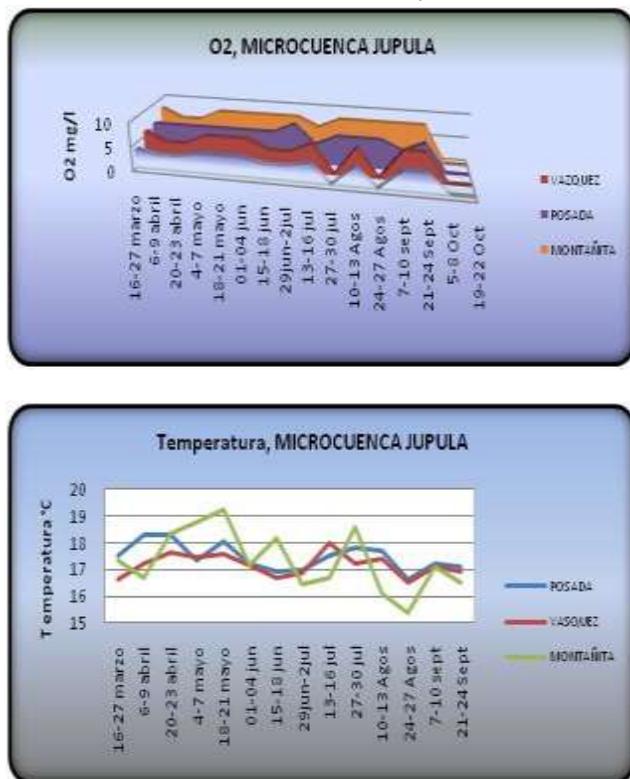
c) Nivel de Oxígeno Disuelto y Temperatura.

Los valores de Oxígeno Disuelto en la Microcuenca Jupula, tienen un rango mínimo de 1.0-3.0 mg/l perteneciente a la fuente Posada y un rango máximo de 6.0-8.0 mg/l perteneciente a la fuente La Montañita.

Los niveles de oxígeno en el agua, en las fuentes Vásquez y Posada, presentaron en algunas ocasiones rangos menores a los recomendados para el desarrollo de vida acuática (4 mg/l), llegando a un límite inferior de 1.0 mg/l en la fuente Posada.



Gráfico 4-16. Resultados de O₂ y T, Microcuenca Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.



Fuente: Elaboración propia

El arrastre de partículas de Fosfato y Nitrato, y la posterior adición de éstos a las aguas subterráneas, favorece el crecimiento de algas y microorganismos disminuyendo el nivel de oxígeno en las fuentes de estudio, por ende, los niveles de oxígeno varían en gran medida en relación a los niveles de nitratos y fosfatos, asociado a los cambios considerables de temperatura si éstos se presentaran. Esta adición de compuestos NO₃ y PO₄, se presentó

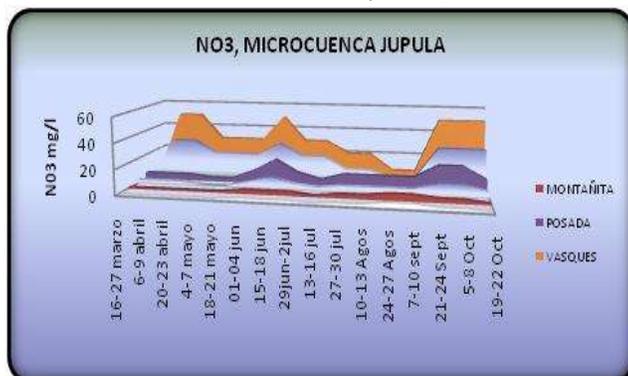
especialmente en los puntos de monitoreo Vásquez y Posada, por ser utilizada el área de recarga de estos para el cultivo de hortalizas y granos básicos. La Temperatura se mantuvo entre los 15 y 19 °C.

d) Nitrato (NO₃)

El uso de fertilizantes puede contribuir al aporte de partículas de Nitrato y Fosfato a los suelos. Estas partículas, pueden ser objeto de acumulación en las capas superiores del suelo, por lo que, si la zona es de recarga hídrica, dichas partículas podrían llegar a las capas freáticas y contribuir a la contaminación del agua.



Gráfico 4-17. Resultados de NO₃, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.



Fuente: Elaboración propia

Tal es el caso de la Microcuenca Jupula, en la que los dos fertilizantes más utilizados en ciclos de cultivo anteriores a la fecha, son la gallinaza y la formula 15-15-15. en cuanto a la gallinaza, éste es uno de los productos fertilizantes que más contribuyen al mejoramiento de las propiedades del suelo,

principalmente, si la gallinaza fue producida siguiendo ciertos criterios, como la mezcla de las excretas de las aves con algunos tipos de materia orgánica, así como también, si se procuró durante su producción, un porcentaje de humedad que permita el desarrollo adecuado de los microorganismos presentes en la mezcla, sin proveer un medio anaerobio para su crecimiento.

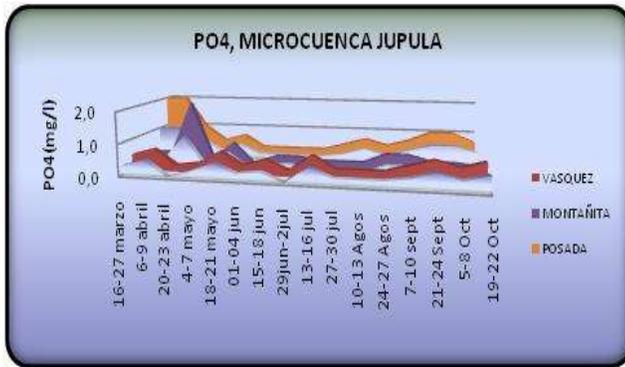
Sin embargo, el uso inadecuado o excesivo de gallinaza, puede provocar la contaminación del suelo y por ende del agua subterránea debido al arrastre de las partículas de materia orgánica, capaces de modificar el nivel de nitrato, que, sumado al nivel de nitrato aportado por la formula 15-15-15, puede propiciar alzas significativas de este parámetro, lo cual puede observarse en la gráfica de nitrato en la que se pone en evidencia, los altos niveles del mismo presentados en las fuentes en estudio, específicamente en la fuente Vásquez, donde el nitrato ha alcanzado niveles hasta de 30-50 mg/l, sobrepasando o manteniéndose al margen de lo permitido por las normas de salud (45 mg/l). Las fuentes Montañita y Posada, han presentado rangos más bajos de nitrato, que los rangos obtenidos en Vásquez, por lo que posiblemente en estas zonas, se esté haciendo



un uso más adecuado de tecnologías agrícolas. Por otro lado, en esta zona, no se cuenta con un manejo adecuado de aguas residuales, por lo que probablemente, algunas partículas provenientes de la materia orgánica y sales presentes en estas aguas, estén infiltrándose al acuífero y contribuyendo a la alteración del nivel de nitrato. Los efectos de la fertilización realizada en la época de invierno, se pueden observar con leves aumentos de nitrato en las semanas de medición e septiembre y octubre en las fuentes Posada y Vásquez.

e) Fosfato (PO₄)

Gráfico 4-18. Resultados de PO₄, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.



Fuente: Elaboración propia

Para las fuentes Vásquez, Montañita y Posada, el nivel de fosfato ha fluctuado entre 0.2-2.0 mg/l. Aunque no existe un valor establecido como límite para este parámetro en las normativas de salud, la mínima presencia de trazas de fosfato ya representan contaminación proveniente de

agroquímicos utilizados en la zona o del mal manejo de aguas negras y jabonosas.

Las tecnologías agrícolas más utilizadas en la Microcuenca Jupula son los fertilizantes (gallinaza y formula 15-15-15 principalmente¹⁵) y los herbicidas (tal como el ROUNDUP, clasificado como peligroso a largo plazo para el medio acuático), ambos depositarios de partículas de fosfato en los suelos, las cuales se

¹⁵ A partir de información provista por técnicos de Programa “Bosques y Agua”.



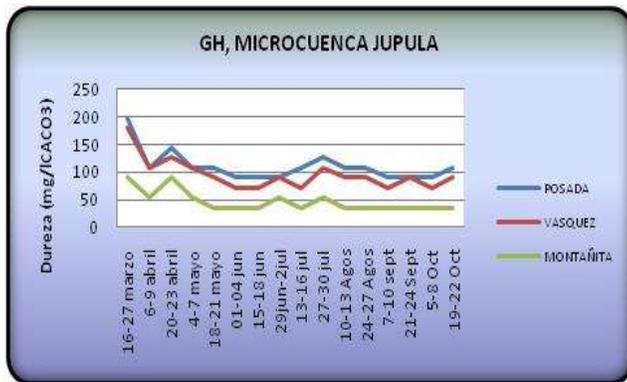
acumulan con el transcurso de los ciclos de cultivo hasta infiltrar por acción de la lluvia en la zona de recarga, representando uno de los medios principales de contaminación del agua subterránea. Asociado a lo anterior, también la infiltración de trazas de fosfato provenientes de las aguas jabonosas en la zona, producto de un mal manejo de dichos residuos, contribuye a la adición de compuesto en el acuífero.

f) Amonio (NH₄)

Durante el desarrollo del monitoreo hídrico, no se detectaron niveles de amonio en ninguna de las tres fuentes en estudio en la Microcuenca Jupula. Lo anterior, indica que no existen fuentes de aporte constante y directo de este compuesto al agua de la Microcuenca, siendo esto favorable tanto para el recurso hídrico como para la salud de los consumidores.

g) Dureza Total (GH)

Gráfico 4-19. Resultados de GH, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.



Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de iones asociados a la dureza son los que aportan el calcio y el magnesio, por lo que principalmente éste afecta a las plantas y animales de vida acuática cuando se encuentran por debajo de la norma para consumo humano que es de 500 mg/l.

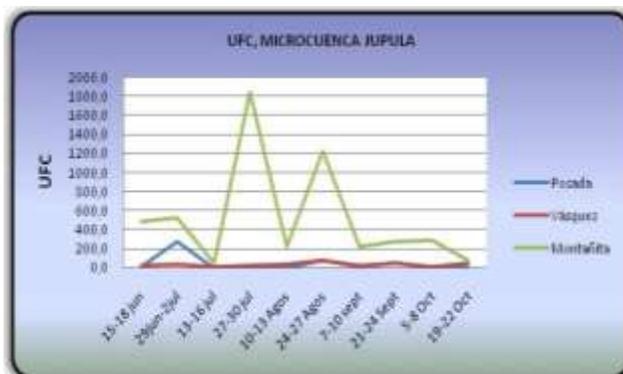


Los valores constantes de este parámetro mostrados para la Microcuenca Jupula, en las tres fuentes, simbolizan que el agua atraviesa un mismo tipo de suelo, y debido a que la concentración de carbonato de calcio (CaCO_3), constituye el 90% aproximadamente de los sólidos disueltos en el agua, y ya que el medio en el que se mueve el agua en esta Microcuenca es calizo, las variaciones presentadas han sido producidas por la disolución y lavado de los minerales que componen el suelo y las rocas, siendo éste un aporte constante de sales. A partir de lo anterior y de la observación del gráfico de GH, es notable que la dureza total se ve influenciada, en su mayoría, por el medio en el que circula, ya que los niveles se han mantenido en rangos constantes no modificados por el aporte de sales provenientes de fertilizantes, herbicidas e insecticidas.

En Fuente Posada el rango de valores monitoreado osciló entre 90-108 mg/l de CaCO_3 , mientras que en Vásquez entre 72-108 mg/l de CaCO_3 , y Montañita entre 36-54 mg/l de CaCO_3 .

h) Coliformes Totales y E. Coli. (UFC)

Gráfico 4-20. Resultados de UFC, Jupula, fuentes Montañita, Posada y Vásquez.



Fuente: Elaboración propia

En todas las giras de monitoreo las Unidades Formadoras de Coliformes (UFC) presentaron valores mayores a cero, indicando la presencia de materia fecal en el agua, proveniente de animales de sangre caliente o de aguas residuales no tratadas



correctamente en la zona, por lo que este valor se encuentra fuera de lo establecido en las normas de salud, que indica que el número de UFC debe ser igual a cero.

4.1.5 ICAUES/RT, MICROCUENCA MEZCAL, GUATEMALA.

La fuente El Puente de esta Microcuenca, no se tomará en cuenta para los análisis de calidad, debido a la obstrucción de la tubería de aforo posterior al paso de la tormenta Agatha, con lo cual, es posible que los datos de cantidad y calidad obtenidos para la misma, no sean representativos debido a la adición de partículas de naturaleza desconocida a la tubería provenientes del material de obstrucción, que minimiza el paso del agua y posiblemente altera los datos obtenidos en para los parámetros de calidad.

Los resultados obtenidos para el ICAUES/RT para la Microcuenca MEZCAL, fuente La Barranca, se muestran en las siguientes tablas:



Tabla 4-13. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Mezcal, fuente La Barranca, El Salvador.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 2:	5-6 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 5:	17-21 MAYO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 7:	15-18 JUNIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 9:	12-16 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA

Fuente: Elaboración propia.

La calidad de agua predominante tanto en época de verano como época de invierno, fue REGULAR, ya que los parámetros de calidad fosfato y unidades formadoras de coliformes sobrepasan los valores permisibles por normativas regionales que regulan la salud humana.

Por tanto, el agua de dicha fuente: Sobrepasa los límites de calidad de agua establecidos en normativas de salud, representando un riesgo a quien la consume, por lo que requiere de un proceso de potabilización profunda, sin embargo, permite el desarrollo de peces, siendo para éste fin, un agua de calidad clasificada como BUENA.



4.1.6 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA MEZCAL, GUATEMALA.

A partir del levantamiento de información realizada por Técnicos del Programa “Bosques y Agua” en las parcelas en estudio en la Microcuenca Mezcal, se obtuvo la siguiente información sobre las prácticas agrícolas más comunes y los cultivos más comunes, tomadas sobre un área total de 114 MZ de parcelas.

Tabla 4-14. Prácticas agrícolas más comunes, Mezcal, Guatemala.

MICROCUENCA	PRACTICA	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
Mezcal	Cultivos	53.5	46.93
	Bosque	25.5	22.37
	Pasto	21.0	18.42
	otros	0	0

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-15. Cultivos más comunes, Microcuenca Mezcal, Guatemala.

CULTIVO	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
maíz	26.0	22.81
frijol	5.5	4.82
café	10.0	8.77
maicillo	12.0	10.53

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Se observa que los cultivos q predominan son el maíz, el café y el maicillo, para los cuales las tecnologías aplicadas más utilizadas son los fertilizantes y los herbicidas según se observa en la Tabla 4-16 y sus respectivos nombres en la tabla 4-17.



Tabla 4-16. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca Mezcal, Guatemala.

CULTIVO	TECNOLOGÍA APLICADA			
	FERTILIZANTE %*	INSECTICIDA %*	HERBICIDA %*	FUNGICIDA %*
Maíz	21	9	19	0,5
frijol	5,5	2,5	4	2
café	7,5	0	0,75	0

* Porcentaje de área en el que se usa sobre el total de parcelas.

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-17. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Mezcal, Guatemala.

FERTILIZANTES	HERBICIDAS	INSECTICIDAS
Mezcla 16-20-0 (Nitrogeno, Fosfato, Potasio)	Gramoxone	Basudin (Fosfato)
Mezcla 15-15-15 (Nitrogeno, Fosfato, Potasio)	Glifosato (Fosfato, pH básico)	Terbufos (Fosfato)
Urea (Nitrato y Fosfato)		

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Las fertilizaciones en esta Microcuenca se realizaron en la segunda semana del mes de julio.

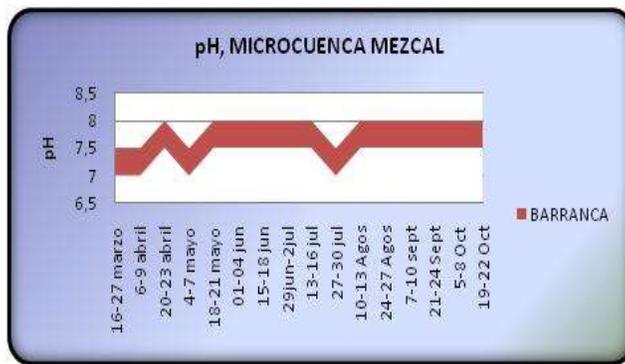
Los datos anteriores, son de utilidad para el análisis de la variación de los parámetros medidos de marzo a octubre del año 2010, es decir, durante el desarrollo del monitoreo hídrico:

a) Nivel de pH

Tal como lo muestra la gráfica, el nivel de pH se ha mantenido dentro del rango permisible por las normativas de salud, considerado entre 6.0 y 8.5, alcanzando en la fuente La Barranca, rangos máximos de hasta 7.5-8.0.



Gráfico 4-21. Resultados de pH, Mezcal, fuente La Barranca.



Fuente: Elaboración propia

Se presentó una baja en la semana del 27 al 30 de julio, semana posterior a los días en que se realizaron actividades de aplicación de agroquímicos¹⁶, por lo que es posible, que la introducción de algunas partículas al suelo y posteriormente al agua, hayan reducido ligeramente el nivel de

pH de la misma, considerando, el tiempo corto de permanencia en el acuífero de esta Microcuenca, y tomando en cuenta que esta baja se presentó en época de invierno. A pesar de lo anterior, el nivel de pH en esta fuente, se ha mantenido en un rango casi constante, dejando en evidencia, la baja influencia de partículas con pH notablemente diferente al del medio en que el agua circula, durante el período de monitoreo.

b) Conductividad Eléctrica (CE)

Los valores de CE se han mantenido prácticamente constantes en todo el período de monitoreo, diferenciándose el mínimo y el máximo valor obtenido para este parámetro, por aproximadamente 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

¹⁶ Información provista por técnicos del Programa "Bosques y Agua".



Gráfico 4-22. Resultados de CE, Mezcal, fuente La Barranca.



Fuente: Elaboración propia

Todos los valores obtenidos para este parámetro, se encuentran muy por debajo del límite permisible de 1500 µS/cm, establecidos por las normas de salud aplicables, por lo tanto, se puede decir que la concentraciones de sales

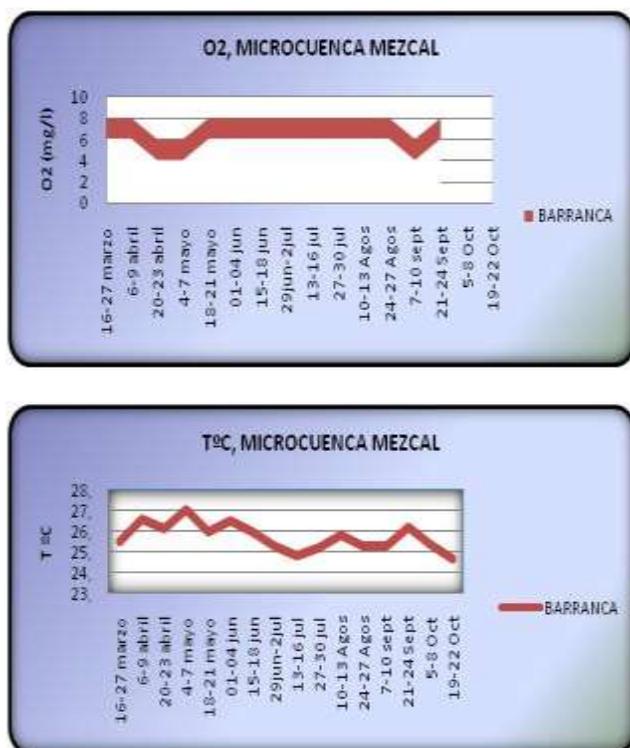
en el agua de esta fuente, se han mantenido iguales, a pesar de las actividades de fertilización o aplicación de otro tipo de agroquímicos en el área de recarga, por lo que dichos valores, se han mantenido prácticamente constantes por influencia del tipo de suelo y rocas existentes en el medio de circulación del agua y muy probablemente de acumulaciones en el suelo de cierto tipo de sales provenientes de productos agroquímicos, donde dichas acumulaciones, representan un aporte constante al agua, por lo que permiten que el rango de conductividad eléctrica se mantenga relativamente estable.

c) Nivel de Oxígeno Disuelto y Temperatura

Los rangos de oxígeno disuelto obtenidos, a pesar de no estar normados para las aguas de consumo humano, poseen un límite mínimo permisible de 4 mg/l para el desarrollo de la vida acuática, manteniéndose los valores obtenidos para la fuente La Barranca, en niveles por encima de este valor, considerándose como resultados muy buenos para este fin. Para el consumo humano, este parámetro no está normado, sin embargo, los niveles muy bajos de oxígeno disuelto puede indicar presencia de materia orgánica u organismos que consumen el oxígeno



Gráfico 4-23. Resultados de O₂ y T, Mezcal, fuente La Barranca.



Fuente: Elaboración propia

no se han dado reducciones significativas de oxígeno disuelto producto de los cambios de temperatura del agua. La temperatura máxima obtenida fue de 27°C, mientras que la mínima tuvo un valor de 24°C, siendo este, un cambio mínimo en la temperatura del agua de esta fuente en estudio.

d) Nitrato (NO₃)

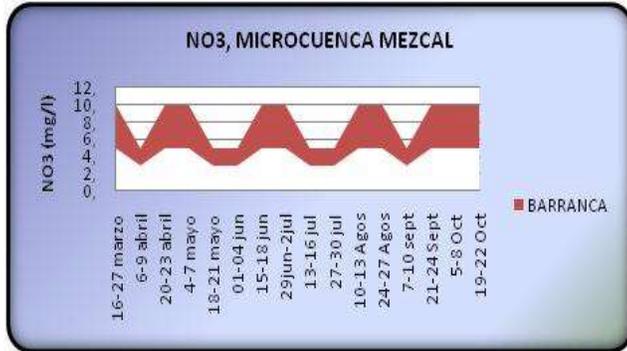
Los niveles de nitrato, se mantuvieron fluctuantes en los rangos 3.0-5.0 mg/l y 5.0-10.0 mg/l, los cuales están debajo del límite permisible de 45 mg/l, sin embargo, éstos rangos ponen en evidencia algún tipo de contaminación

del agua, por lo que los valores obtenidos, dan una idea de que a pesar del uso de fertilizantes, herbicidas, y del vertimiento de las aguas negras en pozos profundos, los niveles de oxígeno se mantienen sobre el mínimo para garantizar el desarrollo de vida acuática.

Al relacionar los niveles de oxígeno disuelto y los valores de temperatura obtenidos para esta fuente, es notable que dichos valores se han mantenido también dentro de un rango constante, por lo que



Gráfico 4-24. Resultados de NO₃, Mezcal, Fuente la Barranca.

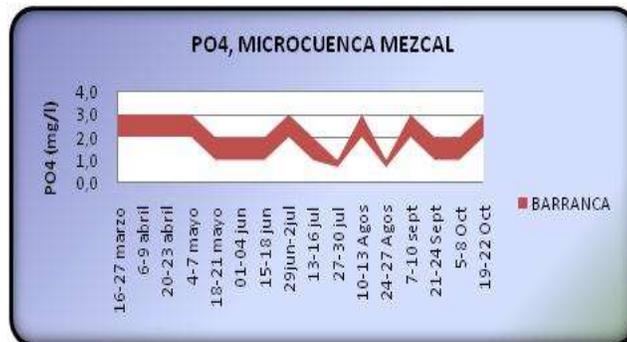


Fuente: Elaboración propia

Sumado a esto, existe la posibilidad de que las descargas constantes de aguas residuales al suelo, producto de un mal manejo de las mismas, esté ejerciendo cierta influencia sobre este parámetro, así como también sobre los valores de fosfato, pH y temperatura, sin embargo, de ser éste el caso, sería una influencia mínima, ya que según se ha observado en los análisis anteriores, los valores para los parámetros en mención se han presentado con fluctuaciones relativamente bajas.

e) Fosfato (PO₄)

Gráfico 4-25. Resultados de PO₄, Mezcal, fuente La Barranca.



