

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**“EVALUACIÓN DE LOS MEDIOS DE VIDA Y LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL
AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO JUPULA,
Chalatenango, El Salvador”**

POR:

EVELIA DEL CARMEN MARTINEZ QUIJANO
RAFAEL STANLEY CANO FUNES

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO AGRONOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ

SECRETARIA GENERAL:

LIC. M. Sc. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO: ING. AGR. Dr. REYNALDO ADALBERTO LOPEZ LANDAVERDE

SECRETARIO: ING. AGR. M.Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

ING. AGR. BALMORE MARTINEZ SIERRA

DOCENTES DIRECTORES

ING. AGR. M.Sc. MARIO ANTONIO ORELLANA NUÑEZ

ING. AGR. M.Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

ING. AGR. M.Sc. JOSE MIGUEL SERMEÑO CHICAS

ING. AGR. M.Sc. ANDRES WILFREDO RIVAS

RESUMEN

La investigación fue realizada en la subcuenca del río Jupula, ubicada en el Municipio de San Ignacio, departamento de Chalateango, durante el periodo de enero de 2007 a marzo de 2008. El estudio consistió en el monitoreo durante las épocas seca y lluviosa del año dos mil siete y época seca del año dos mil ocho, del caudal del río en tres puntos estratégicos, utilizando un molinete hidráulico; georeferenciación y aforo de manantiales; delimitación de áreas de recarga a partir de ubicación de manantiales y fallas geológicas locales y, posterior cálculo de la recarga acuífera subterránea potencial con la ayuda de los Sistemas de Información Geográficos; determinación de la calidad física, química y microbiológica del agua del río mediante análisis realizados en los laboratorios de la Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (PROCAFE), comparados posteriormente con los parámetros establecidos para aguas superficiales aptas para consumo humano, uso agrícola, pecuario y recreativo; evaluación de los medios de vida y los recursos con los que cuentan las comunidades de la subcuenca Jupula, para determinar las actividades productivas, y estrategias de sobrevivencia de las que dependen. Finalmente, la identificación de estrategias orientadas a la solución de la problemática de la cantidad y la calidad del agua de la subcuenca del río Jupula, a partir de la información obtenida durante las visitas y giras de campo realizadas. Durante la época seca, el caudal del río en la parte alta se mantiene en el tiempo debido a que en esta zona se encuentra el 100% de las áreas de recarga acuífera y la mayor cantidad de manantiales de la subcuenca; no así en la parte baja, en donde a causa de las derivaciones construidas para regar cultivos, el caudal se ve disminuido hasta casi cero. Condición que es contraria durante la época lluviosa, en donde el caudal de la parte baja del río se ve incrementado llegando a 887 lt/s, ya que es en este punto en donde se acumula el agua de toda el área de la subcuenca. En cuanto al agua del río, se considera que durante la época seca es de buena calidad, pudiendo ser utilizada para diversas actividades como regadío, pecuario y recreacional, sin embargo, no puede ser utilizada para consumo humano debido a que presenta restricciones microbiológicas por la presencia de bacterias coliformes

aunque en niveles muy reducidos. Durante la época lluviosa, dicha calidad se ve reducida debido a que el arrastre de sedimentos incrementa la presencia de diferentes elementos químicos, y microorganismos en el agua del río.

En lo que concierne a los medios de vida, éstos se basan principalmente en actividades agropecuarias, empleo de fuerza laboral como jornaleros y las remesas familiares, dejando en segundo plano pero no menos importantes, actividades como la albañilería, tiendas, comedores, pequeños negocios, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

- **A DIOS PADRE TODO PODEROSO Y A JESUCRISTO SU HIJO:** por darnos esmero, constancia, paciencia, y sobre todas las cosas, AMOR al trabajo y mucha Fe.
- **A NUESTROS PADRES Y MADRES:** por todos sus esfuerzos y sacrificios, pues si no fuera por su ayuda, no hubiéramos logrado llegar a este punto.
- **A NUESTROS ASESORES:** por confiar en nosotros y apoyarnos a lo largo del desarrollo de nuestra investigación
- **A LA POBLACION DE LAS COMUNIDADES DE LA SUBCUENCA DEL RIO JUPULA:** por su amabilidad, gentileza y cariño
- **A LAS PERSONAS QUE NOS AYUDARON Y RECIBIERON EN SUS HOGARES:** niña Abelina, niña Lilian Pineda y don Carlos Vásquez, gracias de todo corazón.