Fuente: Elaboración propia

proveniente de las acumulaciones de nitratos en los suelos producto de ciclos de cultivo anteriores por el uso de Ureas y mezclas como la 15-15-15, acumulaciones que aportan partículas de este compuesto de manera constante, que permite que este valor se mantenga dentro de un rango bien

No existe un límite establecido en las normas de salud aplicables para el nivel de fosfato en el agua de consumo humano, sin embargo, empíricamente, el valor máximo que se recomienda es 0.1 mg/l, ya que es un valor



máximo capaz de generarse por contaminantes naturales como la acumulación de materia orgánica a partir de la vegetación aledaña. Por lo que, al sobrepasar este límite, queda en evidencia la posible contaminación de las aguas, por medio de trazas de fosfato provenientes de fertilizantes, herbicidas, insecticidas, u otros que lo contengan como parte de su composición química, o que se derive de los compuestos que lo conforman. Por lo tanto, los valores que ésta fuente presenta como mínimo (0.7-1.0 mg/l), dejan entrevisto el efecto que el uso de fertilizantes como el 15-15-15 y de los herbicidas e insecticidas como el Glifosato y Terbufos respectivamente, tienen sobre el agua, contribuyendo a los niveles elevados de fosfato registrados durante el período de monitoreo, sumado al mal manejo de aguas negras y aguas jabonosas que bien pueden estar aportando trazas de este compuesto a la fuente por medio de la infiltración de dichas partículas y el arrastre de las mismas por las precipitaciones.

f) Amonio (NH₄)

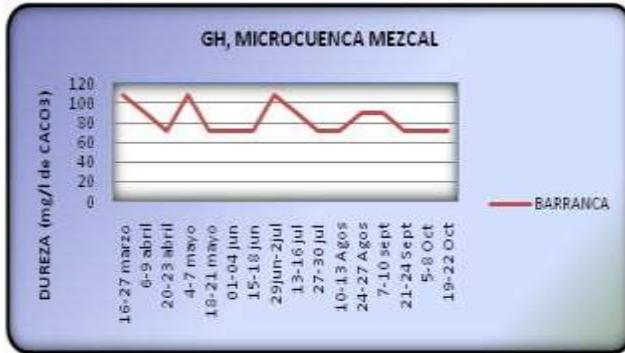
Durante el monitoreo hídrico realizado en la fuente La Barranca, no se detectaron valores de amonio mediante el análisis colorimétrico, lo cual indica, que no hay aportes directos y constantes de este compuesto a esta fuente en estudio, resultado que es bastante favorable ya que el amonio representa una fuente potencial de alto riesgo para la salud humana si se consume del agua que lo contenga.

g) Dureza Total (GH)

La variación de la dureza total en la fuente la Barranca, denota el aporte variable de sales, principalmente carbonato de calcio, proveniente del suelo y rocas del medio en que el agua circula. Al comparar el gráfico de dureza total y el de conductividad eléctrica, se observa claramente que el tipo de partículas que modifican la dureza del agua, no son las mismas que ejercen una influencia



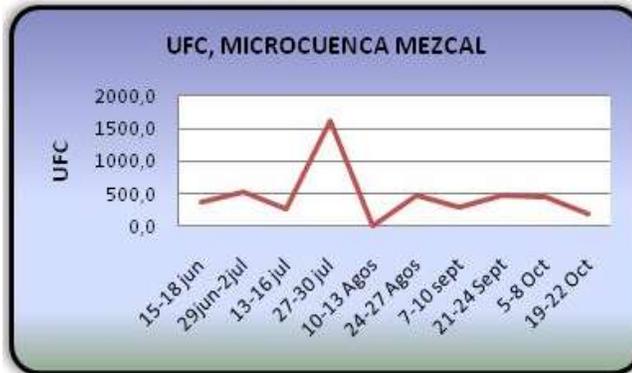
Gráfico 4-26. Resultados de GH, Mezcal, fuente La Barranca.



Fuente: Elaboración propia

h) Coliformes Totales y E. Coli. (UFC)

Gráfico 4-27. Resultados de UFC, Mezcal, fuente La Barranca.



Fuente: Elaboración propia

constante sobre la conductividad eléctrica, con lo cual se corrobora, que las sales que permiten que la dureza total fluctúe en el tiempo, son en su mayoría partículas de suelo y rocas.

En todas las giras de monitoreo las Unidades Formadoras de Coliformes (UFC) presentaron valores mayores a cero, indicando la presencia de materia fecal en el agua, proveniente de animales de sangre caliente o de aguas residuales no tratadas correctamente en la zona, por

lo que este valor se encuentra fuera de lo establecido en las normas de salud, que indica que el numero de UFC debe ser igual a cero.



4.2.7 ICAUES/RT, MICROCUENCA CARCAJ, GUATEMALA.

Los resultados obtenidos para el ICAUES/RT para la Microcuenca Carcaj, fuentes El Puente y Viertentón Quequesque, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4-18. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Carcaj, fuente El Puente, Guatemala.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 2:	5-6 ABRIL	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 5:	17-21 MAYO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 7:	15-18 JUNIO	78,8	BUENA	97	EXCELENTE
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 9:	12-16 JULIO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 10:	27-30 JULIO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	*	*	*	*
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	*	*	*	*
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA

*ICA no calculado debido a derrumbes en la zona, lo que imposibilitó la medición respectiva de los parámetros de calidad en la fuente correspondientes a esta fecha

Fuente: Elaboración propia

Para la fuente El Puente, la calidad del agua durante la época de verano, se mantiene como REGULAR, mientras que a partir de la entrada de la época de invierno, la calidad del agua se mantiene entre REGULAR y BUENA, indicando, una leve mejora en los niveles obtenidos en los parámetros de calidad bajo monitoreo, asociado, a las variaciones de caudal en la fuente, y presentando la posibilidad de tratar el agua con métodos caseros que minimicen el riesgo a la salud humana por su consumo. Sin embargo, a pesar de lo anterior expuesto, no debe tomarse a la ligera el tratamiento del agua de esta fuente, debido a que



presenta niveles altos en ciertos indicadores de calidad, principalmente, los presentados por los Coliformes Totales.

Tabla 4-19. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Carcaj, fuente Viertentón Quequesque, Guatemala.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 2:	5-6 ABRIL	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 5:	17-21 MAYO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 6:	1-4 JUNIO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 7:	15-18 JUNIO	78,8	BUENA	97	EXCELENTE
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 9:	12-16 JULIO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 10:	27-30 JULIO	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	62,7	REGULAR	83,2	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	*	*	*	*
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	*	*	*	*
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE

*ICA no calculado debido a derrumbes en la zona, lo que imposibilitó la medición respectiva de los parámetros de calidad en la fuente correspondientes a esta fecha

Fuente: Elaboración propia

La clasificación del agua de esta fuente se ha clasificado como REGULAR, con tendencia a BUENA con la entrada de la época lluviosa, con lo cual se observa que con el aumento de los caudales, la disolución de compuestos contaminantes naturales y provocados por el hombre, tiende a aumentar, permitiendo una leve mejora en el agua para consumo humano.



4.2.8 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA CARCAJ, GUATEMALA.

A partir del levantamiento de información realizada por Técnicos del Programa “Bosques y Agua” en las parcelas en estudio en la Microcuenca Carcaj, se obtuvo la siguiente información sobre las prácticas agrícolas más comunes y los cultivos más comunes, tomadas sobre un área total de 14.98 MZ de parcelas.

Tabla 4-20. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Carcaj, Guatemala.

MICROCUENCA	PRACTICA	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
Carcaj	Cultivos	14,98	100
	Bosque	0	0
	Pasto	0	0
	otros	0	0

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-21. Cultivos más comunes, Microcuenca Carcaj, Guatemala.

CULTIVO	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
maíz	10.19	68.02
frijol	9.04	60.35
café	2.63	17.56

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Se observa que los cultivos q predominan son el maíz y el frijol, para los cuales las tecnologías aplicadas más utilizadas son los fertilizantes y los herbicidas según se observa en la Tabla 4-22 y sus respectivos nombres en la tabla 4-23.



Tabla 4-22. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca Carcaj, Guatemala.

CULTIVO	TECNOLOGÍA APLICADA			
	FERTILIZANTE %*	INSECTICIDA %*	HERBICIDA %*	FUNGICIDA %*
maíz	67,29	5,14	100,87	32,64
frijol	50,87	2,40	25,43	11,48
café	7,48	0,00	3,14	0,00

* Porcentaje de área en el que se usa sobre el total de parcelas.

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-23. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Carcaj, Guatemala.

FERTILIZANTES	HERBICIDAS
Mezcla 16-20-0 (Nitrógeno, Fosfato, Potasio)	Látigo (Fosfato)
Mezcla 15-15-15 (Nitrógeno, Fosfato, Potasio)	Sután (biodegradable)
Urea (nitrato y fosfato)	

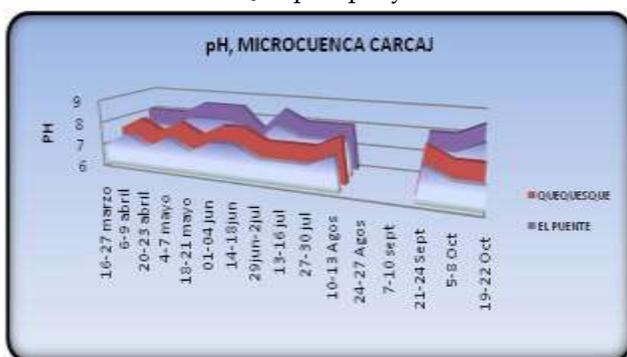
Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Los datos anteriores, son de utilidad para el análisis de la variación de los parámetros medidos de marzo a octubre del año 2010, es decir, durante el desarrollo del monitoreo hídrico. Los gráficos para los parámetros de calidad presentan discontinuidad a partir de la semana del 24 al 27 de agosto debido a deslaves en el lugar que impidieron el acceso a las fuentes:



a) Nivel de pH

Gráfico 4-28. Resultados de pH, Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Puente.



Fuente: Elaboración propia

Tal como lo muestra la grafica, los rangos para el pH en la fuente El Puente, se han mantenido entre los valores de 7.0 a 8.5 mg/l, encontrándose durante algunas semanas de medición cerca al límite superior permisible en las normas de salud (8.5 mg/l) probablemente por la influencia de la intemperie en el lugar debido a que la ubicación del punto de medición, por razones de seguridad, no se encuentra exactamente en el punto de nacimiento del agua, sino aproximadamente 90 m aguas abajo del mismo, contrario a la fuente Viertentón Quequesque, ubicada en el punto de salida del agua de la obra de captación en el lugar, para cuyo caso, los valores de pH se han mantenido entre los 7.0 y 8.0 mg/l.

b) Conductividad Eléctrica (CE)

Para las fuentes El Puente y Viertentón Quequesque, los valores obtenidos durante el monitoreo para la conductividad eléctrica son similares, siendo en la mayoría de mediciones, un poco mayores los valores presentados en la fuente Viertentón, lo cual se debe posiblemente a la ubicación de los puntos de monitoreo como se mencionó en el análisis para el pH, por lo que la disolución de sales es mayor para el punto denominado El Puente, debido al recorrido del



Gráfico 4-29. Resultados de CE, Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Puento.



Fuente: Elaboración propia

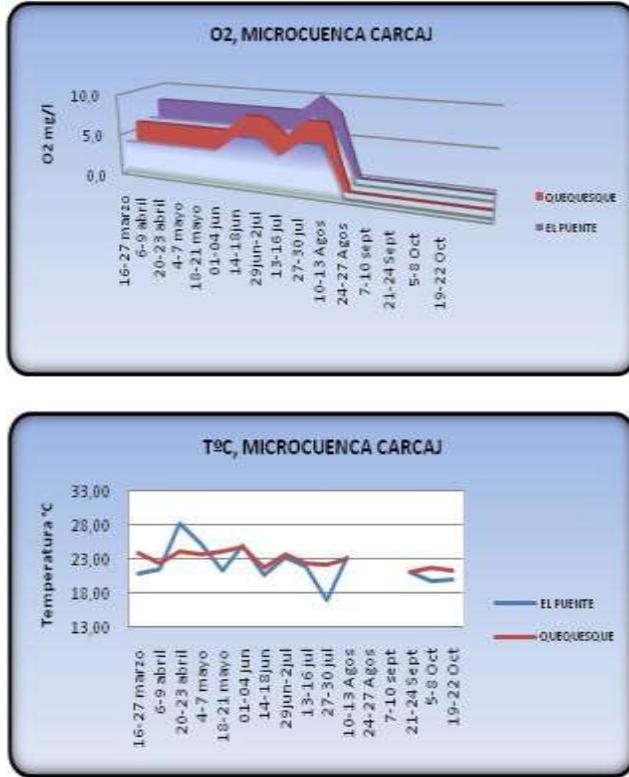
la parte superior a la salida del agua de la fuente. Los valores de CE para estas fuentes, se encuentran entre los 175 y 376 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

c) Nivel de Oxígeno Disuelto y Temperatura

El nivel de oxígeno disuelto para la fuente El Puento, se mantuvo entre los valores de 6.0 a 10.0 mg /l, mientras que para la fuente Viertentón, se mantuvo entre los 4.0 y 8.0 mg/l, siendo mayores los resultados obtenidos para El Puento debido al proceso mayor de aireación del agua que llega a este punto. Los resultados de oxígeno disuelto, ponen en evidencia que no ha habido niveles de contaminación con materia orgánica, que pudiesen disminuir considerablemente los rangos obtenidos para éste indicador de calidad.



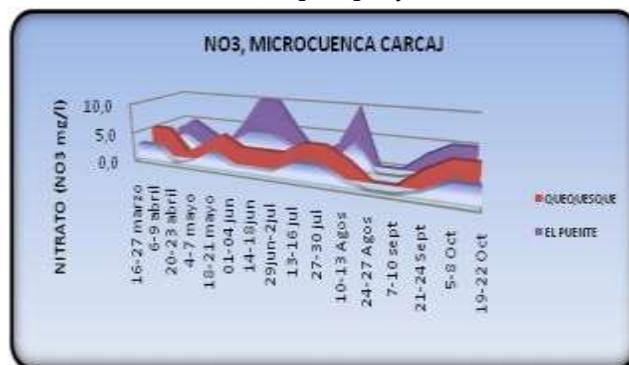
Gráfico 4-30. Resultados de O₂ y T, Carcaj, fuentes viertentón Quequesque y El Punte.



Fuente: Elaboración propia

d) Nitrato (NO₃)

Gráfico 4-31. Resultados de NO₃, Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Punte.



Fuente: Elaboración propia

Los niveles de oxígeno Disuelto, no se han visto afectados en ningún momento por los cambios de temperatura, parámetro cuyos valores han fluctuado entre 16 y 28 °C durante el desarrollo del monitoreo hídrico, manteniéndose dentro del límite inferior y superior recomendado por las normas de salud aplicables (15 y 34°C).

Para la fuente El Punte, los valores de nitrato han fluctuado entre 1.0 y 10.0 mg/l, viéndose influenciado en algunos casos, por el arrastre e incorporación a través de la escorrentía superficial, de restos de fertilizantes como las ureas y

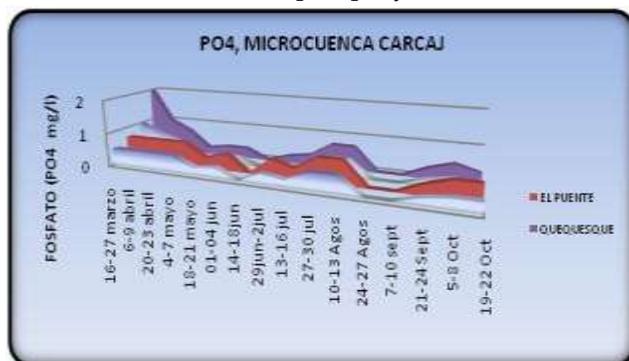


las mezclas 15-15-15 y 16-20-0, utilizadas dentro de los ciclos de cultivo en la zona. Los valores máximos de nitrato registrados, se presentaron en las dos semanas posteriores a la entrada de la época lluviosa, donde éste rango, alcanzó los valores de 5.0 a 10.0 mg/l.

Por otra parte, los valores para la fuente Viertentón, se mantuvieron entre 1.0 y 5.0 mg/l, siendo éstos afectados directamente por trazas de fertilizante utilizados en las parcelas que se encuentran en la parte superior a la salida del agua en esta fuente. Sin embargo, para ambas fuentes, este parámetro se encuentra dentro del límite permisible en las normas de salud, establecida hasta de 45 mg/l.

e) Fosfato (PO₄)

Gráfico 4-32. Resultados de PO₄, Carcaj, fuentes Viertentón Quequesque y El Punte.



Fuente: Elaboración propia

Los rangos de fosfato para las fuentes El Punte y Viertentón, han fluctuado entre los 0.2 y 0.7 mg/l y los 0.2 y 2.0 mg/l respectivamente, manteniéndose éstos valores con cierta influencia por parte de los fertilizantes (mezclas y ureas) y herbicidas fosfatados (Látigo) utilizados en los ciclos

de cultivos que circulan a las fuentes. Por otra parte, el mal manejo de las aguas negras y residuales domésticas también aportan trazas de fosfato al agua de ambas fuentes.

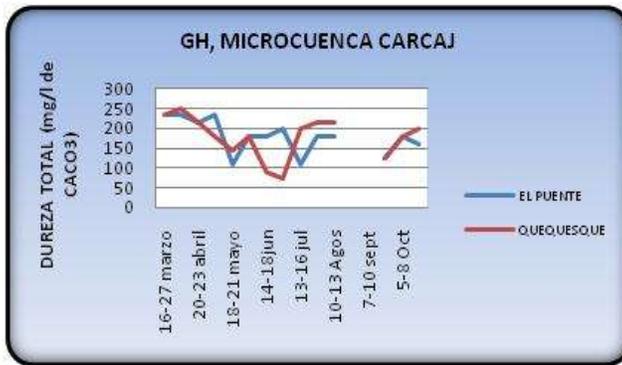


f) Amonio (NH₄)

Durante el monitoreo hídrico realizado en las dos fuentes de la Microcuenca Carcaj, no se detectó valores de amonio mediante el análisis colorimétrico, lo cual indica, que no hay aportes directos y constantes de este compuesto en las fuentes de agua bajo estudio.

g) Dureza Total (GH)

Gráfico 4-33. Resultados de GH, Carcaj, fuentes Viententón Quequesque y El Punte.



Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos de GH, presentan una disminución considerable marcada con la entrada de la época lluviosa. Los valores de GH detectados en estas fuentes provienen principalmente de partículas del suelo y rocas, y una parte, de sales aportadas por productos químicos utilizados

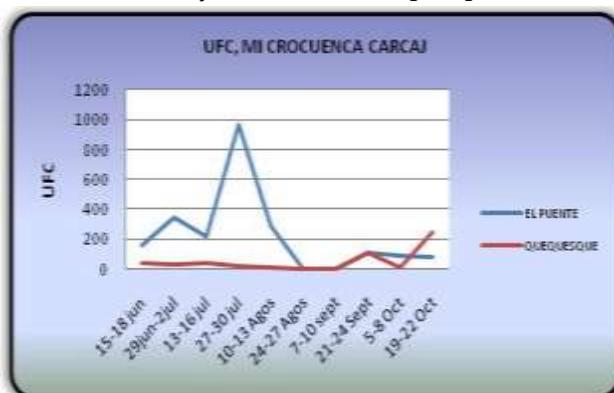
en los ciclos de cultivo en las parcelas que se encuentran en el área de recarga de las fuentes.

A pesar de la variación de los caudales durante la época lluviosa, los valores de dureza total no varían en forma drástica, siendo el cambio más notable en este parámetro, los marcados con la transición de la época seca a época lluviosa.



h) Coliformes Totales y E. Coli.

Gráfico 4-34. Resultados de UFC, Carcaj, fuentes El Puente y Viententón Quequesque.



Fuente: Elaboración propia

En todas las giras de monitoreo las Unidades Formadoras de Coliformes (UFC) presentaron valores mayores a cero, indicando la presencia de materia fecal en el agua, proveniente de animales de sangre caliente o de aguas residuales no tratadas correctamente en la zona, por lo

que este valor se encuentra fuera de lo establecido en las normas de salud, que indica que el numero de UFC debe ser igual a cero. Este parámetro es uno de los mayores indicadores de contaminación en esta fuente, haciendo que el agua sea potencialmente un riesgo a la salud de los consumidores, y estableciendo la necesidad de implementar medios de tratamiento profundos que permitan minimizar el efecto negativo de este parámetro sobre el agua de consumo diario.

4.2.9 ICAUES/RT, MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA, HONDURAS.

Los resultados obtenidos para el ICAUES/RT para la Microcuenca San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla, se muestran en las siguientes tablas:



Tabla 4-24. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca San Juan Buenavista, fuente El Supte, Honduras.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	78,8	BUENA	97	EXCELENTE
GIRA 2:	5-6 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 5:	17-21 MAYO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 7:	15-18 JUNIO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 9:	12-16 JULIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	66,5	REGULAR	84,6	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	69	REGULAR	86,4	BUENA

Fuente: Elaboración propia

Para las semanas de medición, el ICAUES/RT, presenta variaciones entre BUENA y REGULAR, indicando una leve mejora en la calidad de esta fuente al aumentar los caudales, debido a la solubilidad de las trazas de contaminante por actividades agrícolas, así como de las partículas propias del medio en que el agua circula. A pesar de las fluctuaciones, el agua tiene una tendencia mayor a presentarse como REGULAR, indicando que los niveles detectados en los parámetros de calidad monitoreados representan un riesgo a quien la consume y requiere de un proceso de potabilización profunda.



Tabla 4-25. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca San Juan Buenavista, fuente Arivas, Honduras.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	75	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 2:	5-6 ABRIL	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 5:	17-21 MAYO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 7:	15-18 JUNIO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	78,8	BUENA	97	EXCELENTE
GIRA 9:	12-16 JULIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	68,8	REGULAR	84,6	BUENA

Fuente: Elaboración propia

La tendencia del ICAUES/RT para la fuente Arivas, es de presentarse como REGULAR, a pesar de que durante tres semanas de medición, se obtuvo una clasificación de agua BUENA. Por lo que, indica, que los niveles detectados en los parámetros de calidad monitoreados, representan un riesgo a quien la consume y requiere de un proceso de potabilización profunda. En comparación al ICAUES/RT de la fuente El Supte, en los resultados obtenidos para la fuente Arivas, se observa que ésta fuente se mantiene como REGULAR a pesar del aumento o disminución de los caudales registrados durante el período de monitoreo hídrico.