DEDICATORIA

- A DIOS PADRE TODO PODEROSO, por haberme dado la vida, y crearme a su imagen y semejanza. Por enseñarme lo que es la dedicación y la paciencia, por permitirme sufrimientos y alegrías, triunfos y fracasos, por educarme con un poco de hambre y un poco de frío, por lo que tengo y lo que no, este trabajo es para ti Señor.
- A MI MADRE, mujer abnegada, por sufrir conmigo este largo camino. Por enseñarme todo lo que sé de la vida y por ser cimiento de la misma. Por sus consejos y regaños, por su esfuerzo.
- A MI PADRE, por educarme en mi niñez y adolescencia, y transmitirme valores morales que ahora pongo en práctica para ser un hombre de bien.
- A MI HERMANO, por acompañarme en toda mi carrera, por ser mi amigo y cómplice.
- A TODA MI FAMILIA, por estar a mi lado, apoyándome incondicionalmente.
- A MI COMPAÑERA DE TESIS, pues sin su ayuda, dedicación, y palabras de aliento, el trabajo no hubiera sido posible.
- A MIS MAESTROS, por compartir conmigo sus conocimientos y educarme para ser un profesional de bien para la sociedad, y además, por su amistad.
- A MIS COMPAÑEROS DE CLASES, por compartir amistad conmigo, y disfrutar en conjunto, nuestra carrera.
- A MIS AMIGOS, Héctor, Alan, Ferman, Rico, Miguel, Ricardo, Kiko, Pepe, Henry y Carlos, por compartir muchos momentos conmigo.
- A MIS AMIGAS, Vero, Caro, Karol, María José, Karina, Irene, Lizz, Keny, Karina Díaz y Sarita, y de manera especial a Yess y Kathy, por todo su cariño, apoyo y palabras de aliento.

RAFAEL CANO

DEDICATORIA

- Dedico este trabajo a NUESTRO PADRE DIOS TODO PODEROSO, por darme la vida y la fortaleza para poder lograr este objetivo de mi vida y por guiarme por una vida de llena de felicidad.
- A mi madre ALBA MARINA QUIJANO quien me dio la vida y se ha esforzado y sacrificado por su hijo e hijas toda su vida para poder sacarnos adelante una familia unida en el amor de Dios y con valores humanos hasta el día de hoy.
- A mi padre JOSE HECTOR MARTINEZ que ha trabajó para que yo pudiera estudiar una carrera universitaria.
- A mi compañero de clases y trabajo de graduación RAFAEL STANLEY CANO FUNES, que me ha apoyado durante mucho tiempo y por ser parte importante en mi vida.
- A mis hermanas GUADALUPE MARTINEZ QUIJANO, MARINA ELIZABETH MARTINEZ QUIJANO y mi hermano HECTOR WILFREDO MARTINEZ QUIJANO quienes me apoyaron durante toda mi vida y a mis sobrinos (as) quienes me brindan cariño y alegría.
- A toda mi familia de quienes siempre he recibido apoyo y amor.
- A SONIA FUNES de quien he recibido mucho cariño y apoyo durante los últimos años, además de muchos consejos.
- A mis asesores de trabajo de graduación LUIS FERNANDO CASTANEDA, MARIO ANTONIO ORELLANA NUÑEZ, especialmente y a las personas de las comunidades especialmente a mi amiga ABELINA y DON CARLOS quienes me brindaron apoyo cuando lo necesite durante el desarrollo de este trabajo.

- A todos los docentes que me educaron desde la preparatoria hasta la Universidad y a las demás personas quienes en algún momento estuvieron guiándome por el camino de la superación.
- A todos mis amigos de la escuela, de la universidad y compañeros de clase por compartir su tiempo, alegrías y tristezas conmigo, especialmente KARINA CASTRO, IRENE SULEYMA, IRMA CONCEPCION, KAREN VERONICA, LUCIA MURILLO, JOAQUIN, SINDY, LILIANA, CAROLINA, ADELAYDA, DINA MENDEZ, IVAN RICO.

EVELIA MARTINEZ

INDICE

Contenido	
Resumen	iv
Agradecimientos	vi
Dedicatoria	vii
Índice de cuadros	xv
Índice de figuras	xvii
Índice de anexos	xix
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura.	3
2.1 Los Medios de Vida.	3
2.1.1. Logros de medios de vida sostenibles “Impacto”	3
2.1.2. Activos que influyen en los Medios de Vida	4
2.1.3. El Pentágono de Activos o de Capitales	5
2.1.3.1. Capital Humano	5
2.1.3.2. Capital Social	6
2.1.3.3. Capital Natural	6
2.1.3.4. Capital Físico	7
2.1.3.5. Capital Financiero	8
2.2 El agua	9
2.2.1 La Contaminación del agua	9
2.2.1.1. Contaminantes químicos.	10

2.2.1.2. Contaminantes orgánicos	10
2.2.1.3. Contaminantes microbiológicos	10
2.2.1.4. Qué es la contaminación por metales pesados	11
2.2.1.5. Daños para la salud	11
2.2.2 Calidad del agua	12
2.2.2.1. Norma Salvadoreña obligatoria para calidad de agua potable.	14
2.2.2.2. Parámetros de calidad de agua para diferentes usos	16
2.3 Microbiología del agua	18
2.3.1 Elementos de microbiología y bacteriología del agua	18
2.3.2 Gérmenes indicadores de contaminación fecal	19
2.3.3 La calidad bacteriológica del agua potable	20
2.3.4 Elección de indicadores microbianos de la calidad del agua	21
2.4 Métodos de análisis	22
2.4.1 Método de tubos múltiples	22
2.4.2 Método de membrana filtrante	23
2.5 Física del agua.	24
2.5.1 pH	24
2.5.2 Turbidez	25
2.5.3. Oxígeno disuelto (OD)	27
2.5.4. Demanda Biológica de Oxígeno ó Requerimiento de Oxígeno Biológico (DBO ó ROB).	28
2.5.5. Demanda Química de Oxígeno ó Requerimiento de Oxígeno Químico (DQO ó ROQ).	29
2.5.6. Conductividad	29
2.5.7. Temperatura (T°)	30
2.5.8. Sólidos Totales Disueltos (SDT)	30
2.6 Química del agua	31
2.6.1 Aluminio	31

2.6.2. Arsénico	32
2.6.3. Bario	34
2.6.4. Berilio	35
2.6.5. Boro	37
2.6.6. Cadmio	38
2.6.7. Cromo	40
2.6.8. Cobre	42
2.6.9. Manganeso	43
2.6.10. Mercurio	44
2.6.11. Plomo	46
2.6.12. Selenio	49
2.6.13. Zinc	51
2.6.14. Nitratos y Nitritos	53
2.7 Muestreo	54
2.7.1. Cadena de vigilancia	54
2.7.2. Intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis	55
2.7.3. Requisitos básicos en la toma de muestras	56
2.8 Aforo de agua	56
2.8.1. Molinetes	58
2.8.2 Vertedores	59
2.9 Recarga acuífera	59
2.9.1 Recarga acuífera subterránea	61
2.9.2 Criterios considerados en la recarga acuífera	61
3. Materiales y métodos.	62
3.1 Descripción del sitio en estudio	62
3.2 Metodología de talleres de medios de vida	62
3.3 Elección de los puntos de muestreo	63
3.4 Toma, manejo y transporte de las muestras	64
3.5 Metodología de análisis químico y bacteriológico del agua	65
3.6 Medición de caudal	65

3.6.1	Método de molinete	65
3.6.2	Medición de caudal con vertedero	66
3.7	Metodología para estimación de recarga acuífera subterránea	
	Potencial	67
4.	Resultados y discusión	70
4.1	Medios de Vida Sostenible	70
4.1.1	Capital Físico.	72
4.1.2	Capital Social.	74
4.1.3	Capital Financiero	76
4.1.4	Capital Natural	77
4.1.5	Capital Humano	78
4.1.6	Choque e Impactos	79
4.1.7	Evaluación de capitales (físico, humano, financiero, social y natural) a través de pentágonos, en los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito, de la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2007	81
4.2.	Análisis de calidad físico-química y microbiológica del agua del río Jupula	83
4.2.1	Agua para consumo humano	83
4.2.2	Agua para uso agrícola	87
4.2.3	Agua para uso pecuario	88
4.2.4	Agua para uso recreacional	89
4.3	Análisis de cantidad de agua del río Jupula	90
4.3.1	Análisis de resultados de medición de caudal en el cauce del Río Jupula en el mes de abril de 2007	90
4.3.2	Análisis de resultados de medición de caudal en el cauce del río Jupula en el mes de septiembre de 2007.	91
4.3.3	Análisis de resultados de medición de caudal en el cauce del Río Jupula en el mes de marzo de 2008	91
4.4	Análisis de Recarga Acuífera Potencial de la	