Tabla 4-26. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca San Juan Buenavista, fuente La Lagunilla, Honduras.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 2:	5-6 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	72,7	BUENA	92,6	EXCELENTE
GIRA 5:	17-21 MAYO	66,5	REGULAR	84,6	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 7:	15-18 JUNIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 9:	12-16 JULIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	69	REGULAR	86,4	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	75,2	BUENA	94,4	EXCELENTE
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	58,1	REGULAR	61,7	REGULAR
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	72,7	BUENA	89	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA

Fuente: Elaboración propia

El ICAUES/RT obtenido para la fuente La Lagunilla, presenta resultados similares a los de la fuente El Supte, presentando variaciones entre BUENA y REGULAR e indicando una leve mejora en la calidad de esta fuente al aumentar los caudales, debido a la solubilidad de las trazas de contaminante por actividades agrícolas, así como de las partículas propias del medio en que el agua circula. A pesar de las fluctuaciones, el agua tiene una tendencia mayor a presentarse como REGULAR, en forma similar a las fuentes El Supte y Arivas, indicando que los niveles detectados en los parámetros de calidad monitoreados representan un riesgo a quien la consume y requiere de un proceso de potabilización profunda.



4.2.10 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA, HONDURAS.

A partir del levantamiento de información realizada por Técnicos del Programa “Bosques y Agua” en las parcelas en estudio en la Microcuenca San Juan Buenavista, se obtuvo la siguiente información sobre las prácticas agrícolas más comunes y los cultivos más comunes, tomadas sobre un área total de 60.5 MZ de parcelas.

Tabla 4-27. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.

MICROCUENCA	PRACTICA	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
San Juan Buenavista	Cultivos	11.6	19.17
	Bosque	3.5	5.79
	Pasto	43.25	71.49
	otros	0.25	0.41

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-28. Cultivos más comunes, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.

CULTIVO	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
maíz	1.0	1.65
papa	5.5	9.09
repollo	5.0	8.26
aguacate	0.1	0.17

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Se observa que los cultivos q predominan son la papa, el repollo y el maíz, para los cuales las tecnologías aplicadas más utilizadas son los fertilizantes y los



insecticidas según se observa en la Tabla 4-29 y sus respectivos nombres en la tabla 4-30.

Tabla 4-29. Tecnología Aplicada a cultivos más comunes, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.

CULTIVO	TECNOLOGÍA APLICADA			
	FERTILIZANTE %*	INSECTICIDA %*	HERBICIDA %*	FUNGICIDA %*
Maíz	1.65	0.83	0.83	0
papa	9.09	8.26	4.13	6.61
repollo	26	7.44	0.83	7.44

* Porcentaje de área en el que se usa sobre el total de parcelas.

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-30. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca San Juan Buenavista, Honduras.

FERTILIZANTES	HERBICIDAS	INSECTICIDAS
Mezcla 12-24-12 (Nitrógeno, Fosfato, Potasio)	Roundup (Fosfato)	Vexter (Fosfato)
Gallinaza (Nitrato, Fosfato, modifica pH)	Hedonal (pH básico)	Thimet (Fosfato)

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

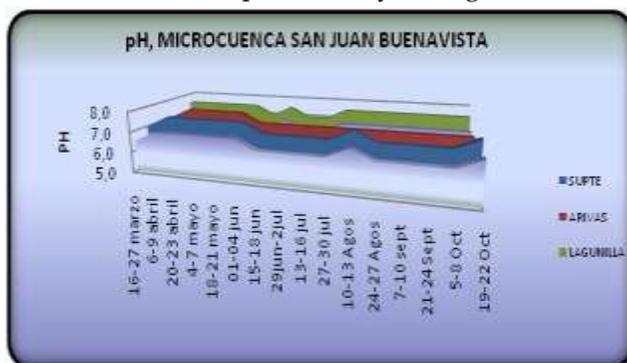
Las fertilizaciones en la Microcuenca se realizaron en la primera y última semana del mes de septiembre.

Los datos anteriores, son de utilidad para el análisis de la variación de los parámetros medidos de marzo a octubre del año 2010, es decir, durante el desarrollo del monitoreo hídrico:



a) Nivel de pH

Gráfico 4-35. Resultados de pH, San Juan Buenavista, Fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.



Fuente: Elaboración propia

Tal como lo muestra la grafica, el nivel de pH se ha mantenido dentro del rango permisible por las normativas de salud, considerado entre 6.0 y 8.5.

Los rangos de pH en las fuentes de agua bajo monitoreo, El Supte, Arivas y Lagunilla, han fluctuado entre 6.5 y 7.5,

durante el desarrollo de las mediciones comprendidas entre marzo y octubre del año 2010. Lo anterior, pone en evidencia, que a pesar del aumento del caudal durante la época lluviosa, no ha habido un arrastre de partículas, suficiente como para modificar significativamente el pH del agua en estos puntos, por lo que, tanto las características del suelo como la presencia de restos de agroquímicos utilizados en la zona, no han provocado grandes cambios en este parámetro a pesar del pH alcalino o ácido de algunos de los productos utilizados, como es el caso del HEDONAL, utilizado como herbicida en la zona, el cual posee un rango de pH entre 8.0 y 9.5.

b) Conductividad Eléctrica (CE)

Los valores de CE se han mantenido casi constantes en todo el período de monitoreo, con una leve tendencia a la baja al inicio de la época lluviosa, a causa de la disolución de las sales y minerales en un caudal mayor. Se presentaron también pequeños picos de CE durante el período de medición, que coinciden



Gráfico 4-36. Resultados de CE, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.



Fuente: Elaboración propia

con aumentos en los niveles de nitrato y fosfato en las fuentes monitoreadas, posiblemente causado por la aplicación de fertilizantes que aportan estos compuestos al suelo, los cuales, al diluirse con el agua precipitada, se infiltran hasta el acuífero

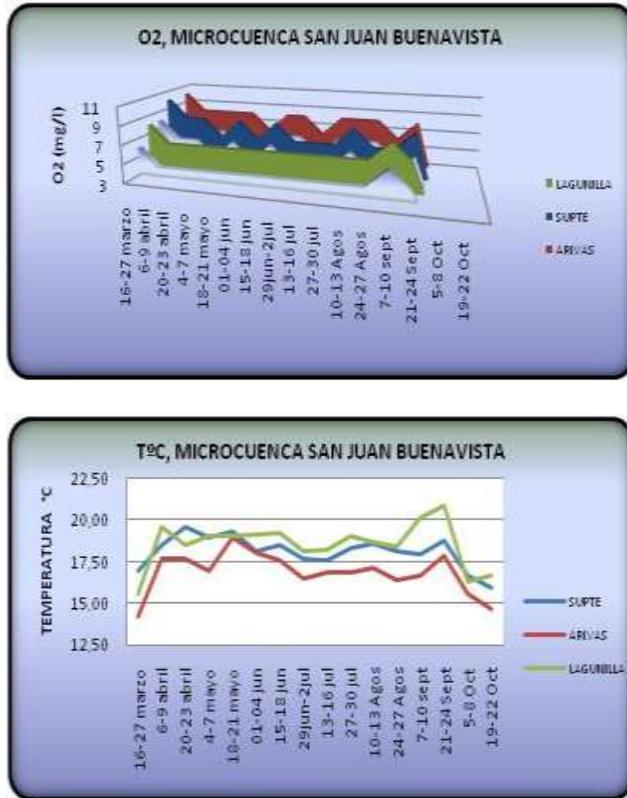
subterráneo en la Microcuenca. El valor máximo de CE registrado durante las giras de monitoreo en la Microcuenca San Juan Buenavista, es de 141.5 µS/cm y un valor mínimo de 16.9 µS/cm, estos valores están muy por debajo de los 1500 µS/cm establecidos como valor permisible para consumo humano.

c) Nivel de Oxígeno Disuelto y Temperatura

La temperatura del agua en las fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla, ha tenido variaciones entre los 16-18 °C, 14-19 °C y 15-21 °C respectivamente, presentándose las temperaturas más bajas en época seca y las más altas en época lluviosa, debido al poco tiempo de permanencia bajo el suelo, del agua infiltrada durante las precipitaciones que se han presentado, lo cual, no permite un descenso significativo en la temperatura.



Gráfico 4-37. Resultados de O₂ y T, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla.



Fuente: Elaboración propia

bajo que 4 mg/l, considerado éste, como el nivel mínimo que debe tener el agua para ser propicia para permitir la existencia de vida acuática. Además, las temperaturas que se han presentado, no son suficientemente altas como para disminuir el nivel de oxígeno más allá del mínimo mencionado anteriormente.

d) Nitrato (NO₃)

Conforme a los resultados obtenidos en las tres fuentes monitoreadas en la Microcuenca San Juan Buenavista, en ninguna de ellas se observa valores de

En el caso del oxígeno disuelto, los rangos se han mantenido entre los 4.0 y 8.0 mg de oxígeno por cada litro de agua para las tres fuentes, con lo cual se observa, que a pesar del uso del uso constante de gallinaza como uno de los principales fertilizantes en la zona, y su alto contenido de materia orgánica y aporte de nitrato y fosfato a los suelos, la infiltración de estas partículas no ha provocado alteraciones suficientes como para provocar que el oxígeno disuelto presente un nivel más



Gráfico 4-38. Resultados de NO₃, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla



Fuente: Elaboración propia

este parámetro, en la segunda semana monitoreada de septiembre, mes en el cual, se fertilizó mediante el uso general en la Microcuenca de la fórmula 12-24-12, en dicha fecha, presentaron valores de 1.0-3.0 mg/l. El valor constante monitoreado en la fuente Arivas se establece entre 0-1.0 mg/l, observándose nuevamente un incremento del parámetro a 1.0-3.0 mg/l, en la semana de 24-27 de agosto, debido al uso del fertilizante mencionado anteriormente. Finalmente en la fuente La Lagunilla, el primer incremento detectado se establece en la semana del 13-16 julio, debido a que en la parte superior se presentan cultivos permanentes de hortalizas, llevando a cabo actividades de fertilización en dicho mes. Un segundo incremento importante es en el mes de septiembre, detectándose de 3-5 mg/l, sufriendo un aumentando del valor monitoreado en la mayoría de giras (0-1 mg/l). La introducción del elemento nitrato y aumentos de éste en aguas subterráneas en los meses de fertilización, queda en evidencia con los valores obtenidos durante el período de monitoreo, debido al uso de la fórmula 12-24-12 en los cultivos dentro del área de recarga evaluada, aportando cantidades significativas de Nitrógeno contenido en dicha mezcla, que, con el

nitratos elevados de tal forma, que sobrepasen la normativa de agua para consumo humano, establecida hasta de 45 mg/l.

En la fuente El Supte, el rango predominante de valores de nitrato se mantuvo entre 0-1.0 mg/l, en la gráfica se muestra un pequeño incremento sobre



paso de los días, puede ser detectado como nitrato en las fuentes de agua, sumado a esto, los valores de nitrato se ven afectados por la oxidación bacteriana de la materia orgánica, eliminadas principales por los animales de corrales que se presentan en la zona y por el uso de gallinaza también como fertilizante.

e) Fosfato (PO₄)

Gráfico 4-39. Resultados de PO₄, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla



Fuente: Elaboración propia

Los niveles de fosfato en la Microcuenca han oscilado entre los valores de 0-0.7 mg/l, incidiendo principalmente en su variación el uso de fertilizantes capaces de aportar este compuesto al suelo, tal como la fórmula 12-24-12, que contiene el 24% de fosfato, cantidad que, unida a la

infiltración en el suelo de aguas jabonosas (productos polifosfatados), elevan los valores resultantes de este parámetro. Las fertilizaciones correspondientes han sido establecidas en septiembre y junio, por lo cual los incrementos del parámetro, presentados en la gráfica coinciden con dichos meses. En los tres puntos monitoreados, fuentes El Supte, Arivas y Lagunilla, el rango de valores predominante durante el monitoreo hídrico fue de 0-0.2 mg/l, lo cual implica que debido a que las tierras son eminentemente agrícolas y el uso del mismo tipo de fertilizante con el paso de los años ha sido el mismo, los valores de fosfatos se han mantenido.

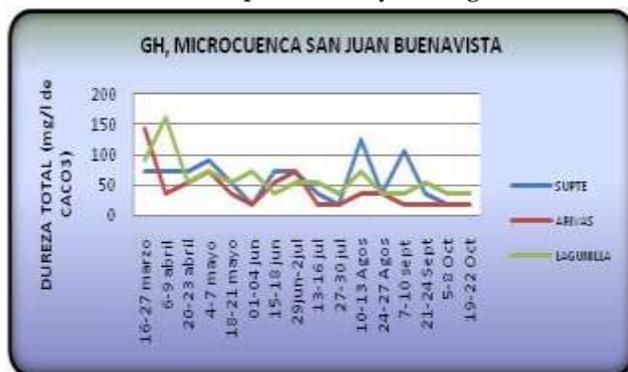


f) Amonio (NH₄)

Durante el monitoreo hídrico realizado en las tres fuentes en Microcuenca San Juan Buenavista, no se detectó valores de amonio mediante el análisis colorimétrico, lo cual indica, que no hay aportes directos y constantes de este compuesto en las fuentes de agua bajo estudio.

g) Dureza Total (GH)

Gráfico 4-40. Resultados de GH, San Juan Buenavista, fuentes El Supte, Arivas y La Lagunilla



Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos de GH, presentan variaciones marcadas con la entrada de la época lluviosa, quedando en evidencia una baja considerable en la semana del 1 al 4 de junio, primer semana de monitoreo luego de la entrada de dicha época. Los valores de GH detectados en estas fuentes

proviene principalmente de partículas del suelo y rocas, y una pequeña parte, de sales aportadas por productos químicos utilizados en los ciclos de cultivo, observándose esto al comparar los valores pico de GH y de NO₃, ya que éstos no coinciden en dichos puntos, por lo que las sales aportadas, que generan cambios bruscos en la dureza del agua, son provenientes del medio en el que ésta circula.



h) Coliformes Totales y E. Coli.

Gráfico 4-41. Resultados de UFC, San Juan Buenavista, fuentes El Supte y Arivas y La Lagunilla.



Fuente: Elaboración propia

En todas las giras de monitoreo las Unidades Formadoras de Coliformes (UFC) presentaron valores mayores a cero, indicando la presencia de materia fecal en el agua, proveniente de animales de sangre caliente o de aguas residuales no tratadas correctamente en la zona, por

lo que este valor se encuentra fuera de lo establecido en las normas de salud, que indica que el numero de UFC debe ser igual a cero y aumentando en las semanas posteriores a la fertilización realizada en septiembre.

4.2.11 ICAUES/RT, MICROCUENCA MARROQUÍN, HONDURAS.

Los resultados obtenidos para el ICAUES/RT para la Microcuenca Marroquín, fuente El Escondido, se muestran en la siguiente tabla:



Tabla 4-31. Resultados ICAUES/RT, Microcuenca Marroquín, fuente El Escondido, Honduras.

No. GIRA	FECHAS	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	VALOR DE INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	CALIDAD DE AGUA PARA ALBERGAR VIDA ACUÁTICA: PECES
GIRA 1:	16-27 MARZO	66,5	REGULAR	84,6	BUENA
GIRA 2:	5-6 ABRIL	66,3	REGULAR	87,9	BUENA
GIRA 3:	19-23 ABRIL	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 4:	3-4 MAYO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 5:	17-21 MAYO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 6:	1-4 JUNIO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 7:	15-18 JUNIO	*	*	*	*
GIRA 8:	29 JUNIO - 2 JULIO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 9:	12-16 JULIO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 10:	27-30 JULIO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 11:	10-13 AGOSTO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 12:	24-27 AGOSTO	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 13:	7-10 SEPTIEMBRE	66,5	REGULAR	84,6	BUENA
GIRA 14:	21-24 SEPTIEMBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 15:	5-8 OCTUBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA
GIRA 16:	19-22 OCTUBRE	60,2	REGULAR	79,9	BUENA

*ICA no calculado debido a derrumbes en la zona, lo que imposibilitó la medición correspondientes a esta fecha de los parámetros de calidad en la fuente

Fuente: Elaboración propia.

La calidad de agua predominante tanto en época de verano como época de invierno, fue REGULAR, ya los valores de Unidades Formadoras de Coliformes y Fosfato sobrepasan los valores permisibles por normativas regionales que regulan la salud humana.

Por tanto, el agua de dicha fuente: Sobrepasa los límites de calidad de agua establecidos en normativas de salud, representando un riesgo a quien la consume, por lo que requiere de un proceso de potabilización profunda, sin embargo, permite el desarrollo de peces, siendo para éste fin, un agua de calidad clasificada como BUENA.



4.2.12 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO HÍDRICO PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD, MICROCUENCA MARROQUÍN, HONDURAS.

A partir del levantamiento de información realizada por Técnicos del Programa “Bosques y Agua” en las parcelas en estudio en la Microcuenca Marroquín, se obtuvo la siguiente información sobre las prácticas agrícolas más comunes y los cultivos más comunes, tomadas sobre un área total de 70.83 MZ de parcelas.

Tabla 4-32. Prácticas agrícolas más comunes, Microcuenca Marroquín, Honduras.

MICROCUENCA	PRACTICA	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
Marroquín	Cultivos	41.48	58.56
	Bosque	8.00	11.29
	Pasto	6.00	8.47
	otros	0.00	0.00

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Tabla 4-33. Cultivos más comunes, Microcuenca Marroquín, Honduras.

CULTIVO	AREA SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (MZ)	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL DE PARCELAS (%)
maíz	22.75	32.12
frijol	5.75	8.12
café	12.98	18.33

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Se observa que los cultivos q predominan son el maíz y el café, para los cuales las tecnologías aplicadas más utilizadas son las que se observan en la tabla 4-34.



Tabla 4-34. Lista de productos aplicados en los ciclos de cultivo, Microcuenca Marroquín, Honduras.

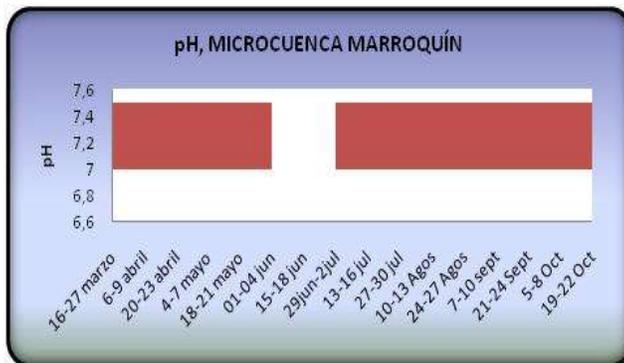
FERTILIZANTES	HERBICIDAS
Mezcla 18-46-0 (Nitrógeno, Fosfato, Potasio)	Gramoxone
	Glifosato (Fosfato, pH básico)

Fuente: Elaboración del grupo formulador del trabajo de grado, a partir de información aportada por técnicos del Programa “Bosques y Agua”.

Los datos anteriores, son de utilidad para el análisis de la variación de los parámetros medidos de marzo a octubre del año 2010, es decir, durante el desarrollo del monitoreo hídrico. Los gráficos presentan discontinuidad en la semana del 15 al 18 de junio debido a derrumbes en la zona que impidieron el acceso a la fuente:

a) Nivel de pH

Gráfico 4-42. Resultados de pH, Marroquín, fuente Escondido.



Fuente: Elaboración propia

Tal como lo muestra la grafica, el nivel de pH se ha mantenido dentro del rango permisible por las normativas de salud, considerado entre 6.0 y 8.5.

El rango de pH en esta fuente, se mantuvo constante con un valor de 7.0 a 7.5. Lo anterior, pone en evidencia,

que durante la época lluviosa, no ha habido un arrastre de partículas, suficiente



como para modificar significativamente el pH del agua en estos puntos, por lo que, tanto las características del suelo como la presencia de restos de agroquímicos utilizados en la zona, no han provocado grandes cambios en este parámetro a pesar del pH alcalino de algunos de los productos, además, de que los caudales no aumentaron drásticamente, por lo que consiguieron, no han arrastrado grandes cantidades de compuestos químicos presentes en el suelo o aplicados en los ciclos de cultivo recientes.

b) Conductividad Eléctrica (CE)

Gráfico 4-43. Resultados de CE, Marroquín, fuente Escondido.



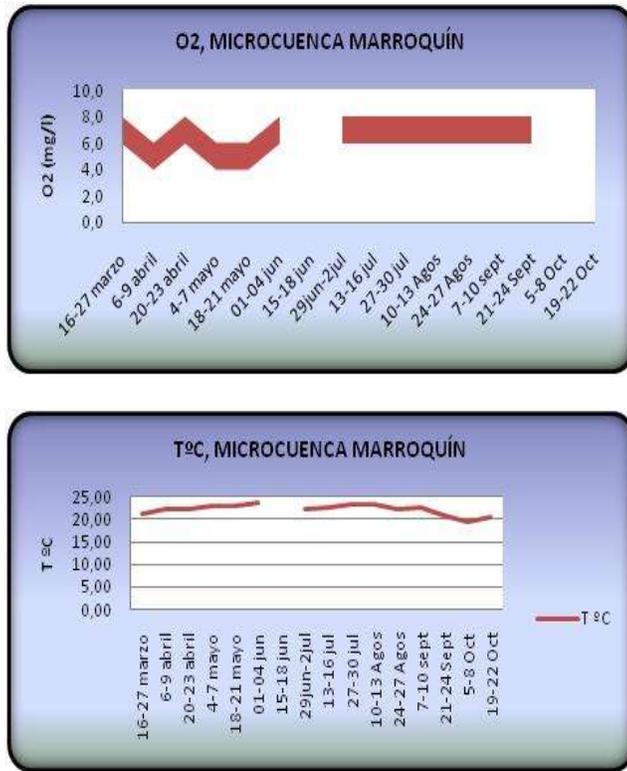
Fuente: Elaboración propia.

Los valores de CE se han mantenido casi constantes en todo el período de monitoreo, con una variación entre los 32 y 52 µS/cm, valores que están muy por debajo de los 1500 µS/cm establecidos como valor permisible para consumo humano. La presencia de sales que aportan los agroquímicos no incide en forma significativa sobre este parámetro, siendo estos valores de CE, modificados en su mayoría por el incremento o decremento del arrastre de sales del suelo y rocas del lugar.



c) Nivel de Oxígeno Disuelto y Temperatura

Gráfico 4-44. Resultados de O2 y T, Marroquín, fuente Escondido.



Fuente: Elaboración propia

entre los 4.0 y 8.0 mg de oxígeno por cada litro de agua, siendo notable, que estos rangos no han sido afectados por la temperatura ni por acumulaciones masivas de materia orgánica de forma natural ni de actividades antropogénicas.

d) Nitrato (NO₃)

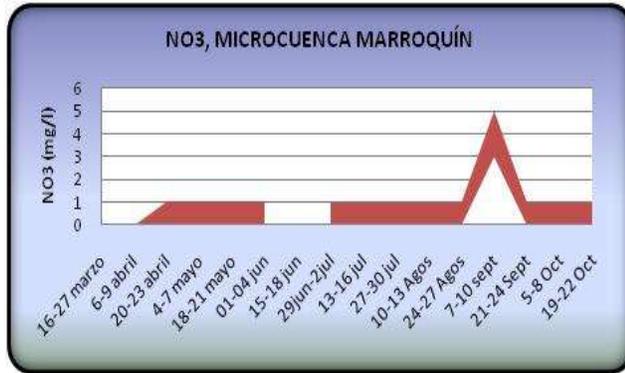
El rango de nitrato presentado a lo largo de las giras de medición en la fuente El Escondido, ha sido de 0-1.0 mg/l, manteniéndose dentro del límite permisible de 45 mg/l establecido en las normativas de salud, exceptuando, el rango

La temperatura del agua en la fuente El Escondido, tuvo variaciones pequeñas entre los 19 y 23 °C, manteniéndose los valores medidos, dentro de este rango constante independientemente de haber sido tomados en época seca o en época lluviosa, por lo que la disolución de sales por altas temperaturas, no se ha presentado, tal como se observa en los valores poco variables de CE.

En el caso del oxígeno disuelto, los rangos se han mantenido



Gráfico 4-45. Resultados de NO₃, Marroquín, fuente Escondido.



Fuente: Elaboración propia

presencia de contaminante que permitió su modificación, no fue lo suficientemente grande como para hacer variar los datos obtenidos para el resto de indicadores de calidad, siendo la posible fuente de contaminante natural responsable de este cambio, la acumulación de materia orgánica en el sitio aguas arriba.

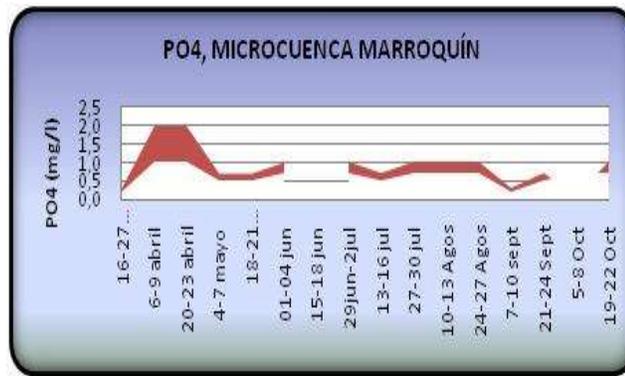
e) Fosfato (PO₄)

Los rangos de fosfato han sido de los valores obtenidos durante el monitoreo y que más presentan variación en esta fuente, fluctuando entre los 0.2 y 2.0 mg/l, siendo mayores, que el valor recomendado no normado de 0.1 mg/l, por lo que, se observa, el efecto de contaminación por actividades antropogénicas, ya sea por infiltración de trazas de fosfato por agroquímicos como la mezcla 18-46-0 utilizada como fertilizante, así como de infiltración de restos de materia orgánica proveniente de actividades ganaderas y del mal manejo de las aguas residuales domésticas.

obtenido en las mediciones realizadas del 7 al 10 de septiembre, con un valor de 3.0 a 5.0 mg/l, cambio mínimo que a pesar de observarse en este parámetro, no se ve reflejado en ninguno de los otros parámetros en estudio, por lo que la



Gráfico 4-46. Resultados de PO₄, Marroquín, fuente Escondido



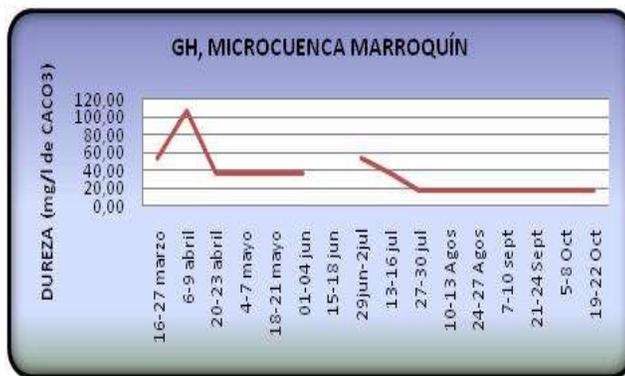
Fuente: Elaboración propia

f) Amonio (NH₄)

Durante el monitoreo hídrico realizado en la Fuente El Escondido en Microcuenca Marroquín, no se detectó valores de amonio mediante el análisis colorimétrico, lo cual indica, que no hay aportes directos y constantes de este compuesto en las fuentes de agua bajo estudio o que los valores presentes son mucho menores a los rangos detectables mediante éste método de medición.

g) Dureza Total (GH)

Gráfico 4-47. Resultados de GH, Marroquín, fuente Escondido.



Fuente: Elaboración propia

La variación de la dureza total se da por las partículas de suelo y rocas arrastrados por la corriente de agua subterránea, sobre todo, de partículas de carbonato de calcio, por lo que el valor de GH tiende a ser mayor en zonas de suelos calizos. Los valores obtenidos a través de las mediciones

durante el monitoreo hídrico, han tenido algunas variaciones entre los 18 y 54



mg de CaCO₃ por litro de agua, elevándose éste valor por un aumento en el arrastre de partículas durante la segunda gira de medición, en la semana del 6 al 9 de abril, siendo éste, el valor que presenta el cambio más drástico durante el período de desarrollo del monitoreo hídrico.

h) Coliformes Totales y E. Coli.

Gráfico 4-48 Resultados de UFC, Marroquín, fuente El Escondido.



Fuente: Elaboración propia

En todas las giras de monitoreo las Unidades Formadoras de Coliformes (UFC) presentaron valores mayores a cero, indicando la presencia de materia fecal en el agua, proveniente de animales de sangre caliente o de aguas residuales no tratadas correctamente en la zona, por lo

que este valor se encuentra fuera de lo establecido en las normas de salud, que indica que el numero de UFC debe ser igual a cero.



4.3 RESULTADOS PARA LAS AREAS DE RECARGA DE LAS FUENTES EN ESTUDIO EN LAS SEIS MICROCUENCAS.

Para el cálculo del área de recarga para las fuentes objeto de monitoreo hídrico, se aplicó la metodología expuesta en el Capítulo 3 de este documento, para cuyos resultados, se elaboró posteriormente una tabla resumen con los datos básicos utilizados para el cálculo matemático de dicha área, cálculos realizados utilizando las herramientas del software ArcGIS versión 9.3 y auxiliándose de tablas de fórmulas elaboradas en Microsoft Excel las cuales permitieron facilitar los cálculos al grupo formulador del trabajo de grado.

Al igual que en los análisis de calidad, no se considerará el cálculo del área de recarga para la fuente El Puente, Microcuenca Mezcal en Guatemala, debido a la obstrucción de la tubería de aforo posterior al paso de la tormenta Agatha, lo cual minimizó el flujo del agua, por lo que estos los datos de caudal, no son representativos para realizar el cálculo del área de recarga de esta fuente.

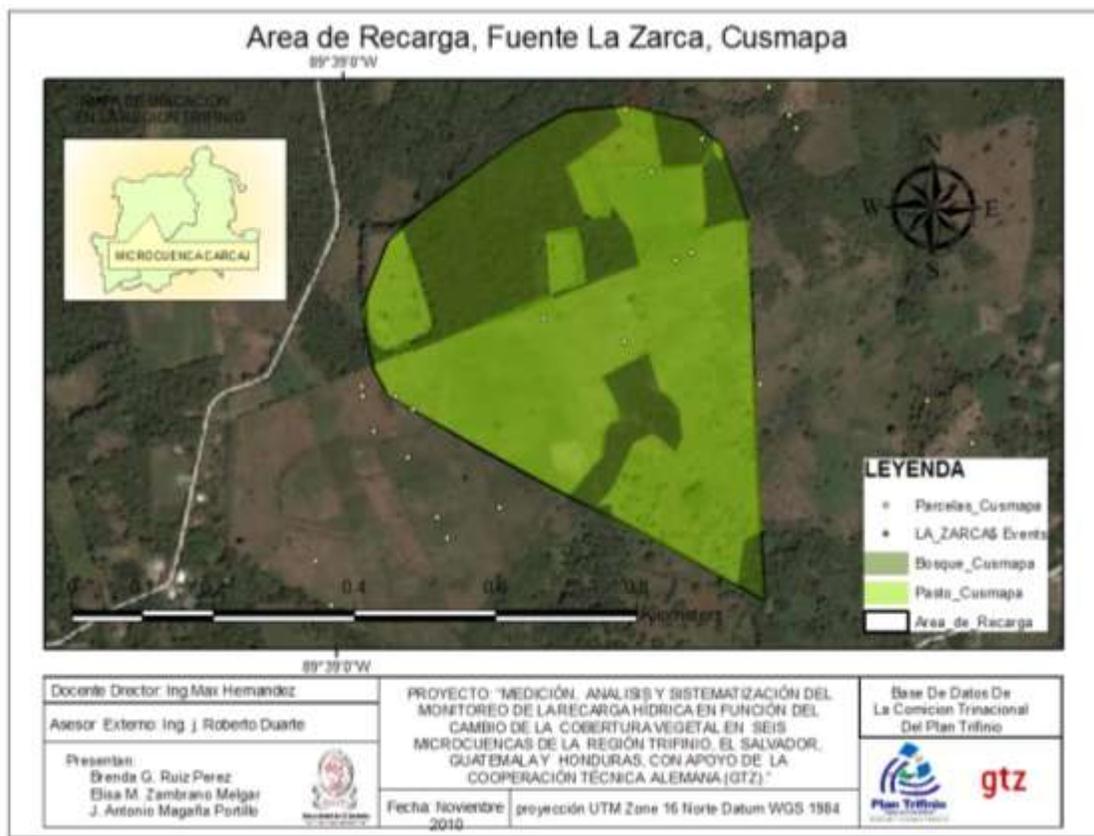
Las tablas resumen para las fuentes de las seis microcuencas, a excepción de la anteriormente mencionada, se muestran a continuación:



Tabla 4-35. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Cusmapa, Fuente La Zarca

Nombre de Microcuenca	Cusmapa
Nombre de Fuente de monitoreo	La Zarca
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Antonio Pajonal, Santa Ana , El Salvador
Precipitación promedio anual	1400 mm
Caudal base anual	2 L/s
Caudal excedente en época lluviosa	5 L/s
% de pendiente del terreno	23.0
Tipo de suelo	Andosole, Regosole, Luvisole, Rendzina o Cambisole, Regosole, Vertisole
Clasificación de permeabilidad	Semipermeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de vegetación densa (bosque)	32.20
Porcentaje de Vegetación ligera	67.80
COEFICIENTES	
Coefficiente de Escorrentía	0.42
Coefficiente de Infiltración	0.58
ÁREA DE RECARGA	
Área de Recarga m ²	242996.69
Área de recarga km ²	0.24



TABLA 4-36. DATOS DE AREA DE RECARGA, MICROCUENCA JUPULA, FUENTE LA MONTAÑITA

Nombre de Microcuenca	Jupula
Nombre de Fuente de monitoreo	La Montaña
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Ignacio, La Palma , El Salvador
Precipitación promedio anual	1800 mm
Caudal base anual	0.89 lt/s
Caudal excedente en época lluviosa	30.7 Lt/s
% de pendiente del terreno	35 %
Tipo de suelo	Andosole, Luvisole y Regosole
Clasificación de permeabilidad	Permeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de vegetación densa (bosque)	58.66
Porcentaje de hierba corta	14.77
Porcentaje de cultivo	26.58

COEFICIENTES

Coefficiente de Escorrentía	0.14
Coefficiente de Infiltración	0.86

ÁREA DE RECARGA

Área de Recarga m ²	330750.04
Área de recarga km ²	0.33



Tabla 4-37. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Jupula, Fuente Vásquez

Nombre de Microcuenca	Jupula
Nombre de Fuente de monitoreo	Vásquez
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Ignacio, La Palma, El Salvador
Precipitación promedio anual	1800 mm
Caudal base anual	0.57 lt/s
Caudal excedente en época lluviosa	1.2 Lt/s
% de pendiente del terreno	18.2 %
Tipo de suelo	Andosole, Luvisole y Regozole
Clasificación de permeabilidad	Permeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de cultivo	81.12
Porcentaje de hierba corta	18.88

COEFICIENTES

Coefficiente de Escorrentía	0.2
Coefficiente de Infiltración	0.8

ÁREA DE RECARGA

Área de Recarga m ²	23735.17
Área de recarga km ²	0.02



Tabla 4-38. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Jupula, Fuente Posada

Nombre de Microcuenca	Jupula
Nombre de Fuente de monitoreo	Posada
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Ignacio, La Palma, El Salvador
Precipitación promedio anual	1800 mm
Caudal base anual	0.92 lt/s
Caudal excedente en época lluviosa	4.25 lt/s
% de pendiente del terreno	27.6 %
Tipo de suelo	Andosole, luvisole y Regosole
Clasificación de permeabilidad	Permeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de vegetación densa (bosque)	13.78
Porcentaje de hierba corta	21.33
Porcentaje de Vegetación ligera	46.72
Porcentaje de cultivo	18.17

COEFICIENTES

Coefficiente de Escorrentía	0.25
Coefficiente de Infiltración	0.75

ÁREA DE RECARGA

Área de Recarga m ²	71443.36
Área de Recarga km ²	0.07



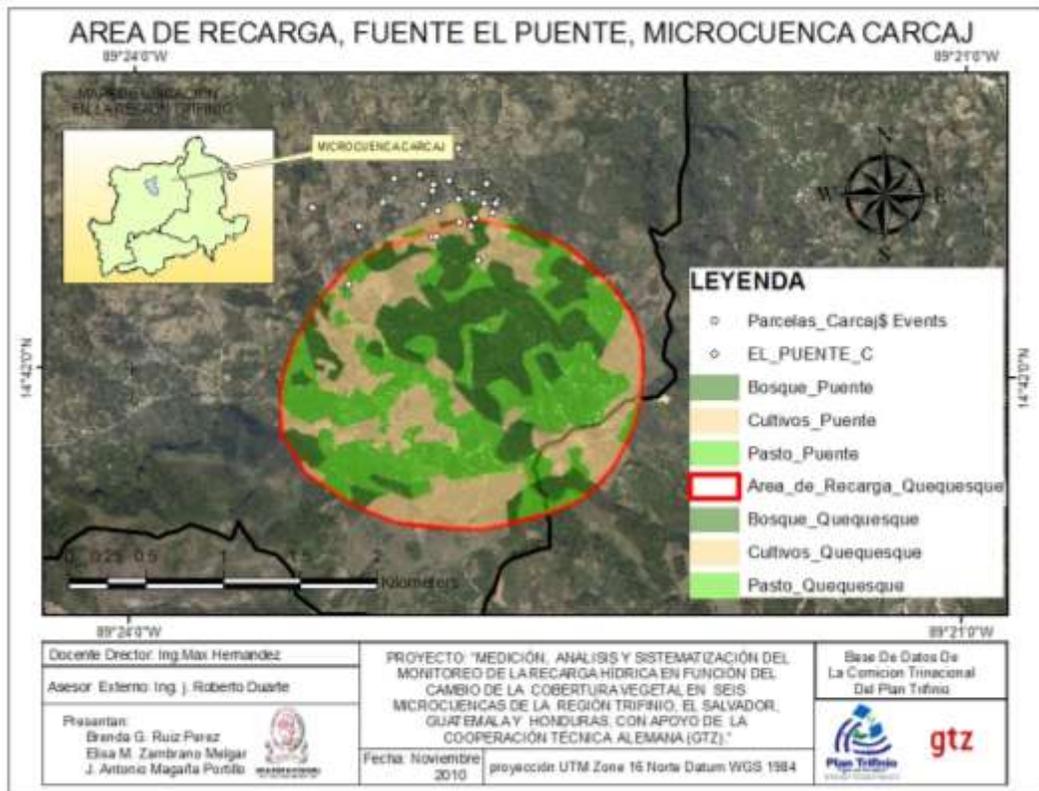
Tabla 4-39. Datos de Area de Recarga, Microcuenca Mezcal, Fuente La Barranca

DATOS DE MICROCUENCA				
Nombre de Microcuenca	Mezcal			
Nombre de Fuente de monitoreo	La Barranca			
Ubicación de Fuente de monitoreo	Santa Catarina Mita, Guatemala			
Precipitación promedio anual	900 mm			
Caudal base anual	35 l/s			
Caudal excedente en época lluviosa	72 l/s			
% de pendiente del terreno	18.9			
Tipo de suelo	Cambisole, Regosole, Vertisole			
Clasificación de permeabilidad	Semipermeable			
TRAZO DE ÁREA DE RECARGA				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> Director: Director: Ing. Mar Hernández Asesor: Entero: Ing. J. Roberto Duarte Presentan: Brenda G. Ruiz Pérez Elsa M. Zambrano Belgar J. Antonio Magaña Portillo </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top; text-align: center;"> PROYECTO: "MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ)." Fecha: Julio 2010 proyección UTM Zona 18 Norte Datum WGS 1984 </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top; text-align: right;"> Base De Datos De La Comisión Trifinial Del Plan Trifinio </td> </tr> </table>		Director: Director: Ing. Mar Hernández Asesor: Entero: Ing. J. Roberto Duarte Presentan: Brenda G. Ruiz Pérez Elsa M. Zambrano Belgar J. Antonio Magaña Portillo	PROYECTO: "MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ)." Fecha: Julio 2010 proyección UTM Zona 18 Norte Datum WGS 1984	Base De Datos De La Comisión Trifinial Del Plan Trifinio
Director: Director: Ing. Mar Hernández Asesor: Entero: Ing. J. Roberto Duarte Presentan: Brenda G. Ruiz Pérez Elsa M. Zambrano Belgar J. Antonio Magaña Portillo	PROYECTO: "MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ)." Fecha: Julio 2010 proyección UTM Zona 18 Norte Datum WGS 1984	Base De Datos De La Comisión Trifinial Del Plan Trifinio 		
COBERTURA VEGETAL				
Porcentaje de vegetación densa (bosque)	10.33			
Hierba Corta	42.05			
Sin vegetación	47.62			
COEFICIENTES				
Coefficiente de Escorrentía	0.20			
Coefficiente de Infiltración	0.80			
ÁREA DE RECARGA				
Área de Recarga en mts ²	3132082.84			
Área de Recarga en km ²	3.13			



Nombre de Microcuenca	Carcaj
Nombre de Fuente de monitoreo	El Puente
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Juan Ermita, Chiquimula, Guatemala
Precipitación promedio anual	900 mm
Caudal base anual	49.37 l/s
Caudal excedente en época lluviosa	56.88 l/s
% de pendiente del terreno	17.09
Tipo de suelo	Luvisole, Molisole
Clasificación de permeabilidad	Semipermeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de vegetación densa (bosque)	29.26
Porcentaje de Vegetación ligera	37.90
Porcentaje de cultivo	32.84

COEFICIENTES

Coefficiente de Escorrentía	0.43
Coefficiente de Infiltración	0.57

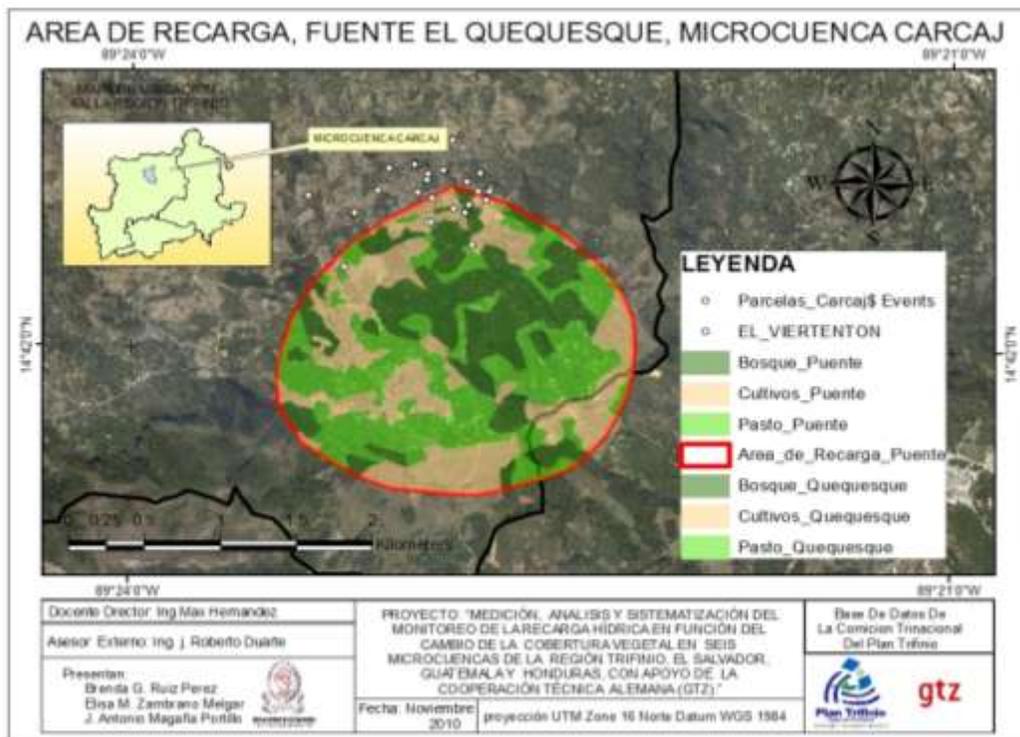
ÁREA DE RECARGA

Área de Recarga m ²	3719660
Área de recarga km ²	3.71



Nombre de Microcuenca	Carcaj
Nombre de Fuente de monitoreo	Viertentón Quequesque
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Juan Ermita, Chiquimula, Guatemala
Precipitación promedio anual	900 mm
Caudal base anual	36.9 l/s
Caudal excedente en época lluviosa	78.3 l/s
% de pendiente del terreno	17.09
Tipo de suelo	Luvisole, Molisole
Clasificación de permeabilidad	Semipermeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de vegetación densa (bosque)	29.25
Porcentaje de Vegetación ligera	38.66
Porcentaje de cultivo	32.08

COEFICIENTES

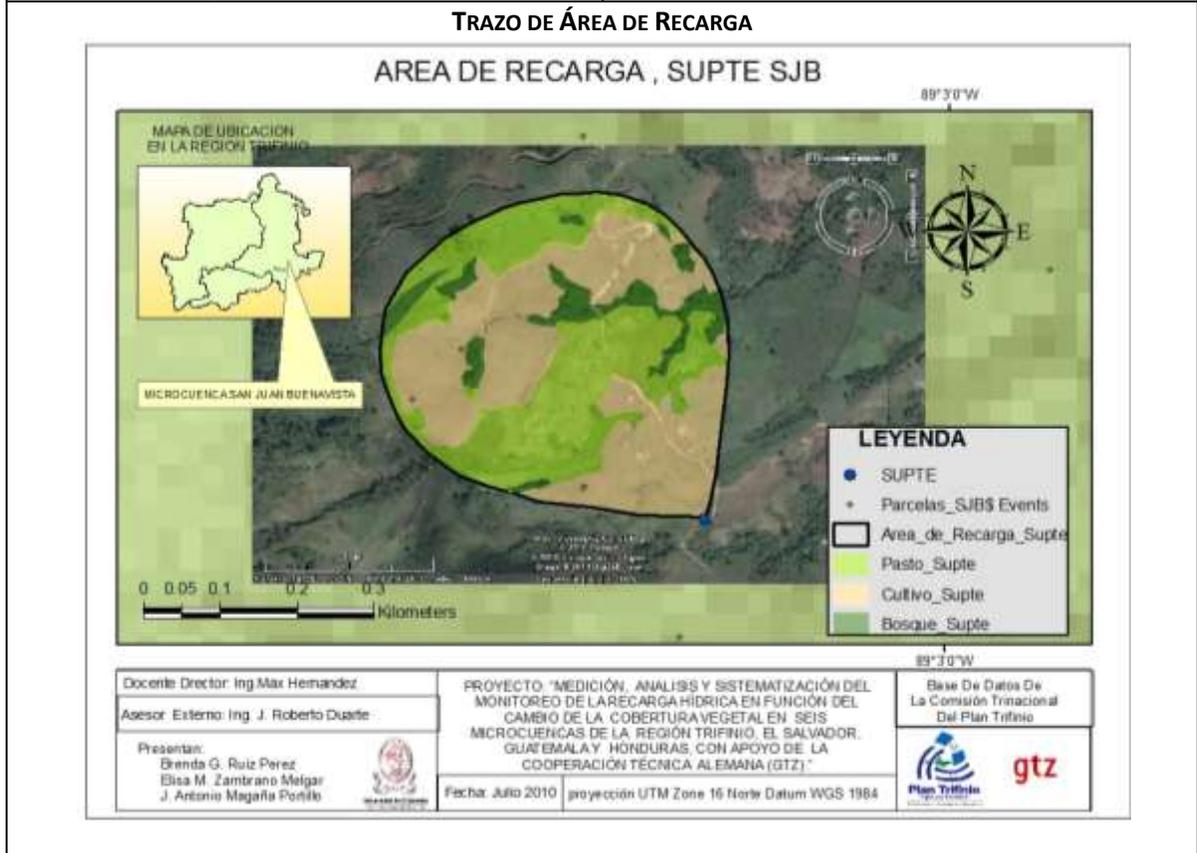
Coefficiente de Escorrentía	0.43
Coefficiente de Infiltración	0.57