subcuenca del río Jupula	93
4.5 Acciones orientadas a la solución de la problemática de la cantidad y calidad de agua de la subcuenca del río jupula.	96
4.5.1 Zonificaciones de protección de fuentes de agua .	96
4.5.2 Manejo recomendado de las áreas de recarga acuífera potencial	98
4.5.3 Manejo eficiente del agua de riego en la cuenca alta y media	99
5. Conclusiones	100
6. Recomendaciones	101
7. Bibliografía	102
8. Anexos	108

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características asociadas a la calidad del agua	13
Cuadro 2. Valores máximos admisibles para calidad microbiológica del agua potable	14
Cuadro 3. Valores para calidad físico-química del agua potable	14
Cuadro 4. Valores para sustancias químicas presentes en el agua potable.	15
Cuadro 5. Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud	15
Cuadro 6. Parámetros de calidad de agua para consumo humano	16
Cuadro 7. Parámetros de calidad de agua para consumo agrícola	17
Cuadro 8. Parámetros de calidad de agua para uso pecuario	17
Cuadro 9. Parámetros de calidad de agua para uso recreacional	18
Cuadro 10. Familia Entorobacteriaceae	20
Cuadro 11. Coeficientes según pendientes	68
Cuadro 12. Coeficiente según cobertura vegetal	68
Cuadro 13. Coeficiente según miembro geológico	68
Cuadro 14. Análisis de capital físico de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Rio Chiquito de la subcuenca Jupula .	72
Cuadro 15a. Análisis de capital social (organización interna) de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Rio Chiquito de la subcuenca Jupula	74
Cuadro 15b. Análisis de capital social (organización externa) de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Rio Chiquito de la subcuenca Jupula	75
Cuadro 16. Análisis de capital financiero de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Rio Chiquito de la subcuenca Jupula.	76
Cuadro 17. Análisis de capital natural de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Rio Chiquito de la subcuenca Jupula.	77
Cuadro 18. Análisis de capital humano de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Rio Chiquito de la subcuenca Jupula.	78

Cuadro 19. Análisis de choques e impactos de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Rio Chiquito de la subcuenca Jupula.	79
Cuadro 20. Análisis físico químico con fines para consumo humano, del agua del rio Jupula en los puntos de muestreo . . .	83
Cuadro 21. Análisis microbiológico con fines para consumo humano, del agua del rio Jupula en los puntos de muestreo . . .	86
Cuadro 22. Análisis físico químico con fines agrícolas del agua del rio Jupula en los puntos de muestreo . . .	87
Cuadro 23. Análisis físico químico con fines pecuarios, del agua del rio Jupula en los puntos de muestreo . . .	88
Cuadro 24. Análisis físico químico con fines recreacionales, del agua del rio Jupula en los puntos de muestreo . . .	89
Cuadro 25. Ubicación geográfica y caudales de los manantiales de la subcuenca del río Jupula, utilizados para el cálculo de recarga acuífera potencial	95

INDICE DE FIGURAS

Fig 1. Pentágono de capitales	5
Fig. 2. Escala de pH	25
Fig. 3. Sección transversal de una corriente, dividida en áreas parciales para el calculo de caudal	57
Fig. 4. Perfil de velocidad en la vertical de una sección transversal .	58
Fig. 5. a) medios de vida del cantón El Carmen; b) medios de vida del cantón El Rosario; c) medios de vida del cantón Santa Rosa; d) medios de vida del cantón Río Chiquito	70
Fig. 6a. Pentágono de evaluación de capitales del cantón El Carmen	81
Fig. 6b. Pentágono de evaluación de capitales del cantón El Rosario	81
Fig. 6c. Pentágono de evaluación de capitales del cantón Santa Rosa	81
Fig. 6d. Pentágono de evaluación de capitales del cantón Río Chiquito	81
Fig.7. Evaluación global de los Capitales de Medios de Vida de los cantones comprendidos en la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2007	82
Fig. 8. Resultados de medición de caudal en época seca del cauce del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, Abril 2007	90
Fig. 9. Resultados de medición de caudal en época lluviosa del cauce el Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, Septiembre 2007	91
Fig. 10. Resultados de medición de caudal en época seca del cauce del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, Marzo 2008	91
Fig. 11. Cronología de caudales de los puntos de muestreo del cauce del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, período 2007 – 2008	93
Fig. 12. Mapa de recarga acuífera subterránea potencial	