ÁREA DE RECARGA

Área de Recarga m ²	3629620
Área de recarga km ²	3.62



Nombre de Microcuenca	San Juan Buenavista
Nombre de Fuente de monitoreo	Supte
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Francisco del valle, Ocotepeque, Honduras
Precipitación promedio anual	1300 mm
Caudal base anual	1 ls/s
Caudal excedente en época lluviosa	7.5 Ls/s
% de pendiente del terreno	17.7%
Tipo de suelo	Andosole, Luvisole, Regosole
Clasificación de permeabilidad	Permeable



COBERTURA VEGETAL	
Porcentaje de vegetación densa (bosque)	9.70
Porcentaje de Vegetación ligera	40.77
Porcentaje de cultivo	49.53
COEFICIENTES	
Coefficiente de Escorrentía	0.26
Coefficiente de Infiltración	0.74
ÁREA DE RECARGA	
Área de Recarga m2	154438.5 m2
Área de Recarga km ²	0.15 km ²



Nombre de Microcuenca	San Juan Buenavista
Nombre de Fuente de monitoreo	Arivas
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Francisco del valle, Ocotepeque, Honduras
Precipitación promedio anual	1300 mm
Caudal base anual	1.6 ls/s
Caudal excedente en época lluviosa	13.3 Ls/s
% de pendiente del terreno	28.3%
Tipo de suelo	Andosole, Luvisole, Regosole
Clasificación de permeabilidad	Permeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de vegetación densa (bosque)	65.35
Porcentaje de Vegetación ligera	21.48
Porcentaje de cultivo	13.17

COEFICIENTES

Coefficiente de Escorrentía	0.23
Coefficiente de Infiltración	0.77

ÁREA DE RECARGA

Área de Recarga m ²	260872.43
Área de Recarga km ²	0.26



Tabla 4-44. Datos de Area de Recarga, Microcuenca San Juan Buenavista, Fuente La Lagunilla				
Nombre de Microcuenca	San Juan Buenavista			
Nombre de Fuente de monitoreo	Lagunilla			
Ubicación de Fuente de monitoreo	San Francisco del valle, Ocotepeque, Honduras			
Precipitación promedio anual	1300 mm			
Caudal base anual	1.6 ls/s			
Caudal excedente en época lluviosa	10 Ls/s			
% de pendiente del terreno	14.1%			
Tipo de suelo	Andosole, Luvisole, Regosole			
Clasificación de permeabilidad	Permeable			
TRAZO DE ÁREA DE RECARGA				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"> Docente Director: Ing. Max Hernandez Asesor Externo: Ing. J. Roberto Duarte Presentan: Brenda G. Ruiz Perez Elisa M. Zambrano Melgar J. Antonio Magaña Portillo </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> PROYECTO "MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ)" Fecha: Julio 2010 proyección UTM Zona 16 Norte Datum WGS 1984 </td> <td style="width: 33%; text-align: right;"> Base De Datos De La Comisión Trifinio Del Plan Trifinio </td> </tr> </table>		Docente Director: Ing. Max Hernandez Asesor Externo: Ing. J. Roberto Duarte Presentan: Brenda G. Ruiz Perez Elisa M. Zambrano Melgar J. Antonio Magaña Portillo	PROYECTO "MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ)" Fecha: Julio 2010 proyección UTM Zona 16 Norte Datum WGS 1984	Base De Datos De La Comisión Trifinio Del Plan Trifinio
Docente Director: Ing. Max Hernandez Asesor Externo: Ing. J. Roberto Duarte Presentan: Brenda G. Ruiz Perez Elisa M. Zambrano Melgar J. Antonio Magaña Portillo	PROYECTO "MEDICIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE LA RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO, EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS, CON APOYO DE LA COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (GTZ)" Fecha: Julio 2010 proyección UTM Zona 16 Norte Datum WGS 1984	Base De Datos De La Comisión Trifinio Del Plan Trifinio 		
COBERTURA VEGETAL				
Porcentaje de vegetación densa (bosque)	33.91			
Porcentaje de Vegetación ligera	32.54			
Porcentaje de cultivo	33.54			
COEFICIENTES				
Coefficiente de Escorrentía	0.2			
Coefficiente de Infiltración	0.8			
ÁREA DE RECARGA				
Área de Recarga m ²	199370.35			
Área de Recarga km ²	0.20			



Tabla 4-45. Datos de Área de Recarga, Microcuenca Marroquín, Fuente El Escondido

Nombre de Microcuenca	Marroquín
Nombre de Fuente de monitoreo	El Escondido
Ubicación de Fuente de monitoreo	Santa Rita de Copán, Honduras
Precipitación promedio anual	1150 mm
Caudal base anual	1.0 l/s
Caudal excedente en época lluviosa	6.0 l/s
% de pendiente del terreno	27.07
Tipo de suelo	Regosole, Luvisole, Nitosole, Rendzina
Clasificación de permeabilidad	Permeable

TRAZO DE ÁREA DE RECARGA



COBERTURA VEGETAL

Porcentaje de vegetación densa (bosque)	47.45
Porcentaje de Vegetación ligera	41.14
Porcentaje de cultivo	11.41

COEFICIENTES

Coefficiente de Escorrentía	0.21
Coefficiente de Infiltración	0.79

ÁREA DE RECARGA

Área de Recarga m ²	123177.02
Área de recarga km ²	0.12



4.4 PROYECCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS PRODUCTIVOS EN MICROCUENCA CUSMAPA.

A partir del mes de julio de 2010 se inició en la Microcuenca Cusmapa, la implementación del modelo agroforestal, mediante el cultivo de café bajo sombra, en 6 manzanas en total (ver anexo 4), a partir de la suma de todas las parcelas productivas que identificaron y establecieron técnicos del Programa “Bosques y Agua”, ubicadas en el Municipio de San Antonio Pajonal.

Debido a que el proceso de implementación del modelo en las parcelas está iniciando, no se podrá presentar cambios sustanciales de caudal en la fuente en corto tiempo, sino hasta que las plantaciones realizadas se encuentren en su etapa de madurez. Por lo tanto, a partir del inicio de maduración del cultivo de café bajo sombra en esta zona de recarga hídrica de poca extensión, puede ser medido el impacto generado por este cambio de práctica agrícola, para lo cual, se realizó la proyección de la cantidad de infiltración, que se generaría en el área de recarga de la Fuente La Zarca.

Con base a la sustitución de 6 manzanas de tierra utilizada para pastos, por el cultivo de plantas de café bajo sombra, se generó la infiltración proyectada para la Fuente La Zarca, y por consiguiente, se presenta el cambio de los coeficientes de escorrentía y de infiltración (el cual posee un valor de 0.58 actualmente), siendo éstos valores, los únicos que experimentarán cambios a partir de la modificación de los porcentajes de cada tipo de cobertura vegetal en las parcelas intervenidas en el área de



recarga. En la siguiente tabla se muestran los valores de porcentaje de cobertura vegetal y coeficiente de infiltración que se generaría en la zona.

Tabla 4-39. Coeficiente de Infiltración para caudal proyectado, Fuente La Zarca.

Tipo De Cobertura Vegetal	Área M2	Porcentaje	CI	CI Ponderado
Vegetación Densa (Bosque)	84063	32,20	0,64	0,20
Café Bajo Sonmbra	40100	15,36	0,64	0,10
Vegetación Ligera (pasto)	136879	52,44	0,55	0,29
Cultivos	0	0,00	1,00	0,00
Sin Vegetación	0	0,00	1,00	0,00
Total	261042	100,00		0,59

Para el cálculo del coeficiente de infiltración, se recurrió a una tabla en Microsoft Excel, por lo cual, las franjas rojas representan las celdas donde se introducirían los datos para realizar el respectivo cálculo, dando como resultado un CI Ponderado de 0.59.

A partir de la información presentada en la Tabla 4-39, se observa la introducción de café bajo sombra en las parcelas productivas de la zona estudiada. Por tanto, mediante los valores de CI Ponderado, área de recarga de la Fuente La Zarca (242996.69 m²), y tomando un valor unitario de precipitación en la Microcuenca (1mm), se puede obtener la infiltración proyectada por cada mm de precipitación que pudiese presentarse cuando el cultivo de café bajo sombra haya alcanzado su madurez:

CALCULO DE LA INFILTRACIÓN ACTUAL

$$I = CPA \text{ (ec.4-1)}$$

Donde:

I= Infiltración en litros



C = Coeficiente de infiltración

P = Precipitación supuesta de 1 mm

A= Área de Recarga

Por lo tanto se tiene que:

I=valor a determinar C=0.58 (actual) P=1mm A=242996.69 m²

$I = (0.58)(1\text{mm})(242996.69 \text{ m}^2)$

I=140938.08 litros.

El valor de I para el área de recarga actual si P es igual a 1 mm (equivalente a 1 l/ m²) y un CI de 0.58, es de 140938.08 litros.

CALCULO DE LA INFILTRACIÓN PROYECTADA

I=valor a determinar C=0.59 (proyectado) P=1mm A=242996.69 m²

$I = (0.59)(1\text{mm})(242996.69 \text{ m}^2)$

I=143368.04 litros.

Recordando, que se utilizará una P de 1 mm (equivalente a 1 l/ m²), para determinar cuál será el cambio producido en la infiltración por cada mm de lluvia, al modificar la cobertura vegetal en la zona de recarga, por lo tanto:

El valor de I para el área de recarga proyectada si P es igual a 1 mm y el CI es de 0.59, es de 143368.04 l, por lo cual la infiltración aumenta 2429.96 l, es decir 1.72% por cada mm de precipitación.



4.5 SISTEMATIZACIÓN EN LA PLATAFORMA ARC-GIS DEL MONITOREO HÍDRICO.

El monitoreo hídrico llevado a cabo en las seis microcuencas en la Región Trifinio, tuvo como resultado una línea base de datos tanto para cantidad como para indicadores de calidad del agua, presentada en la plataforma ArcGIS versión 9.3, con la finalidad de establecer una base digital de estos parámetros correspondientes a las fuentes monitoreadas, los cuales puedan ser utilizados para futuros proyectos de interés en los que se requiera este tipo de datos, tal como conocer la variación histórica de éstos.

Para dicha sistematización se creó un archivo base por microcuenca, en la que se incluye las fuentes de éstas, conteniendo cada una la descripción de cada parámetro de calidad en las diferentes fechas sujetas a medición, a partir del mes de marzo y finalizando en el mes de octubre del año 2010. Dentro de cada archivo, se observa en el área de trabajo del software ArcGIS, la delimitación de la microcuenca con sus respectivos puntos de monitoreo, áreas de recarga por fuente, ríos e imágenes satelitales de la Región Trifinio, como se muestra en la Figura 4-1. Al seleccionar cualquiera de los puntos que representan a las fuentes bajo estudio dentro de una de las Microcuenca, por medio de la herramienta IDENTIFY, inmediatamente se despliega una ventana donde se muestra los siguientes datos (Figura 4-1):

- Nombre de la fuente
- Latitud
- Longitud
- Elevación



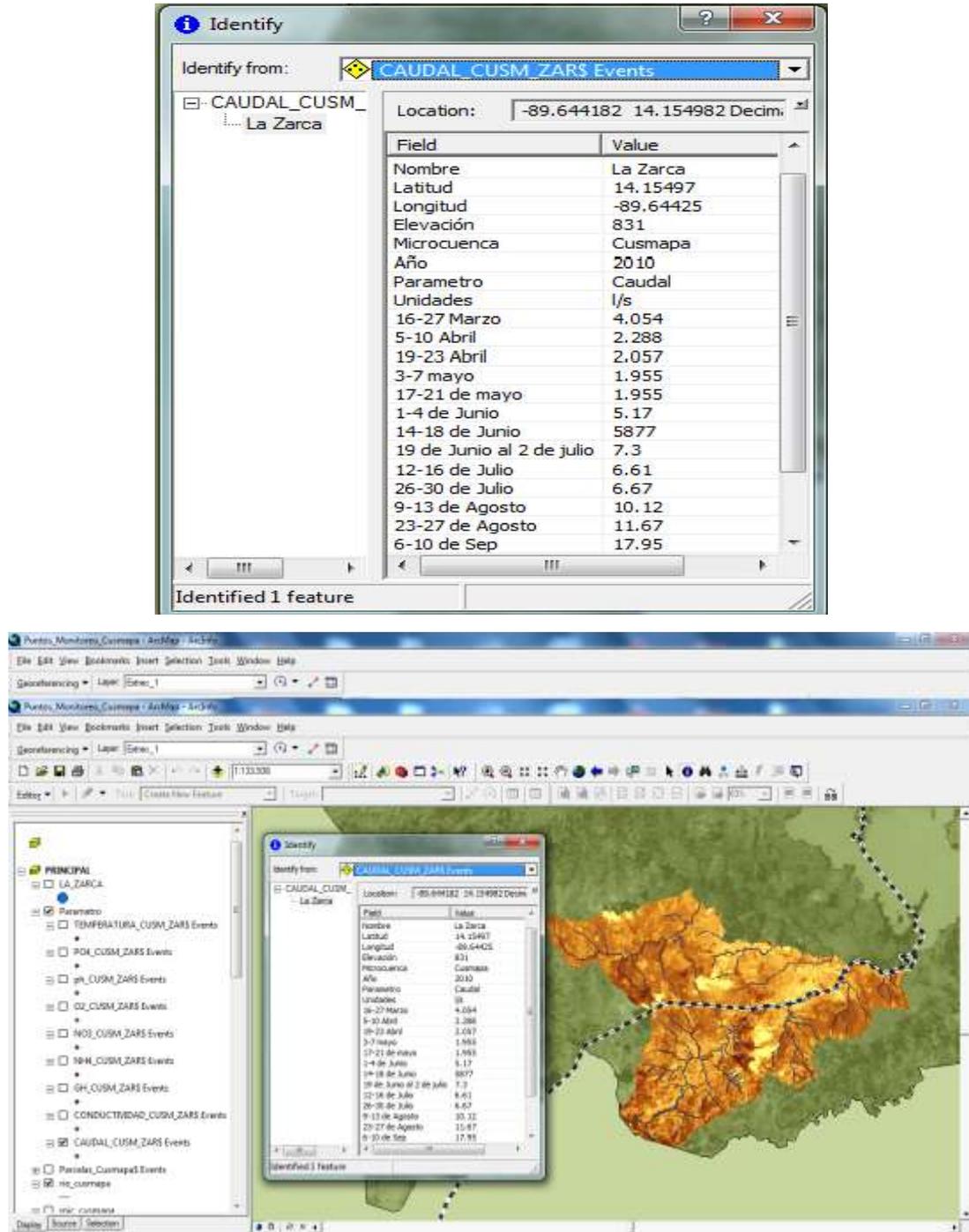
- Nombre de la Microcuenca
- Año de medición
- Nombre del parámetro medido
- Unidades del parámetro medido
- Fecha de gira de medición
- Resultado obtenido para cada fecha de medición

Dentro de esta ventana que se muestra en el área de trabajo, es posible seleccionar el parámetro del cual se desea observar el registro de datos obtenidos del monitoreo hídrico, a partir, de la lista desplegable adjunta a la leyenda IDENTIFY FROM. En esta lista, se elige el parámetro de interés a mostrar para la misma fuente. Si se desea mostrar los resultados para una fuente diferente, es necesario seleccionar dicho punto con la herramienta IDENTIFY, así como también si desea visualizarse el registro de datos de cualquiera de las seis microcuencas en estudio, es necesario seleccionar el archivo que lo contiene, ya que como se mencionó con anterioridad, los archivos de registro son individuales.

Por lo que, a través de la línea base de datos levantada se logra apreciar la tendencia de variación de los caudales y de los parámetros de calidad de las fuentes a lo largo de los meses tanto de época seca como lluviosa.



Figura 4-1. Ventana de resultado del registro de datos del monitoreo hídrico y área de trabajo de ArcGIS.



Fuente. Elaboración propia



4.6 VALIDACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN LAS SEIS MICROCUENCAS.

Con la finalidad de corroborar, que los datos obtenidos durante el desarrollo del monitoreo hídrico fuesen confiables, se realizó el día martes 19 de octubre, la toma de muestras en las fuentes La Zarca (Fotografía 4-1) y La Barranca (Fotografía 4-2), microcuencas Cusmapa y Mezcal respectivamente, las cuales se utilizaron para realizar pruebas de laboratorio a los parámetros pH, Conductividad Eléctrica, Fosfato, Amonio, Nitrato, Dureza Total, Oxígeno Disuelto, Coliformes Totales y Escherichia Coli. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios (Anexo A-3), presentando diferencias mínimas con los datos obtenidos en el monitoreo hídrico de esa fecha, excepto por el valor de Fosfatos, que varió significativamente por razones no identificadas.

Fotografía 4-1. Toma de muestras para validación de datos, Fuente La Zarca.



Fotografía 4-2. Toma de muestras para validación de datos, Fuente La Barranca.



Fuente: Dossier fotográfico.



CAPITULO V MANUAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO

Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura



5.1 IMPORTANCIA DEL MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO.

El agua, como recurso vital, está relacionada con todos los elementos de los ecosistemas existentes, por lo que su contaminación constituye un factor limitante para el progreso productivo de una región. Actualmente, la cantidad y calidad del agua se están agravando a nivel mundial, debido al incremento de la población, el desarrollo de la tecnología y las industrias derivadas de ella. La agricultura también ha sido responsable de contaminación de estos recursos a través del uso indiscriminado de insecticidas, pesticidas y herbicidas, así como de fertilizantes químicos. Por otro lado, las aguas servidas de las poblaciones han ido aumentando proporcionalmente al crecimiento de ellas. Este problema, se complica por el hecho que, en algunos países del mundo, las aguas servidas no son tratadas antes de ser devueltas a los cauces. Frente a estos hechos, la disponibilidad de agua es limitada, y provoca la aparición de problemas y conflictos en el uso de este recurso.

Por tanto, la escasez de agua y la pobre calidad de la misma está ocasionando serios riesgos en la seguridad alimenticia, en la salud humana, en el bienestar económico, social y en la biodiversidad, por consiguiente, es indispensable que en su gestión, desde un punto de vista integral de cuencas hidrográfica, se considere el adecuado monitoreo, vigilancia y control del agua para tratar de evitar su contaminación o contrarrestar sus efectos.

La ejecución de estudios que se realicen para este recurso tan vital, debe ser de tal forma que los usuarios en general y las autoridades nacionales en particular puedan disponer de la información levantada de los recursos hídricos de una región, necesaria para tomar decisiones adecuadas alrededor de los recursos hídricos superficiales.



5.2 ETAPAS EN EL MONITOREO HÍDRICO DE CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES

Dentro de la implementación de un sistema de monitoreo hídrico, se requiere tomar en cuenta etapas básicas para poder desarrollarlo.

5.2.1 ESTABLECIMIENTO DE REQUISITOS PARA EL MONITOREO.

El monitoreo hídrico permite conocer la evolución de los parámetros naturales del agua, deseable para los proyectos que hacen uso del recurso vital, tratando de alterarla lo menos posible para que otros usuarios lo puedan seguir utilizando en condiciones apropiadas.

Uno de los objetivos del monitoreo de agua es que los proyectos que utilizan o impactan sobre este recurso permitan que la calidad del agua se mantenga o mejore, al igual que su cantidad aumente.

Es importante establecer las etapas que involucra un monitoreo hídrico:

- Objetivo del monitoreo.

Cuando se desea iniciar con una red de monitoreo debe tenerse definido el objetivo de éste, ya que a partir de ello se podrá establecer su metodología y el uso de los resultados obtenidos.

- Las actividades a realizar.

Se deben tener planteadas todas las actividades que se llevarán a cabo desde el inicio del proyecto, durante su implementación y a una vez finalizado.

En esta etapa se toma decisiones relevantes para las actividades bases, como el caso de tomar en cuenta los parámetros a considerar en cuanto a



calidad, si la toma de muestra de agua se realizará con un estudio en laboratorio o en campo, y por tanto establecer dichas actividades como parte del desarrollo del monitoreo

- Tiempo de ejecución.

Es necesario definir el tiempo en el que se pretende realizar el proyecto, en donde es preciso llevar un control de actividades, mediante un cronograma, el cual a partir de él se puede establecer metas, y a la vez medir el avance a lo largo del proyecto.

- Presupuesto.

Se debe analizar la naturaleza del problema, la importancia de satisfacer requerimientos de calidad que pueden ser óptimos para determinados usos y las posibilidades técnicas y financieras de satisfacer dichos requerimientos. Mediante el establecimiento del presupuesto dependerá a la vez el planteamiento y el tipo de actividades propuestas, por tanto, el aspecto económico es en variadas ocasiones preponderante en un determinado proyecto.

5.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE MONITOREO.

En el área donde se pretende efectuar el monitoreo es necesario precisar su geografía, climatología e hidrogeología, ya que a partir de estos aspectos, se podrá delimitar territorialmente dicha zona con base a las características propias del lugar. Y tener un panorama más amplio de las influencias que el medio tiene sobre la zona de medición, tal como fallas geológicas, fracturas, dimensión del cauce, topografía general, y la geología.



Como parte del proceso de investigación del sitio de monitoreo, debe levantarse a la vez, información socioeconómica y política, para poder proyectar comportamientos culturales de los pobladores sobre los cuerpos de agua del lugar, a partir de estilos de vida de quienes residen cerca de la zona. Además describir los cascos urbanos y rurales contenidos y recolectar información acerca de los usos del suelo y el tipo de prácticas agrícolas que en estas zonas se tienen.

En detalle, debe conocerse las fuentes de contaminación puntuales presentes en la zona, ya sea industrias, zonas eminentemente agrícolas haciendo uso de fertilizantes y pesticidas, zonas ganaderas o de cría de animales de granja, como fuente de contaminación microbiológica a través de las excretas depositadas o llevadas por la escorrentía hacia aguas abajo, polos de desarrollo, como ciudades, las cuales puedan descargar directamente y sin previo tratamiento aguas negras o residuales, entre otras fuentes que generen alteraciones al medio natural circundante que inflencie directamente a la fuentes de agua.

La información que describe a la zona donde se proyecta realizar el monitoreo, debe tomarse en consideración para la selección de los parámetros de calidad relevantes a medir en el cuerpo de agua, como también, la debida elección del sitio de medición, si se desea medir los impactos generados por alguna fuente de contaminación en específico.

5.2.3 PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO.

A través de la información cartográfica disponible y de la observación directa durante las visitas de reconocimiento, es posible seleccionar un punto de monitoreo que refleje las consecuencias, positivas o negativas, de las actividades tanto antropogénicas como de procesos naturales dentro del área en



observación, y cuya influencia sea cuantificable a través de la medición de cantidad de agua y parámetros de calidad seleccionados.

Otro criterio importante a considerar posterior a la identificación de sitio de monitoreo es la ubicación de los puntos de muestreo tanto para determinar la uniformidad del cauce a monitorear como para identificar los accidentes topográficos presentes en la zona y conocer la accesibilidad a éste en las distintas épocas implicadas en el tiempo de monitoreo. Por tanto, con base al conocimiento que se tenga en campo de la situación real del sitio de monitoreo, se logre considerar llevar a cabo aquellas actividades necesarias que faciliten las mediciones hídricas en el sitio elegido, en donde las actividades en mención pueden establecerse desde la construcción de una obra provisional hasta el uso de herramientas sencillas, que contribuyan a lograr un área conveniente de medición de cantidad como de los parámetros de calidad del agua en estudio, que a la vez se acople a la metodología de medición propuesta por el investigador, con base a las características propias del terreno.

Para realizar las actividades que implican el monitoreo hídrico en un determinado sitio, el punto de muestreo seleccionado debe ser inamovible, ya que si se desea conocer la situación acontecida en el sitio se necesita de un mismo punto de control para la medición de los parámetros hídricos en estudio, y lograr establecer parámetros de comparación en el tiempo y la vinculación de estos resultados con el medio circundante.

Otro factor a tomar en cuenta dentro de este contexto, es la incidencia en la medición de los indicadores de calidad, ya que éstos pueden determinarse "in situ", con instrumentos o equipo de medición utilizados en la zona destinada a monitoreo, por lo que al elegir los sitios de muestreo, debe considerarse el espacio requerido donde pueda manipularse las muestras de agua y la



inmediatez que implica el recorrido del traslado de la muestra hacia el lugar destinado a la medición de dichos parámetros.

5.2.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA.

Para establecer la valoración de la calidad que tiene un cuerpo de agua, es preciso analizar sus características físicas, químicas y microbiológicas que indiquen contaminación. El sistema de indicadores de calidad de agua debe contener aquellos parámetros contaminantes más representativos.

El primer componente a considerar al momento de definir los parámetros de calidad en las fuentes de agua seleccionadas, debe ser el objetivo bajo el cual fue concebido el monitoreo, ya sea que éste se realice para destinar el recurso a un uso en específico, tal como consumo humano, riego, recreación, entre otros, o bien, se quiera conocer el impacto ambiental que determinados puntos de contaminación están influenciando en el cuerpo, así también, cuando se planea llevar un control periódico de la calidad en el lugar.

Generalmente cuando se pretende dar uso a un agua para consumo humano, debe tomarse en cuenta los requisitos que establecen las normativas de organizaciones internacionales en cuanto a su aceptabilidad, y que cada país toma de base para establecer una propia, respecto a sus características ambientales, económicas, sociales y culturales existentes.

Por lo que a la fuente, es necesario realizar un análisis fisicoquímico y bacteriológico, siendo necesarias e indispensables ambos, para poder conceptualarla sobre el carácter potable. Y de tener precedentes de descargas de sustancias tóxicas, realizar entonces las pruebas pertinentes en correspondencia



con el tipo de tóxico, debido a que el riesgo que representan a la salud es diferente al de los contaminantes microbiológicos, ya que estos últimos pueden causar problemas agudos a la primera ingestión, los elementos tóxicos en cambio, empiezan a causar problemas después de un prolongado período de ingestión, salvo el caso de una contaminación masiva accidental. Son de particular interés las sustancias con propiedades venenosas acumulativas, y las que pueden causar cáncer.

Por otra parte, se tienen las sustancias que afectan la aceptabilidad del agua, y que son la que alteran el color, olor y sabor, y aunque estas alteraciones no dañan directamente a la salud, son causantes del rechazo de la fuente.

Por tanto, los parámetros de calidad que pueden estar incluidos en el proceso del monitoreo hídrico, están considerados en los siguientes puntos:

- Aspectos de Salud, mediante la detección de materia bacteriológica presente.
- Características físicas.
- Sales disueltas, para la detección de materia orgánica.
- Tipo de materia orgánica presente, ya sea a través de la identificación de nutrientes.

Debido a la variedad de parámetros que pueden ser evaluados, es preciso seleccionar un grupo limitado de variables, ya que del número que se establezca depende asimismo el presupuesto del proyecto y elevará su costo a medida que éstos aumenten; pero, será tarea del investigador de realizar la debida selección.

Respecto al trabajo realizado para la toma de muestras de agua para su respectivo análisis puede ser ejecutado, tanto en campo como en un laboratorio,



y la elección de uso de uno de ellos dependerá de los recursos disponibles en el proyecto, y de lo planteado en los objetivos del monitoreo.

A través de un laboratorio se logra obtener el análisis cualitativo y cuantitativo de los parámetros físico-químicos y biológicos más importantes que pueden afectar potencialmente el uso para el cual se destina el agua, y a la vez, se señala el grado de tratamiento necesario para su respectivo acondicionamiento.

Otro tipo importante de análisis de muestras son los realizados en campo, que como bien, tiene una serie de ventajas, tal como el tiempo de respuesta inmediato a los valores de los parámetros medidos en la zona. Además del recurso a invertir, ya que a largo plazo se vuelve más rentable adquirir un equipo de calidad que servirá para varios análisis. Ahora bien, se hace necesario, realizar pruebas en laboratorio para otorgar confiabilidad y un grado de exactitud al análisis realizado, aunado a esto, el número de parámetros de calidad que pueden ser identificados en las faenas del campo es limitado, es decir, usualmente sólo índices de calidad pueden ser determinados, para lo cual, un estudio más profundo y exhaustivo debe hacerse en laboratorio. Un ejemplo de ello, es el utilizado en el presente trabajo de grado.

Básicamente, las etapas a considerar en el proceso de análisis de muestras de agua son las siguientes:

- Muestreo correcto y representativo

Definir la técnica de muestreo, además de tener ciertas consideraciones tal como: tomar muestras en distintos tramos, en caso de estar analizando varias estaciones que difieren por condiciones particulares. Tener presente la toma de muestras correctas, ya que el lugar donde se destine



para ello, debe ser representativo, lo cual debe establecerse en las franjas centrales del cuerpo de agua y no en las orillas del cauce.

- Toma de muestras.

La toma de muestra de agua en estudio, la cual quien la manipule debe tomar en cuenta no tener contacto con ella para obtener resultados reales.

- Análisis de resultados.

Conforme al análisis de los parámetros de calidad evaluados, debe tomarse en consideración el medio circundante de la zona para establecer la influencia en ellos, y de obtenerse valores máximos, analizar ya sea fuentes temporales como permanentes, el clima del lugar, época de evaluación, entre otros factores, y así determinar el origen de la variación.

- Planteamiento de soluciones a partir de análisis.

A partir de los resultados obtenidos, se debe determinar soluciones que abarquen la totalidad del problema y pueda minimizarlo o resolverlo de manera absoluta.

El tiempo de muestreo dependerá tanto del recurso económico disponible como del tipo de parámetro de calidad analizado y el propósito de su medición, pues si se desea generar una línea base de datos y compararla un tiempo después, entonces tomará períodos más cortos y frecuentes, muy al contrario, el tiempo que le tomará a una institución gubernamental llevar un control en fuentes donde se está incumpliendo la normativas, en cuanto a evacuar desechos perjudiciales a aguas superficiales.

Una metodología sugerida para valorar el agua de un cuerpo superficial, es la realización de un sistema indicador de la calidad, que agrupa los parámetros



contaminantes más representativos dentro de un marco unificado como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua, y a la vez, hace más rápida y sencilla la interpretación de los datos de monitoreo y el diagnóstico de problemas ambientales, todo ello con el fin de plantear estrategias para el manejo y gestión integral del recurso hídrico. Con la ventaja de poder ser adaptado y modificado a modelos propuestos a lo largo de la historia de los ICAs (Índices de Calidad de Agua), como es el caso del propuesto por la NSF (National Sanitation Foundation), que ha sido base para diversas investigaciones, el cual ha sido utilizado y replanteado para usos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en El Salvador.

El análisis que se realice a la calidad del cuerpo de agua debe representar el punto de partida fundamental para mejorar la situación higiénico-sanitaria del lugar evaluado, y tiene que servir como base para la toma de medidas sanitarias, sin las cuales el control de calidad pierde totalmente sentido.

5.2.5 SELECCIÓN DE METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE CAUDALES

Antes de iniciar la ejecución de un monitoreo hídrico, es relevante conocer de antemano la metodología que servirá para llevar a cabo las actividades de medición de cantidad de agua. Los datos obtenidos a partir de un monitoreo hídrico deben ser confiables y representar correctamente el estado en el que se encuentran los cuerpos de agua al momento de la medición de sus parámetros.

Por lo tanto, para que estos datos sean lo más exactos posible, es necesario definir la metodología de monitoreo de acuerdo a las características físicas que presenta el sitio de medición, por lo que se puede decir, que si se toma en cuenta más de un punto de monitoreo, no necesariamente en todos deberá seguirse la



misma metodología, además, de que puede aplicarse más de una metodología en un sitio de interés.

Dentro de los factores que deben tenerse en cuenta para elegir la metodología de aforo se encuentran:

1. Factores físicos del lugar:

Debe realizarse una visita de reconocimiento al sitio de monitoreo, previo al inicio de las actividades de medición, con la finalidad de obtener información relevante acerca de:

a) Topografía del lugar.

Al conocer la topografía del lugar se puede estimar si el punto de monitoreo es de rápido acceso o si presenta algún tipo de obstáculo para llegar a él. Con este dato, se puede estimar el tiempo necesario que debe disponerse en el día para realizar las actividades de medición, contribuyendo a una buena planificación de recursos.

b) Dimensiones del cuerpo de agua que será sometido a estudio.

Al mencionar dimensiones nos referimos tanto al ancho como a la profundidad del cuerpo de agua. Conociendo estas dimensiones puede seleccionarse el método de aforo que más se adecúe, como también puede estimarse si será necesario seccionar o no el cuerpo de agua para aforarlo. Al conocer las dimensiones, también se pone en evidencia las precauciones que deberá tomar el personal de medición para evitar cualquier daño físico y las consideraciones que permitirán realizar un buen aforo.

Si el cuerpo de agua es de dimensiones pequeñas no presentará ningún problema en la medición, por lo que puede emplearse el método del molinete, el



método de vertederos e incluso el método del flotador, además de que el personal de monitoreo podrá realizarlo directamente y sin correr ningún riesgo físico; pero si las dimensiones son grandes, es recomendable aplicar el método del molinete por secciones con la ayuda de un equipo de cables y arnés cuando la profundidad lo amerita, y que permita al personal manipular adecuadamente los instrumentos sin poner en riesgo su integridad física. Si el método elegido es el del flotador, debe tenerse el cuidado de dividir el ancho en secciones proporcionales al mismo y de realizar el procedimiento en una zona que presente un flujo laminar. El uso del método de vertederos en cuerpos de agua de grandes dimensiones puede conllevar la realización de obras civiles mayores.

c) Espacio disponible para el manejo adecuado de instrumentos.

Debe elegirse preferiblemente una sección del cuerpo de agua que permita la fácil manipulación del equipo de aforo, en caso contrario, debe adecuarse el método de medición al espacio disponible. Si el sitio presenta el espacio suficiente, puede utilizarse el método de molinete, el método de vertederos o el método de flotador. En caso de poseer espacio limitado, el método de vertederos puede presentar dificultades al momento de la construcción de la obra, por lo que si esto se presenta, es recomendable utilizar el método de molinete o de flotador.

d) Presencia de obras de captación aledañas al cuerpo de agua.

Al realizar la visita de reconocimiento, debe prestarse atención a si existe alguna obra de captación cercana al cuerpo de agua de interés, ya que de encontrarse, esta obra podría facilitar el proceso de aforo. En la mayoría de los casos, las obras de captación son dotadas de una tubería de desahogo, es decir una tubería que permite desalojar el exceso de agua cuando la obra se encuentra trabajando



a su capacidad máxima o cuando se realizan las actividades de mantenimiento. Cuando este caso se presenta, al momento de realizar el aforo es posible auxiliarse del tubo de desalajo, ya que este permite la canalización del exceso de agua hacia una salida común, lo que puede ser aprovechado para la aplicación del método volumétrico mediante el uso de un recipiente de volumen conocido. Si no es posible auxiliarse de esta tubería, debe aplicarse el método que mejor se adapte a las condiciones del lugar.

2. Factor económico:

Otra de las consideraciones a tomar al momento de elegir la metodología de aforo, es el recurso económico disponible para llevar a cabo las actividades de medición, ya que algunos de los métodos de aforo podrían representar una inversión económica considerable. El método de molinete implica una inversión considerable para la adquisición del instrumento de medición, aunque hay que tomar en cuenta que es uno de los métodos que proporcionan datos más exactos de caudal. La inversión económica para aplicar el método de vertederos dependerá de las dimensiones y del tipo de obra física que se requiera para conformar el sistema de vertederos, en el cual se incluye el vertedero mismo y las obras civiles aguas arriba en caso de ser necesario, que contribuyan a que el flujo sea laminar y cuantificable con este método. Si el monitoreo será constante y durante un período de tiempo prolongado, la inversión en la construcción de vertederos y obras de mitigación aguas arriba, resultará menor a largo plazo y evitará el transporte de otro tipo de equipo de medición. El método de flotador resulta ser el más económico, sin embargo es recomendado solamente si los datos de caudal serán utilizados únicamente para tener una idea de la cantidad de agua disponible y no se requiere de tanta exactitud en los resultados.



3. Precisión de los datos.

La precisión es un factor importante al elegir una metodología de aforo ya que no todos los métodos son iguales en este sentido. Si se requiere de gran precisión se recomienda utilizar el método de molinete, teniendo el cuidado de dividir el cuerpo de agua en secciones si fuese necesario. También puede utilizarse el método de vertedero ya que con este método se pueden obtener resultados muy confiables si la obra física ha sido construida adecuadamente y si se tiene el cuidado de limpiar la acumulación de cualquier tipo de obstáculo arrastrado por la corriente antes de cada medición. Si no se requiere tanta precisión puede elegirse el método del flotador, ya que este nos dará la idea del caudal; pero, los datos obtenidos con éste están expuestos a muchos errores humanos si no se tiene el cuidado necesario para contrarrestarlos. El método volumétrico también está expuesto a errores humanos que pueden modificar ligeramente los resultados, sin embargo es muy confiable si se sabe aplicar correctamente y si las condiciones del lugar permiten su uso.

5.2.6 ESTABLECIMIENTO DE LOS RECURSOS A UTILIZAR PARA LA EJECUCIÓN DEL MONITOREO HÍDRICO.

La planificación de los recursos a utilizar debe ser tal que permita optimizar aquellos con los que ya se cuenta, con la finalidad de realizar el monitoreo de la forma más sencilla, económica y confiable.

Dentro de los parámetros que hay que tener en cuenta para una planificación óptima de recursos se pueden nombrar:



- Metodología a utilizar: dependiendo del método a aplicar para el aforo así será la inversión tanto en recurso humano como en equipo y herramientas para la ejecución de las actividades.
- Movilización al lugar de medición: si se poseen varios puntos de monitoreo debe revisarse cuidadosamente el tiempo necesario para transportarse a cada lugar, con la finalidad de planificar las actividades de medición para una cantidad óptima de puntos de monitoreo en el mismo día. Esto contribuye a optimizar recursos en combustible y tiempo.
- Duración del monitoreo y frecuencia del muestreo: si se va a realizar un monitoreo constante en un lapso largo de tiempo, es conveniente llevar a cabo un monitoreo de indicadores de calidad en campo auxiliándose de kits de medición in situ, aunque implica una mayor inversión económica inicial, resulta mejor que enviar muestras para análisis de laboratorio por cada gira de mediciones, además de que permite tener el equipo disponible para cuando sea necesario utilizarse. En cuanto a cantidad, la elección de la metodología no depende directamente de la duración del monitoreo sino más bien de la precisión requerida en los datos.

5.2.7 FRECUENCIA DE MUESTREO.

La frecuencia de muestro dependerá de lo que se pretenda realizar con los datos obtenidos:

- Inventario de cuerpos de agua:



Si solo se quiere realizar un inventario bastará con monitorear el punto una vez. Sin embargo si se quiere tener un inventario actualizado es recomendable realizar una medición en época de verano y otra en época de invierno.

- Levantamiento de una línea base de datos de cantidad e indicadores de calidad de agua: para conformar una línea base de datos es necesario realizar mediciones constantes en un mismo punto, procurando realizarlas en el mismo sitio todas las veces que se realice. Se recomienda llevar a cabo las mediciones por lo menos una vez cada 15 días durante época de invierno y de verano.
- Obtención de caudal base: si lo que se pretende es recolectar datos de caudal para obtener un flujo base, los datos de caudal deben ser obtenidos como mínimo dos veces al mes durante la época de verano.
- Recolección de datos históricos de caudales: cuando lo que se pretende es tener un registro de los caudales de un cuerpo de agua en constante observación y de alto interés ambiental, se sugiere la medición una vez al mes para la conformación de las tablas estadísticas que describan la tendencia, ya sea de incremento o decremento de la cantidad de agua. Estos valores al mismo tiempo permiten obtener un caudal anual que quedará registrado en los datos históricos disponibles para cualquier planificación de obras en un punto de interés del cuerpo de agua o para hacer comparaciones futuras del cambio de este parámetro.

Como lo demuestran los ejemplos anteriores, la frecuencia de muestreo tiene relación directa con los objetivos que se pretenden alcanzar con el monitoreo.



5.3. CONTROL DE CALIDAD DE MUESTREO EN CAMPO.

Al realizar un análisis fisicoquímico in situ, los resultados obtenidos en éste están sujetos a agentes externos tal como el clima del lugar, que pueden modificar los resultados, debido a que no se cuenta con la infraestructura adecuada o necesaria para aislar el sitio de monitoreo, además de estar sujetos al error humano. A causa de estos factores se debe implementar un control de calidad para la ejecución de las actividades del monitoreo hídrico.

Un control de calidad es una metodología a seguir en campo, que se elabora previamente al desarrollo del monitoreo hídrico, tomando en cuenta todas las etapas que éste implica.

Con el control de calidad se pretende, disminuir los errores en campo ocasionados por la falta de conocimiento o planificación, por parte del equipo de monitoreo hídrico, aumentando el grado de confianza de los resultados que se han obtenido en campo y la interpretación de éstos.

El control de calidad de un monitoreo hídrico, está conformado por los siguientes apartados.

5.3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EJECUCIÓN DEL MONITOREO HÍDRICO

Al inicio de un monitoreo hídrico, deben tomarse medidas de prevención que permitan la disminución de la modificación de la veracidad de los resultados por los factores externos. A continuación se enumeran, las actividades sugeridas como aquellas de mayor relevancia.

- A. Al utilizar por primera vez un kit, o cualquier otro equipo para medición de parámetros de calidad, los resultados obtenidos por éste en un punto de monitoreo, deben ser confrontados con los resultados de los análisis realizados



en un laboratorio certificado, practicados a una muestra de agua del mismo sitio.

- B. Si no hay un previo conocimiento de la metodología a seguir para el manejo y uso del equipo de medición de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, es recomendable consultar a personal capacitado en el uso del mismo, con el fin de establecer el procedimiento correcto a seguir en las posteriores actividades de medición.
- C. Se debe realizar un etiquetado, de acuerdo al parámetro a cuantificar, de los recipientes donde se recolectaran las muestras de agua, con el fin de evitar que sean contaminadas con residuos de otros elementos.
- D. Antes de realizar un monitoreo hídrico, se debe elaborar un listado que incluya los insumos necesarios para el desarrollo de éste, las pruebas a realizar en campo y las muestras que se deben de tomar.
- E. Si el equipo de medición a utilizar ha estado guardado por mucho tiempo, debe realizarse una limpieza general al kit de calidad con el que se efectuaran los análisis.
- F. Antes de realizar un monitoreo hídrico, debe verificarse que el contenido de los reactivos del kit de calidad, sea suficiente para el desarrollo de las pruebas.
- G. Se debe de corroborar, que las graduaciones volumétricas, de los instrumentos utilizados sean visibles.
- H. No se debe colocar lubricante a los instrumentos utilizados para la toma de muestras de agua en el monitoreo de calidad, ya que pueden ser contaminantes y modificar los resultados.
- I. Si alguna parte del kit de calidad se encuentra deteriorado, debe remplazarse por partes nuevas.



5.3.2 CONTROL DE CALIDAD EN LA EJECUCIÓN DEL MONITOREO.

Al desarrollar el monitoreo hídrico en campo, se deben de tomar medidas de prevención, que permitan, la disminución de los factores externos, que puedan modificar los resultados y la veracidad de estos. A continuación se enumeran, las actividades que a criterio del grupo de trabajo de grado, tienen mayor relevancia.

- A. Cuando se realiza la toma de muestras en campo, éstas deben provenir de flujos en movimientos y no de aguas retenidas.
- B. Al ser tomada la muestra, no debe de tener contacto directo con la persona que la sustrae, de lo contrario, podría ser contaminada.
- C. La limpieza de los recipientes para toma de muestras, previo al análisis químico, debe realizarse con el agua a analizar, con el fin de evitar la acumulación de residuos de agentes contaminantes o sales disueltas.
- D. Al momento de realizar el análisis fisicoquímico del agua, el kit de calidad debe ser ubicado en un lugar adecuado para maniobrar con facilidad los instrumentos.
- E. Previo a utilizarse en agua turbia en un análisis físico químico mediante test colorimétricos debe pasar por un proceso de filtración, debido a la dificultad que ésta presenta al momento de tomar las lecturas.
- F. Se debe usar guantes para no contaminar las muestras tomadas.
- G. Los recipientes de muestreo deben taparse inmediatamente luego de colocarse los reactivos para evitar la contaminación por agentes ambientales.
- H. Las lecturas de los resultados deben realizarse en un espacio con suficiente luz, con el fin de evitar errores en la toma de datos en la escala colorimétrica.
- I. Cuando se tome una lectura verificar siempre las unidades de la escala.
- J. Al tener duda en una lectura, otra persona debe corroborar el dato de la escala.
- K. Al realizar el análisis fisicoquímico en campo, debe realizarse una comparación del resultado con valores obtenidos en giras anteriores. En el caso de que los



valores comparados difieran en gran escala, el análisis actual debe ser confirmado con una nueva medición.

- L. Luego de tomar la muestra para el análisis bacteriológico, éstas deben ser mantenidas a una temperatura entre 3 y 4 grados centígrados para evitar la reproducción de colonias.
- M. Al concluir el análisis químico, debe limpiarse los recipientes de muestreo con agua destilada para retirar residuos acumulados durante esta actividad.
- N. Almacenar los residuos de las pruebas en un recipiente para posteriormente tratarlo.
- O. Al terminar las actividades de monitoreo, debe verificarse que se hayan analizado todos los parámetros de calidad, además de que el equipo se encuentre completo y resguardado de agentes externos.
- P. Debe respetarse los tiempos de reacción de las pruebas, ya que una variación en el tiempo puede modificar los resultados
- Q. Para analizar todos los parámetros, las muestras deben ser tomadas en el mismo lugar.

5.4 MANEJO DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

Para evaluar la información generada en el monitoreo hídrico de las 6 microcuencas de la Región Rrifinio, se recomienda, hizo uso del Índice de Calidad del Agua (ICA), propuesto en el presente documento en el apartado Capítulo III, ya que para la realización de dicho modelo se tomaron en cuenta las normativas de agua potable de los países El Salvador, Guatemala y Honduras, adaptándolo a la región en estudio.