de la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador	94
Fig. 13a. Zona de protección mínima del manantial	97
Fig. 13b. Zona de protección de recarga del manantial.	97
Fig. 14. Mapa de uso de suelo de las zonas de recarga acuífera subterránea potencial de la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador	99

INDICE DE ANEXOS

A1. Mapa de puntos de muestreo en el cauce del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2008	108
A2. Mapa de identificación de cobertura de suelo con imagen IKONOS	109
A3. Imagen LANDSAT con resolución de pixel de 15 metros	110
A4. Mapa de fallas geológicas de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2008	111
A5. Mapa geológico de zonas de recarga acuífera de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2008	112
A6. Mapa de pendientes de las zonas de recarga acuífera de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2008	113
A7. Mapa de manantiales de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2008	114
A8. Mapa hidrogeológico y de zonas de recarga acuífera subterránea de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2008	115
A9. Mapa de salidas de agua de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2008	116

1. INTRODUCCION

El agua es un elemento vital que mantiene todos los ecosistemas y las actividades humanas. El volumen total de agua en la tierra se calcula en unos 1,500 millones de kilómetros cúbicos. El 97% de ellos se encuentra en los mares y océanos, 2% en los glaciares y zonas polares, 0.54% en las aguas subterráneas, 0.06% está en los ríos y lagos, el resto en la humedad superficial y vapor de agua atmosférico (UNES, 2007). El agua ha sido una de las principales preocupaciones de los seres humanos, ya sea por excesos (inundaciones) o por déficit (sequía). Aunque los problemas relacionados con la disponibilidad del agua siguen teniendo vigencia, recientemente el hombre se ha visto obligado a preocuparse más por otro aspecto de la misma como lo es su calidad (Villegas, 1995)

La disponibilidad de agua de calidad es una condición indispensable y más que cualquier otro factor, puesto que esta condiciona la calidad de vida. Los pocos estudios existentes resaltan el avance del problema de contaminación del agua en el país (PRISMA, 2001).

La importancia de conservar los recursos hídricos superficiales y subterráneos en calidad y cantidad, debe ser una tarea estratégica para el desarrollo de un país, por lo que el manejo sustentable de éste vital recurso en El Salvador, no debe postergarse por más tiempo y así evitar una mayor degradación del mismo, ejecutando acciones que conlleven a un manejo sostenible de los recursos naturales en armonía con las actividades humanas (SNET, 2005).

Tomando en consideración la gran importancia social, económica y medioambiental que representa el recurso hídrico en El Salvador, el Plan Trifinio a través Programa Trinacional de Desarrollo Sostenible de la Cuenca Alta del Río Lempa (PTCARL), se ha planteado la estrategia de priorizar áreas para reducir el riesgo de dispersar las inversiones. Para llevar a cabo este proceso, el PTCARL ha considerado como unidad de diferenciación, a la "subcuenca". Uno de los proyectos del PTCARL que persiguen este fin, es el denominado "Agua sin Fronteras", el cual tiene como base 4 ejes de trabajo: agua como bien económico, como bien social, como bien ambiental y como bien regional. Este último eje en su programa de desarrollo "cuidemos el agua"

tiene como uno de los componentes principales, el crear capacidades para la gestión compartida del agua, mediante el proyecto SINREM (Sincronización de Información para la participación local – regional en el Manejo de Los Recursos Naturales), y contribuir de esa forma a la toma de decisiones, y del cual forma parte la Universidad de El Salvador a través de la Facultad de Ciencias Agronómicas, para la realización de diversas investigaciones dentro de las cuales se encuentra el presente estudio.