Además de ello, a través del ICA se puede evaluar, de una manera más rápida y sencilla, la calidad del agua en una región, logrando comparar los datos históricos del monitoreo y apreciando así los cambios que ha sufrido la calidad del agua en el transcurso del tiempo, además de poder comparar los resultados de los diferentes ICA aplicados a otras zonas o puntos de monitoreo similares.



CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura



CONCLUSIONES

- La recarga hídrica en Microcuenca Cusmapa, Jupula, Marroquín y Carcaj, es casi inmediata en época lluviosa y se transporta subterráneamente en medios fisurados, por lo que al momento de presentarse las precipitaciones en el área, el caudal sufre un aumento sustancial en corto tiempo.
- Conforme a los resultados obtenidos en el monitoreo hídrico de las diversas fuentes en las seis microcuencas, los tipos de contaminación comunes a ellas se encuentran por coliformes totales, Escherichia Coli, y fosfato.
- Las acumulaciones en el suelo por fosfatos y nitratos, se han presentado en todas las fuentes monitoreadas, debido al eminente uso agrícola que a dichas zonas se le ha dado con el paso de los años y las malas prácticas de uso de agroquímicos.
- Dentro de los parámetros de calidad que no han variado a lo largo del monitoreo, se encuentra la temperatura y el oxígeno disuelto, lo que implica que no ha habido factores externos que hagan cambiar su composición, tal como descomposición masiva de materia orgánica que extraiga el oxígeno en el agua, o cambios drástico en la temperatura ambiente y del suelo donde circula.
- Con base a la observación de los gráficos de variación de los parámetros de calidad monitoreados, puede establecerse que la mayoría de compuestos, se han hecho presentes por el arrastre de partículas acumuladas en el suelo, ya que no se observan valores con alzas



significativas en las semanas posteriores a las fertilizaciones en las microcuencas.

- Los impactos de la implementación de los modelos productivos en las áreas de recarga, generarán resultados cuantificables en los parámetros de calidad y cantidad de agua, una vez que la cobertura vegetal para cada modelo, llegue a su período de madurez y las prácticas de fertilización así como del uso de otro tipo de agroquímicos, se haya remplazado por prácticas amigables con el medio ambiente.

MICROCUENCA CUSMAPA

- Las parcelas productivas trabajadas por el Programa “Bosques y Agua”, no se encuentran incluidas en totalidad en el área de recarga de la fuente, sino el 29% de ellas, por lo que no todas las parcelas intervenidas en esta Microcuenca generarán impactos positivos en la cantidad e indicadores de calidad del agua en la Fuente.
- Conforme a la geología del lugar, la Microcuenca Cusmapa presenta una alta permeabilidad, ya que los estratos geológicos son altamente fisurados, por lo que el trazo del área de recarga resulta similar a la forma que presentaría si la zona fuese de estratos porosos.
- Con base al cambio de cobertura vegetal realizado en las parcelas productivas intervenidas dentro del área de recarga en Microcuenca Cusmapa, por el Programa “Bosques y Agua” mediante la siembra de café bajo sombra, el aumento de la infiltración en la zona será de 1.72 % bajo condiciones no saturadas del suelo.



MICROCUENCA JUPULA

- Las parcelas productivas trabajadas por el Programa “Bosques y Agua”, no se encuentran incluidas en totalidad en las áreas de recarga trazadas, sino el 44.4% de ellas, por lo que no todas las parcelas intervenidas en esta Microcuenca generarán impactos positivos en la cantidad e indicadores de calidad del agua en la Fuente.
- La contaminación por nitratos en Fuente Vásquez, Microcuenca Jupula en El Salvador, es notable, ya que los resultados del monitoreo se han encontrado dentro del rango de 30-50 mg/l, producto del uso de gallinaza y fertilizante 15-15-15, además de que este punto de medición es utilizado como abrevadero para ganado. Por lo cual, se ubica al límite máximo de nivel de nitrato (45 mg/l) que establece normativas de salud en la Región Trinacional.
- Las áreas de recarga trazadas en la Microcuenca Jupula, no se guían por la topografía del lugar debido a que la recarga en el acuífero se da por fracturas geológicas, lo cual implica que el área de recarga sobrepasa el límite establecido por el parte-aguas superficial.

MICROCUENCA MEZCAL

- Las parcelas productivas trabajadas por el Programa “Bosques y Agua”, no se encuentran incluidas en totalidad en el área de recarga de la fuente, sino el 28.2% de ellas, por lo que no todas las parcelas intervenidas en esta Microcuenca generarán impactos positivos en la cantidad e indicadores de calidad del agua en la Fuente.
- La recarga hídrica en Microcuenca Mezcal, es un poco más tardada que la del resto de microcuencas, por presentarse el flujo del agua en medios porosos.



- Al igual que la Fuente El Puente en la Microcuenca Carcaj, el punto de monitoreo La Barranca en la Microcuenca Mezcal, se encuentra expuesto al medio circundante, por lo que los valores obtenidos para los parámetros de calidad y caudal, se ven influenciados por la adición de escorrentía superficial y algunos contaminantes externos como la acumulación natural de materia orgánica.

MICROCUENCA CARCAJ

- Las parcelas productivas trabajadas por el Programa “Bosques y Agua”, no se encuentran incluidas en totalidad en el área de recarga de la fuente, sino el 59.3% de ellas, por lo que no todas las parcelas intervenidas en esta Microcuenca generarán impactos positivos en la cantidad e indicadores de calidad del agua en la Fuente.
- El agua de los puntos de monitoreo El Puente y Viertentón Quequesque, provienen del mismo nacimiento, sin embargo, el punto de medición El Puente, se encuentra a una distancia considerable del lugar de nacimiento del agua, por lo que la interacción de ésta con el medio circundante, provoca diferencias en los valores obtenidos para ambas fuentes, como es el caso del Oxígeno Disuelto, resultando rangos mayores para El Puente producto del proceso de aireación en el recorrido.

MICROCUENCA SAN JUAN BUENAVISTA

- Las parcelas productivas trabajadas por el Programa “Bosques y Agua”, no se encuentran incluidas en totalidad en el área de recarga de la fuente, sino el 42.3% de ellas, por lo que no todas las parcelas intervenidas en esta Microcuenca generarán impactos positivos en la cantidad e indicadores de calidad del agua en la Fuente.



- La forma del área de recarga de la Fuente La Lagunilla, no es del tipo tradicional, debido a la presencia de algunos manantiales en la zona que contribuyen al aumento del caudal en este punto, además de ser una zona de recarga fracturada.
- La Fuente Arivas no presentará cambios cuantificables a partir de la intervención de las parcelas productivas en la Microcuenca, debido a que ninguna de ellas se encuentra dentro de su área de recarga.

MICROCUENCA MARROQUÍN

- Las parcelas productivas trabajadas por el Programa “Bosques y Agua”, no se encuentran incluidas en el área de recarga de la fuente, por lo que los impactos generados a partir de las acciones tomadas en las parcelas productivas, no se reflejarán en esta fuente.
- A partir del trazo del área de recarga de la Fuente El Escondido, se identificó en la parte superior de la misma, un área boscosa que no está siendo intervenida por actividades antropogénicas, lo cual permite que los cambios en los rangos de los parámetros físico-químicos del agua, sean mínimos a lo largo del monitoreo hídrico.



RECOMENDACIONES

- Debido a la presencia de coliformes totales en todas las fuentes monitoreadas en la Región Trifinio, los cuerpos de agua destinados a consumo humano deben pasar previamente por un proceso de potabilización, tal como el uso del método SODIS, que elimina familias de bacterias mediante altas temperaturas.
- Continuar con el monitoreo tanto de la cantidad como de los parámetros de calidad monitoreados en el presente trabajo de grado e ingresarlos en la plataforma Arc-GIS creada, de modo que se continúe el registro histórico de la calidad de dichas fuentes.
- Realizar monitoreos a las fuentes destinadas para consumo humano de los parámetros de calidad que se encuentran reglamentados en las normativas de salud y que no fueron considerados para el monitoreo del presente trabajo de grado, con la finalidad de garantizar su total aceptabilidad.
- En la Microcuenca Mezcal, es conveniente continuar el monitoreo hídrico solamente en la Fuente La Barranca, debido a que el punto de monitoreo El Puente, es vulnerable a la influencia del Río Ostúa por localizarse en la rivera de dicho cuerpo de agua.
- Para futuros proyectos de mejoramiento de los indicadores de calidad de agua en una fuente, en los cuales se considere cambios de prácticas agrícolas, es preciso realizar un monitoreo hídrico de la cantidad de agua previo a la intervención de los suelos en la zona, para establecer el área de influencia sobre la fuente de interés.



- Debido al tiempo necesario para que los modelos productivos implementados por el Programa Bosques y Agua generen un impacto significativo en las fuentes monitoreadas, tanto en cantidad como en indicadores de calidad, es preciso continuar con las mediciones hídricas en dichas fuentes.
- Debido a que el área de recarga trazada para la Fuente El Escondido, Microcuenca Marroquín, no incluye ninguna parcela productiva, es necesario que si se quiere generar un impacto relevante, el Programa “Bosques y Agua” debe considerar la elección de parcelas dentro de dicha área.
- Debido a que el área de recarga trazada para la Fuente Arivas, Microcuenca San Juan Buenavista, no incluye ninguna parcela productiva, es necesario que si se quiere generar un impacto relevante, el Programa “Bosques y Agua” debe considerar la elección de parcelas dentro de dicha área.



BIBLIOGRAFÍA

- ✓ SICA. "El Plan Trifinio, su concepción, sus objetivos y perspectivas". 1991.
- ✓ Oscar Danilo Matus Silva, CATIE. "Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la Subcuenca del Río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua". 2007.
- ✓ Gloria Raquel Rodas Velásquez, CATIE. "Manejo y gestión de zonas de recarga hídrica de microcuencas y fuentes de agua para consumo humano en Honduras". 2008.
- ✓ Evelia del Carmen Martínez Quijano - Rafael Stanley Cano Funes, Universidad de El Salvador. "Evaluación de los medios de vida y la calidad y cantidad del agua de la Subcuenca del Río Jupula, Chalatenango, El Salvador". 2008.
- ✓ Ing. Agr. Miguel Ángel Hernández, Universidad de El Salvador. "El sistema de información geográfica, una herramienta para la gestión de los recursos naturales". 2007.
- ✓ Thomas Brock - David Smith - Michael Madigan. "Microbiología". Cuarta edición, México.
- ✓ Philip Carpenter. "Microbiología". Segunda edición, México.
- ✓ Ronald Atlas - Richard Bartha. "Ecología microbiana y microbiología ambiental". Cuarta edición.
- ✓ Prescott - Harley - Klein. "Microbiology". Tercera edición.
- ✓ Francisco Aparicio Mijares. "Fundamentos de hidrología de superficie". 1989.



- ✓ Deposito de documentos de la FAO. “Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos”.
- ✓ Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable 2008, NSO 13.07.01:08, El Salvador
- ✓ Norma guatemalteca obligatoria para Agua Potable COGUANOR. NGO 29.001.98, Guatemala
- ✓ Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable, Honduras, 1995



ANEXOS



Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura



ANEXO A-1. Tablas resumen de los datos obtenidos durante el monitoreo hídrico.

MICROCUENCA CUSMAPA																
FUENTE: LA ZARCA																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	4,054	2,288	2,057	1,955	1,955	5,17	5,877	7,3	6,61	6,67	10,12	11,67	17,95	18,07	11,39	8,83
TEMPERATURA (°C)	28,7	27,2	27,48	27,3	26,82	26,96	27,06	26,72	26,28	26,6	27,8	26,6	27,3	27,1	27,3	27,18
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	156	150,68	150,58	152,02	151,86	161,26	155,66	154	156	156,1	152,2	167,7	168,2	160,8	162,04	160,06
pH	7-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	7,0-7,5	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	7,0-7,5	7,0-7,5
NITRATO	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	3,0-5,0	5,0-10,0	5,0-10,0	10,0-20,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	3,0-5,0	5,0-10,0
OXIGENO DISUELTO	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	3,0-4,0	4,0-6,0	*	*
FOSFATO	2,0-3,0	1,0-2,0	1,0-2,0	0,7-1,0	0,5-0,7	0,7-1,0	1,0-2,0	0,7-1,0	0,5-0,7	0,5-0,7	0,7-1,0	0,7-1,0	1,0-2,0	0,7-1,0	0,7-1,0	1,0-2,0
AMONIO	0,0-0,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	144	162	72	72	72	72	72	72	54	54	54	90	72	72	54	54
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	13	8	38	40	***	8	72	6	8	9
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	0	1	1	0	***	0	0	0	0	2
UFC	**	**	**	**	**	**	13	9	39	40	***	8	72	6	8	11
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
** Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																
*** Problemas de incubación, lo cual imposibilitó conteo de UFC																

MONITOREO HÍDRICO EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO



MICROCUENCA JUPULA																
FUENTE: POSADA																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	1,253	0,894	0,784	0,771	0,892	7,775	9,66	4,33	4,57	1,94	7,121	3,23	2,93	4,36	7,45	3,47
TEMPERATURA (°C)	17,52	18,32	18,32	17,32	18,08	17,22	16,9	16,98	17,5	17,8	17,7	16,6	17,2	17,1	17,16	16,82
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	244,6	230,6	238,6	249,2	243,4	186,66	203	208	210,8	213,8	207,8	219,6	209,2	221,8	200,6	228,8
pH	6,5-7,0	6,5-7	6,5-7	6,5-7	7,0-7,5	6,5-7	6,5-7	6,5-7,0	6,5-7,0	6,0-6,5	6,0-6,5	6,5-7,0	6,0-6,5	6,5-7,0	6,0-6,5	6,5-7,0
NITRATO	3	3,0-5,0	3,0-5,0	1,0-3,0	1,0-3,0	5,0-10,0	10,0-20,0	5,0-10,0	3,0-5,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	10,0-20,0	10,0-20,0	5,0-10,0
OXIGENO DISUELTO	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	3,0-4,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	3,0-4,0	*	*	*
FOSFATO	1,0-2,0	1,0-2,0	0,7-1,0	0,3-0,5	0,5-0,7	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-1,0	0,7-1,0	0,5-0,7
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	198	108	144	108	108	90	90	90	108	126	108	108	90	90	90	108
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	7	280	2	3	0	75	7	44	1	4
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UFC	**	**	**	**	**	**	7	280	2	3	0	75	7	44	1	4
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
**Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																

MICROCUENCA JUPULA																
FUENTE: VASQUEZ																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	0,616	0,4	0,58	0,715	0,563	1,334	2,05	0,475	2,43	0,81	3,31	1,61	1,23	1,17	1,97	1,12
TEMPERATURA (°C)	16,64	17,22	17,62	17,46	17,6	17,16	16,7	16,88	18	17,2	17,4	16,5	17,1	16,9	16,8	19,16
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	197,92	198,92	201,6	203,2	201,4	176,46	190,4	188,72	197,5	194,2	197,7	215	205	201	197	202
pH	6,5-7,0	6,5-7	6,5-7	6,5-7	7,0-7,5	6,5-7	6,5-7	6,5-7,0	7,0-7,5	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0
NITRATO	2,0-3,0	30-50	30-50	20-30	20-30	20-30	30-50	20-30	20-30	10,0-20,0	10,0-20,0	5,0-7,0	5,0-7,0	30-50	30-50	30-50
OXIGENO DISUELTO	4,0-6,0	3,0-4,0	3,0-4,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	3,0-4,0	3,0-4,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	*	*	*
FOSFATO	0,3-0,5	0,5-0,7	0-0,2	0,2-0,3	0,5-0,7	0,2-0,3	0,3-0,5	0,0-0,2	0,5-0,7	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,3-0,5	0,5-0,7
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	180	108	126	108	90	72	72	90	72	108	90	90	72	90	72	90
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	18	30	4	26	35	81	17	44	6	49
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
UFC	**	**	**	**	**	**	18	30	4	26	35	81	17	45	6	50
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
**Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																

MONITOREO HÍDRICO EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO



MICROCUENCA JUPULA																
FUENTE: LA MONTAÑITA																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	0,374	1	1,08	0,766	1,23	29,42	39,93	31,75	31,13	28,86	37,12	285,8	23,17	28,73	31,43	15,8
TEMPERATURA (°C)	17,34	16,66	18,38	18,78	19,22	17,14	18,2	16,43	16,7	18,6	16,1	15,4	17,12	16,5	15,14	16,8
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	132,48	114,82	97,22	85,7	86	75,9	70,8	77,88	74,1	69	72,18	29,5	73,96	72	69,82	72,84
pH	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,5-8,0	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	7,0-7,5	6,5-7,0
NITRATO	0-1,0	0-1	0-1	0-1	0-1	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0	0,0-1,0	1,0-3,0	1,0-3,0	3,0-5,0	3,0-5,0	1,0-3,0	1,0-3,0	0,0-1,0
OXIGENO DISUELTO	6,0-8,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	*	*	*
FOSFATO	0,2-0,3	0,2-0,3	1,0-2,0	0-0,2	0,5-0,7	ND	0,2-0,3	0,2-0,3	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,3-0,5	0,3-0,5	0,2-0,3	0,2-0,3	0,0-0,2
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	90	54	90	54	36	36	36	54	36	54	36	36	36	36	36	36
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	**	480	520	52	1840	220	1208	220	280	288
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	**	3	3	1	3	6	10	0	0	1
UFC	**	**	**	**	**	**	**	483	523	53	1843	226	1218	220	280	288
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
**Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																

MICROCUENCA MEZCAL																
FUENTE: LA BARRANCA																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun-2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	24,064	24,415	28,22	22,75	17,64	34,63	26,44	31,66	27,47	64,76	72	65,01	146,4	191,43	172,16	170,36
TEMPERATURA (°C)	25,5	26,62	26,18	27,1	26	26,54	26	25,32	24,8	25,2	25,8	25,3	25,3	26,2	25,34	24,7
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	188,58	186	186,24	189,34	186,8	194,66	190,96	189,42	187,8	185,7	183,1	193,8	180	177,7	184,9	186,14
pH	7,0-7,5	7-7,5	7,5-8,0	7-7,5	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	7,0-7,5	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0
NITRATO	5,0-10,0	3,0-5,0	5,0-10,0	5,0-10,0	3,0-5,0	3,0-5,0	5,0-10,0	5,0-10,0	3,0-5,0	3,0-5,0	5,0-10,0	5,0-10,0	3,0-5,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0
OXIGENO DISUELTO	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	*	*	*
FOSFATO	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	1,0-2,0	1,0-2,0	1,0-2,0	2,0-3,0	1,0-2,0	0,7-1	2,0-3,0	0,7-1	0,2-0,3	1,0-2,0	1,0-2,0	2,0-3,0
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	108	90	72	108	72	72	72	108	90	72	72	90	90	72	72	72
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	**	360	520	260	1600	***	480	280	480	160
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	**	20	0	0	11	***	2	1	1	22
UFC	**	**	**	**	**	**	**	380	520	260	1611	***	482	281	481	182
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
**Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																
***Problemas de incubación, lo cual imposibilitó conteo de UFC																

MONITOREO HÍDRICO EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO



MICROCUENCA MEZCAL																
FUENTE: EL PUENTE																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	0,494	0,506	0,482	0,503	0,49	**	**	**	0,34	0,32	0,356	0,21	0,34	0,34	0,48	0,24
TEMPERATURA (°C)	28,22	28,48	28,34	28,12	27,36	**	**	**	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	28,1	27,74	27,68
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	232,4	233,2	235	233,4	238,8	**	**	**	241	234,8	237,8	251,8	114,7	237	240,4	237,6
pH	7,5-8,0	7-7,5	7,5-8,0	7-7,5	7-7,5	**	**	**	7,0-7,5	7,0-7,5	7,5-8,0	7,0-7,5	7,5-8,0	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5
NITRATO	3,0-5,0	3,0-5,0	5,0-10,0	3,0-5,0	3,0-5,0	**	**	**	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0	5,0-10,0	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0
OXIGENO DISUELTO	4	4,0-6,0	3,0-4,0	4,0-6,0	4,0-6,0	**	**	**	3,0-4,0	3,0-4,0	3,0-4,0	4,0-6,0	3,0-4,0	*	*	*
FOSFATO	2,0-3,0	3,0-5,0	1,0-2,0	2,0-3,0	0,7-1,0	**	**	**	1,0-2,0	1,0-2,0	1,0-2,0	0,7-1,0	1,0-2,0	1,0-2,0	1,0-2,0	1,0-2,0
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	**	**	**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	198	144	108	108	90	**	**	**	90		90	108	90	90	90	90
COLONIA DE COLIFORME	***	***	***	***	***	***	**	**	34	10	apagaron incubadora	16	15	16	52	19
ESCHERICHIA COLI	***	***	***	***	***	***	**	**	0	1		0	0	2	0	0
UFC	***	***	***	***	***	***	**	**	34	11	16	15	18	52	19	
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
**Tubería obstruida debido a Tormenta Agatha																
***Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																

MICROCUENCA CARCAJ																
FUENTE: EL PUENTE																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun-2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	1,66	1,049	7,038	3,027	59,14	60,17	56,36	52,55	63	141,48	70,49	**	**	274,55	85,16	57,34
TEMPERATURA (°C)	20,9	21,56	28,32	25,2	21,42	24,98	20,6	23,2	21,9	16,9	23,3	**	**	21	19,84	20,1
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	376	355	347,6	234	243,6	270,2	175,6	320,6	235,4	226	268	**	**	219,4	293,4	318,4
pH	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	8,0-8,5	8,0-8,5	8,0-8,5	7,0-7,5	8,0-8,5	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,0	**	**	7,5-8,0	7,5-8,0	8,0-8,5
NITRATO	1	3,0-5,0	1,0-3,0	0-1,0	3,0-5,0	5,0-10,0	5,0-10,0	3,0-3,5	0,0-1,0	1,0-3,0	5,0-10,0	**	**	1,0-3,0	3,0-3,5	3,0-5,0
OXIGENO DISUELTO	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	8,0-10	6,0-8,0	**	**	*	*	*
FOSFATO	0,5-0,7	0,5-0,7	0,5-0,7	0,5-0,7	0,2-0,3	0,3-0,5	ND	0,3-0,5	0,2-0,3	0,5-0,7	0,5-0,7	**	**	0,2-0,3	0,3-0,5	0,3-0,5
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**	**	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	234	234	216	234	108	180	180	198	108	180	180	**	**	126	180	162
COLONIA DE COLIFORME	***	***	***	***	***	***	147	340	195	960	280	**	**	85	90	80
ESCHERICHIA COLI	***	***	***	***	***	***	9	2	21	9	6	**	**	20	2	2
UFC	***	***	***	***	***	***	156	342	216	969	286	**	**	105	92	82
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
** Medición no realizada debido a deslaves en el camino que conducía a punto de monitoreo																
***Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																

MONITOREO HÍDRICO EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO



MICROCUENCA CARCAJ																
FUENTE: EL QUEQUESQUE																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	38,15	34,58	36,63	31,47	43,66	61,393	75,8	61,69	73,49	67,21	76,25	**	**	96,87	83,36	109,39
TEMPERATURA (°C)	23,84	22,5	24,1	23,74	24,12	24,74	21,8	23,76	22,4	22,2	23	**	**	21	21,68	21,4
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	360,2	363,2	355,6	353	284,4	268,6	307,6	325,8	329,8	327,8	322,8	**	**	219,4	327,4	334,8
pH	7,0-7,5	7,5-8,0	7,0-7,5	7,5-8,0	7,0-7,5	7,5-8,0	7,5-8,0	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,5-8,0	**	**	7,5-8,0	7,0-7,5	7,0-7,5
NITRATO	3,0-5,0	3,0-5,0	0-1,0	1,0-3,0	3,0-5,0	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0	3,0-5,0	3,0-5,0	1,0-3,0	**	**	1,0-3,0	3,0-5,0	3,0-5,0
OXIGENO DISUELTO	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	6,0-8,0	6,0-8,0	**	**	*	*	*
FOSFATO	1,0-2,0	0,7-1,0	0,5-0,7	0-0,2	0,2-0,3	0,2-0,3	ND	0,0-0,2	0,2-0,3	0,5-0,7	0,5-0,7	**	**	0,2-0,3	0,3-0,5	0,2-0,3
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**	**	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	234	252	216	180	144	180	90	72	198	216	216	**	**	126	180	198
COLONIA DE COLIFORME	***	***	***	***	***	***	33	31	34	18	11	**	**	85	7	240
ESCHERICHIA COLI	***	***	***	***	***	***	4	0	4	3	0	**	**	20	0	5
UFC	***	***	***	***	***	***	37	31	38	21	11	**	**	105	7	245
	* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.															
	** Medición no realizada debido a deslaves en el camino que conducía a punto de monitoreo															
	***Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.															

MICROCUENCA SAN JUAN BUENA VISTA																
FUENTE: EL SHUPTIE																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun-2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	0,738	0,647	1,375	0,721	1,39	10,22	26,5	3,71	8,22	9,46	7,66	8,12	7,52	4,5	5,31	1,54
TEMPERATURA (°C)	16,92	18,46	19,6	18,92	19,32	18,12	18,5	17,64	17,6	18,3	18,56	18,1	17,94	18,8	16,66	15,92
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	46,84	45,5	38,98	48,3	48,86	35,78	33,5	37,34	33,6	34,8	33,6	42,2	37,56	41,24	32,54	43,74
pH	6,5-7,0	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	7,0-7,5	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	7,0-7,5
NITRATO	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	1,0-3,0	0-1	0-1
OXIGENO DISUELTO	8,0-10	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	6,0-8,0	4,0-6,0	6,0-8,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	4,0-6,0	4,0-6,0	*	*	*
FOSFATO	ND	0,7-1	0,3-0,5	0-0,2	0-0,2	0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,2-0,3	0,0-0,2	0,0-0,2	0,2-0,3	0,5-0,7	0,0-0,2	0,0-0,2
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	72	72	72	90	54	18	72	72	36	18	126	36	108	36	18	18
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	160	300	17	320	100	135	200	180	340	83
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0
UFC	**	**	**	**	**	**	161	302	17	320	100	137	200	180	340	83
	* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.															
	**Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.															

MONITOREO HÍDRICO EN SEIS MICROCUENCAS DE LA REGIÓN TRIFINIO



MICROCUENCA SAN JUAN BUENA VISTA																
FUENTE: ARIVAS																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	0,753	1,4	2,185	0,754	3,07	10,089	38,32	7,128	9,25	21,19	26,74	22,42	8,36	9,54	8,37	3,14
TEMPERATURA (°C)	14,18	17,7	17,72	16,98	18,96	18,08	17,6	16,48	16,9	16,9	17,1	16,36	16,68	17,9	15,62	14,7
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	29,5	36,34	32,5	31,42	26,24	17,88	16,9	21,74	19,9	18,5	18,48	20,52	22,32	22,4	20,28	24,1
pH	6,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0	6,5-7,0
NITRATO	ND	0-1	0-1	ND	0-1	0-1	0-1	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	1,0-3,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0
OXIGENO DISUELTO	8,0-10	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	4,0-6,0	*	*	*
FOSFATO	0-0,2	0,5-0,7	0,5-0,7	0-0,2	0-0,2	0,7-1,0	0,7-1,0	ND	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,3-0,5	0,0-0,2
AMONIO	ND	ND	0,5-1,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	144	36	54	72	36	18	54	72	18	18	36	36	18	18	18	18
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	26	63	22	400	20	86	39	28	70	24
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0
UFC	**	**	**	**	**	**	27	63	22	402	20	86	39	28	71	24
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
**Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																

MICROCUENCA SAN JUAN BUENA VISTA																
FUENTE: LA LAGUNILLA																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	1,661	0,786	1,191	1,453	2,91	8,847	15,1	6,28	17,4	15,7	11,37	13,7	4,3	7,84	22,4	4
TEMPERATURA (°C)	15,6	19,62	18,5	19	19,02	19,1	19,2	18,1	18,2	19	18,7	18,44	20,1	20,84	16,28	16,66
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	81,18	141,5	96	93,78	69,86	58,38	52,9	69,14	63,6	57,2	60,38	67	79,5	60,16	66,2	67,88
pH	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7-7,5	7-7,5	6,5-7,0	7,0-7,5	6,5-7,0	6,5-7,0	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5
NITRATO	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	1,0-3,0	0,0-1,0	0,0-1,0	1,0-3,0	1,0-3,0	3,0-5,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0-1
OXIGENO DISUELTO	6,0-8	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	*	*	*
FOSFATO	0-0,2	0,3-0,5	0-0,2	0,2-0,3	0,2-0,3	0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,0-0,2	0,5-0,7	0,3-0,5	0,5-0,7	ND	0,5-0,7
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	90	162	54	72	54	72	36	54	54	36	72	36	36	54	36	36
COLONIA DE COLIFORME	**	**	**	**	**	**	160	140	50	560	85	117	32	120	78	87
ESCHERICHIA COLI	**	**	**	**	**	**	2	0	1	4	1	0	0	0	1	0
UFC	**	**	**	**	**	**	162	140	51	564	86	117	32	120	79	87
* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.																
**Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.																



MICROCUENCA MAROQUIN																
FUENTE: EL ESCONDIDO 1																
ELEMENTO	GIRA 1 (16-27 marzo)	GIRA 2 (5-6 abril)	GIRA 3 (19-23 abril)	GIRA 4 (3-4 mayo)	GIRA 5 (17-21 mayo)	GIRA 6 (01-04 jun)	GIRA 7 (14-18 jun)	GIRA 8 (29 de jun 2 jul)	GIRA 9 (12-16 jul)	GIRA10 (27-30 jul)	GIRA 11 (10-13 agos)	GIRA 12 (24-27 agos)	GIRA 13 (7-10 sep)	GIRA 14 (20-24 sep)	GIRA 15 (5-8 de oct)	GIRA 16 (18-22 oct)
CAUDAL(ltrs/s)	0,575	0,531	1,259	0,988	2,32	2,925	**	2,5	15,95	8,725	7,756	3,8	5,13	6,68	4,83	1,44
TEMPERATURA (°C)	21,2	22,42	22,32	23,14	23,14	23,56	**	22,44	22,6	23,3	23,36	22,4	22,7	21	19,46	20,36
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	45,04	46,72	53,94	52,62	49,58	39,26	**	43,54	32,1	36,68	36,36	43,5	46,3	42,3	42,22	45,54
pH	7-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	**	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5	7,0-7,5
NITRATO	ND	ND	0-1	0-1	0-1	0-1	**	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	3,0-5,0	0,0-1,0	0,0-1,0
OXIGENO DISUELTO	6,0-8,0	4,0-6,0	6,0-8,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	**	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	*	*	*
FOSFATO	0,2-0,3	1,0-2,0	1,0-2,0	0,5-0,7	0,5-0,7	0,7-1,0	**	0,7-1,0	0,5-0,7	0,7-1,0	0,7-1,0	0,7-1,0	0,2-0,3	0,5-0,7	0,7-1,0	0,7-1
AMONIO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DUREZA TOTAL	54	108	36	36	36	36	**	54	36	18	18	18	18	18	18	18
COLONIA DE COLIFORME	***	***	***	***	***	***	**	20	56	75	63	118	140	113	54	77
ESCHERICHIA COLI	***	***	***	***	***	***	**	0	0	1	0	2	1	1	0	3
UFC	***	***	***	***	***	***	**	20	56	76	63	120	141	114	54	80

* Parámetros de calidad no medidos, debido a insumos insuficientes para realizar la prueba.

**Medición no realizada, debido a derrumbe en el camino.

***Metodología aun no definida para la realización de prueba bacteriológica.



ANEXO A-2. Ejemplo de tablas de cálculo para el ICAUES/RT Microcuenca Cusmapa, gira 1.

GIRA 1: 16-27 MARZO			
COMPONENTE AMBIENTAL IMPACTADO: SER HUMANO			
PARAMETRO	PESOS RELATIVOS (wi)	VALORACIÓN POR PARÁMETRO (Subi)	ICA
pH	0,125	100	12,5
NITRATO (mg/l)	0,208	100	20,8
FOSFATO (mg/l)	0,125	0	0,0
AMONIO (mg/l)	0,125	100	12,5
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	0,125	100	12,5
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA(μSm/cm)	0,042	91	3,8
TEMPERATURA (°C)	0,021	100	2,1
OXIGENO DISUELTO(mg/l)	0,021	100	2,1
UFC (100 ml)	0,208	0	0,0
TOTAL	1,000		66,3
		CALIDAD	REGULAR

GIRA 1: 16-27 MARZO			
COMPONENTE AMBIENTAL IMPACTADO: VIDA ACUÁTICA			
PARAMETRO	PESOS RELATIVOS (wi)	VALORACIÓN POR PARÁMETRO (Subi)	ICA
pH	0,164	100	16,4
NITRATO (mg/l)	0,036	100	3,6
FOSFATO (mg/l)	0,091	0	0,0
AMONIO (mg/l)	0,036	100	3,6
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	0,164	100	16,4
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA(μSm/cm)	0,127	91	11,6
TEMPERATURA (°C)	0,182	100	18,2
OXIGENO DISUELTO(mg/l)	0,182	100	18,2
UFC (100 ml)	0,018	0	0,0
TOTAL	1,000		87,9
		CALIDAD	BUENA



ANEXO 3. Ejemplo de cálculo para la delimitación del área de recarga. Microcuenca Cusmapa, Fuente La Zarca.

Como primer paso, se realizó el trazo del parte-aguas de la fuente La Zarca, a partir del uso de imágenes satelitales y las herramientas de la plataforma ArcGIS versión 9.3, para posteriormente, identificar el tipo de cobertura vegetal de la zona y obtener el valor del área para cada tipo de cobertura, así como también para el área de recarga identificada, a través del uso de herramientas de cálculo del programa.

Para el cálculo del área de recarga de forma numérica, a partir de la aplicación de la metodología expuesta en el Capítulo III, se hizo uso de las siguientes tablas elaboradas en Microsoft Excel, con la finalidad de facilitar los cálculos necesarios:

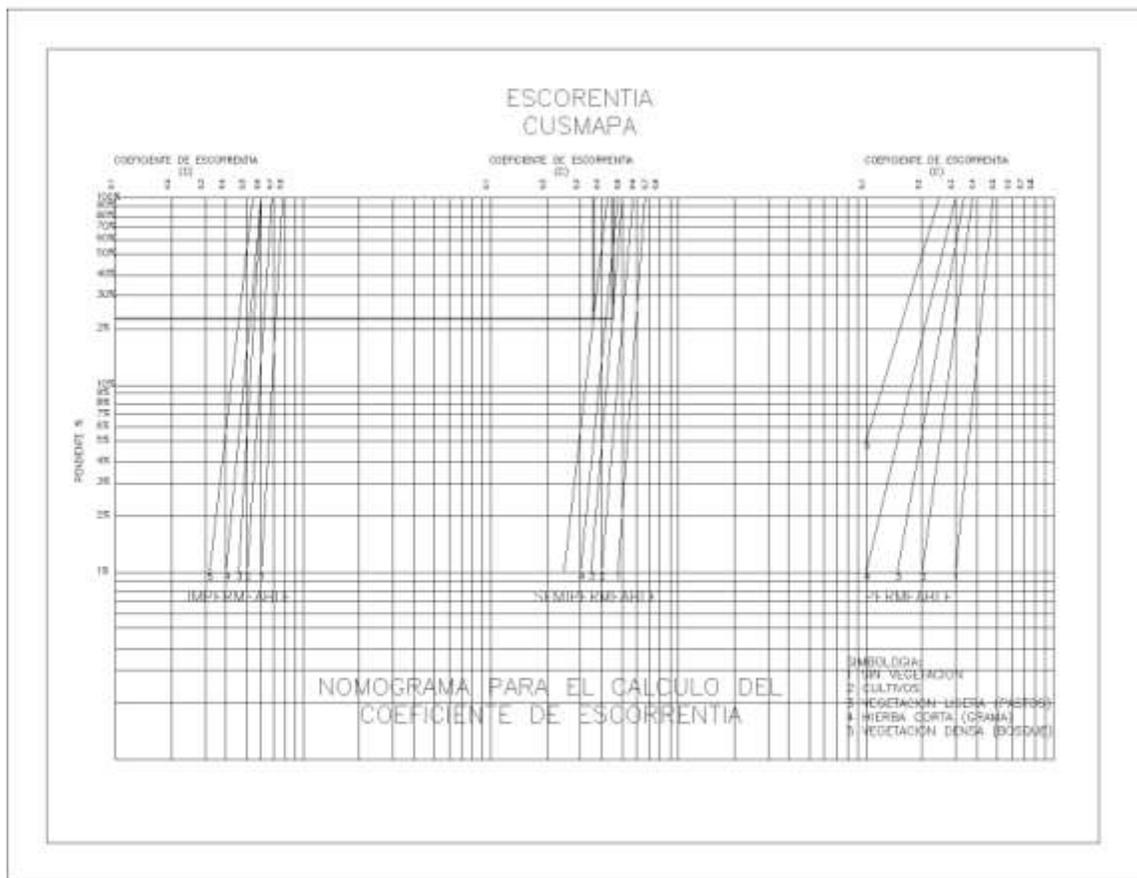
DATOS GENERALES	
Nombre De La Microcuenca	CUSMAPA
Nombre De la Fuente	LA ZARCA
Precipitación Anual Max	1600
Precipitación Anual min	1200
Precipitación Anual Med	1400
Elevación Max	825
Elevación Min	624
Longitud Del Cauce	624
% Pendiente	23,7

La tabla anterior muestra los datos generales y básicos de la Microcuenca, utilizados para las posteriores operaciones matemáticas. Las celdas rojas de las tablas muestran los datos que deben ser introducidos.



Tipo De Cobertura Vegetal	Ce	CI=1-Ce
Vegetación Densa (Bosque)	0,36	0,64
Hierba Corta (Gramma)	0,00	1,00
Vegetación Ligera (pasto)	0,45	0,55
Cultivos		1,00
Sin Vegetación		1,00

El coeficiente de escorrentía es resultado de la introducción de la pendiente del área resultante del trazo del parte-aguas, en el nomograma de Ven Te Chow, mostrado a continuación, e interceptando este valor, con las gráficas para tipos de suelo semipermeable.





Posteriormente, se hizo uso de la siguiente tabla para realizar el cálculo tanto del coeficiente de infiltración por cobertura vegetal, como del coeficiente de infiltración ponderado:

Tipo De Cobertura Vegetal	Área M2	Porcentaje	CI	CI Ponderado
Vegetación Densa (Bosque)	84063	32,20	0,64	0,20
Hierba Corta (Gramina)	0	0,00	1,00	0,00
Vegetación Ligera (pasto)	176979	67,80	0,55	0,37
Cultivos	0	0,00	1,00	0,00
Sin Vegetación	0	0,00	1,00	0,00
Total	261042	100,00		0,58

La pendiente se obtuvo considerando las elevaciones del punto de interés, en este caso la fuente La Zarca, y la parte más alta del parte-aguas.

Se realizó el cálculo de los caudales, tanto para invierno considerado como excedente, entendido como la diferencia entre el caudal base y el obtenido en dicha época, además del caudal base utilizado, a partir de la tabla de caudales obtenidos del monitoreo hídrico.



fecha de gira	Caudal
16-27 marzo	4,05
6-9 abril	2,29
20-23 abril	2,06
4-7 mayo	1,96
18-21 mayo	1,96
01-04 jun	5,17
15-18 jun	5,88
29jun-2jul	7,30
13-16 jul	6,61
27-30 jul	6,67
10-13 Agos	10,12
24-27 Agos	11,67
7-10 sept	17,95
21-24 Sept	18,07
5-8 Oct	11,39
19-22 Oct	8,83
Caudal invierno	Caudal Base
7,51	2,46

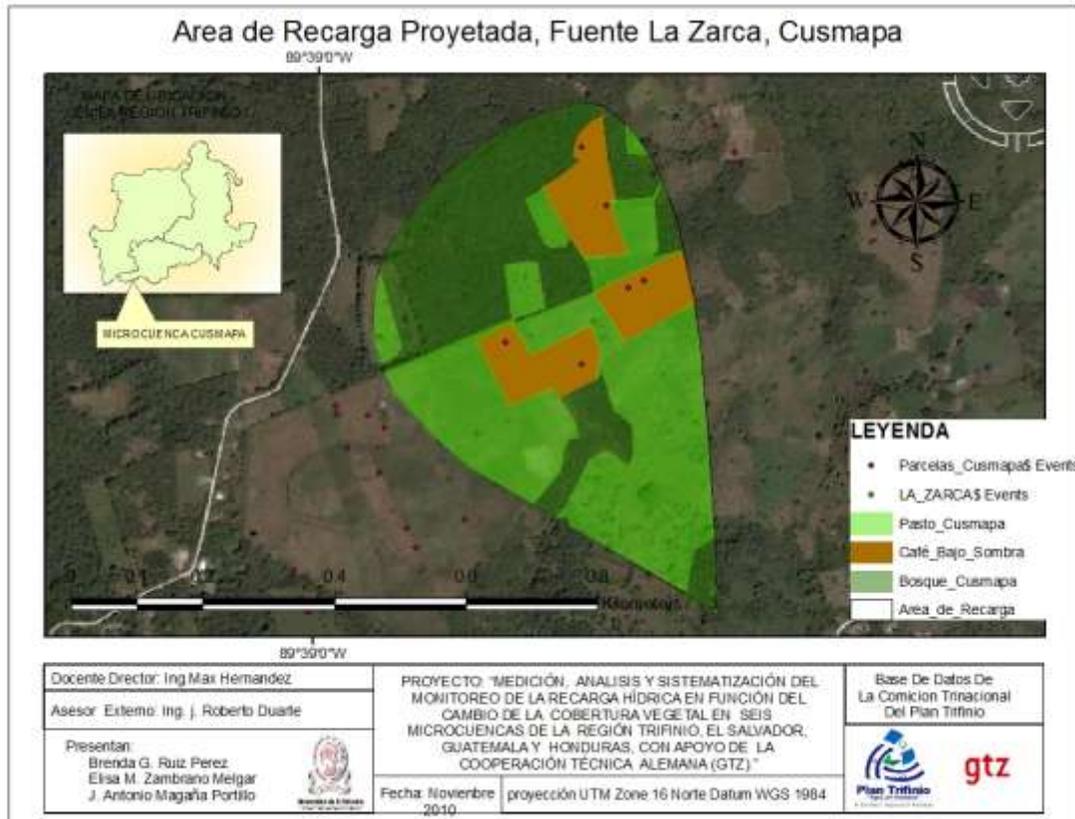
Como último paso, se calculó con la siguiente tabla con fórmulas, el área de recarga para la fuente de interés. La fórmula de la cual se auxilia la tabla para el cálculo, es la presentada como ecuación 3-11 en el capítulo III:

$$A=Qe*T/I \text{ (ec.3-11)}$$

AREA DE RECARGA CALCULADA=	242996,69 M2	AREA DE RECARGA TRAZADA	261042,00 M2
AREA DE RECARGA CALCULADA=	34,77 MZ	AREA DE RECARGA TRAZADA	37,35 MZ
AREA DE RECARGA CALCULADA=	24,30 HEC	AREA DE RECARGA TRAZADA	26,10 HEC
AREA DE RECARGA CALCULADA=	0,24 KM2	AREA DE RECARGA TRAZADA	0,26 KM2



ANEXO 4 Área de Recarga Proyectada Fuente la Zarca, Cusmapa



Fuente: Elaboración propia



ANEXO A-4. Resultados de la validación en laboratorio para los parámetros de calidad, por la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente.




INSTITUTO DEL AGUA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
APARTADO 1918, SANTA ANA, EL SALVADOR, C.A.

TELÉFONO (503) 2484-6888

INFORME DE LABORATORIO

No 01- 2010

Pag. 1 de 1

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS:

Procedencia	: Río
Tipo de muestra	: Simple
Ubicación	: Benanca, microcuenca Mezcal
Municipio	: Santa Catarina Mila
Departamento	: Jutiapa, Guatemala
Fecha y hora de muestreo	: 19 de octubre de 2010, 2:10 p. m
Tomó la muestra	: Br. José Antonio Magaña
Fecha de recepción	: 19 de octubre de 2010
Fecha de análisis	: 19 de octubre de 2010
Solicitante	: Br. José Antonio Magaña

ANÁLISIS PRACTICADOS:

Determinación Físico-química	Unidades	Método	Resultados	NSD 13.07.01-04
pH	—	Potenciométrico	7.50	6.0 – 8.5
Conductividad	µS/cm	Directo	189.3	—
Fosfato	mg/l	Colorimétrico	0.40	—
Amonio	mg/l	Nessler	0.013	—
Nitratos	mg/l NO ₃	Reducción	11.00	45.00
Dureza Total	mg/l CaCO ₃	EDTA	71.6	500.00
Oxígeno disuelto	mg/l	Winkler	7.4	—
Determinación Bacteriológica				
Coliformes totales	UFC/100 ml	Membrana filtrante	17,100	0
E. Coli	UFC/100 ml	Membrana filtrante	3,300	0


 Vilma de Cabelero
 Garante de Calidad



INSTITUTO DEL AGUA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
APARTADO 1969, SANTA ANA, EL SALVADOR, C.A.

TELÉFONO (503) 2434 2000

INFORME DE LABORATORIO

No 01- 2010

Pag. 1 de 1

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS:

Procedencia : Manantial
 Tipo de muestra : Simple
 Ubicación : La Zerca, microcuenca Cuamapa
 Municipio : San Antonio Pajonal
 Departamento : Santa Ana
 Fecha y hora de muestreo : 19 de octubre de 2010, 11:00 a. m.
 Tomó la muestra : Br. José Antonio Magaña
 Fecha de recepción : 19 de octubre de 2010
 Fecha de análisis : 19 de octubre de 2010
 Solicitante : Br. José Antonio Magaña

ANÁLISIS PRACTICADOS

Determinación Físico-química	Unidades	Método	Resultados	NSQ 13.07.01.04
pH	--	Potenciométrico	8.74	6.0 – 8.5
Conductividad	µS/cm	Directo	160.8	--
Fosfatos	mg/l	Colorimétrico	0.29	--
Amonio	mg/l NH ₄ ⁺	Nessler	0.013	--
Nitratos	mg/l NO ₃	Reducción	17.60	45.00
Dureza Total	mg/l CaCO ₃	EDTA	60.8	500.00
Oxígeno disuelto	mg/l	Winkler	5.3	--
Determinación Bacteriológica				
Coliformos totales	UFC/100 ml	Membrana filtrante	900	0
E. Coli	UFC/100 ml	Membrana filtrante	200	0


 Wilma de Caballero
 Gerente de Calidad