La subcuenca del Río Jupula perteneciente al territorio salvadoreño y hondureño, es una subcuenca priorizada por el PTCARL para estudios de calidad y cantidad de agua, esto debido a su carácter binacional y en base a algunas características específicas tales como acceso, pendientes, susceptibilidad a inundaciones, susceptibilidad a erosión, masa boscosa residual con potencial para manejo, potencial de recuperación forestal y potencial de uso con mejoras (CATIE, 2004).

En la actualidad no existen registros de estudios de ningún tipo en cuanto a cantidad y calidad de agua de esta subcuenca, así como de la identificación de las diferentes actividades y estrategias de las que depende la población para obtener sus ingresos económicos. Por este motivo se, hace necesario realizar el presente estudio, el cual consiste en la evaluación de los medios de vida, la cantidad y calidad del agua, así como el cálculo de recarga acuífera subterránea potencial y la determinación de acciones orientadas a la reducción de la problemática de disponibilidad de agua en la subcuenca del Río Jupula, Chalatenango, El Salvador.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Los Medios de Vida

Medios de Vida Sostenible es una manera de pensar acerca de las metas, posibilidades y prioridades del desarrollo para acelerar el progreso en la erradicación de pobreza. Es un enfoque holístico que provee un marco para comprender las causas y dimensiones de la pobreza, sin caer en la trampa de enfocarse en unos pocos factores. Trata de apreciar las relaciones entre los diversos aspectos de la pobreza, sus causas y manifestaciones, y permite la priorización más acertada en los planes operacionales.

Un medio de vida comprende las posibilidades, activos (incluyendo recursos tanto materiales como sociales) y actividades necesarias para ganarse la vida y es sostenible cuando puede soportar tensiones y choques y recuperarse de los mismos, y a la vez mantener y mejorar las posibilidades y activos, tanto en el presente como en el futuro, sin dañar la base de recursos naturales existente. (Méndez y Herrador, 2005)

Son instrumentos que permiten analizar las causas de la pobreza a través de la identificación de los recursos disponibles y sus respectivas estrategias de sobrevivencia. El enfoque de Medios de Vida reconoce que los hogares de bajos recursos dependen, para su sobrevivencia y bienestar, de múltiples actividades las cuales son desarrolladas simultáneamente por los diferentes integrantes de un hogar, aprovechando las oportunidades y los recursos disponibles en el transcurso del tiempo. (Bran y Sanders, 2005).

Establece a la gente como el punto de partida en las actividades de desarrollo y define como criterio de éxito las mejoras sostenibles en sus medios de vida. (Méndez y Herrador, 2005)

2.1.1. Logros de medios de vida sostenibles “Impacto”

- Generación de empleo: Se relaciona con la habilidad de una combinación de estrategias de vida de generar empleo, ya sea en la finca o fuera de ella, en el sistema formal o informal. El empleo tiene tres aspectos:

- Ingresos (empleo en forma de salarios para los empleados)

- Producción (el empleo que produce un bien consumible)

- El reconocimiento (en el cual el empleo le da al individuo el reconocimiento de participar en algo que vale la pena).

En general, se ha estimado que se requiere de 200 días de empleo anual como un nivel mínimo para generar un medio de vida.

- Reducción de la pobreza: El nivel de pobreza es un criterio clave en la evaluación de los medios de vida. Varios indicadores pueden ser utilizados para desarrollar una medida absoluta de "Línea de pobreza", basado en los niveles de ingreso, consumo, acceso a servicios, etc. Como alternativa, las medidas relativas se pueden medir utilizando el coeficiente de Gini.

También estas medidas cuantitativas de pobreza pueden ser utilizadas en combinación con indicadores más cualitativos.

- Bienestar y capacidades: Este concepto va mas allá de las necesidades materiales de alimentos e ingresos, incluyendo la capacidad (o sea "*qué puede hacer o ser la gente con lo que posee*"; por lo tanto, debe ser la gente misma quien defina los criterios que hacen parte del concepto de bienestar.

Esto puede incluir elementos como la autoestima, la seguridad, la felicidad, el estrés, la vulnerabilidad, el poder, la exclusión, etc., al igual que otros elementos materiales más convencionales.

- Adaptación, recuperación y vulnerabilidad: Se refiere a la habilidad de un medio de vida de responder y recuperarse de los cambios bruscos y el estrés. Aquellos que no son capaces de responder (ajustes temporales como resultado del cambio) o adaptarse (cambios de largo plazo en las estrategias de vida) son inevitablemente vulnerables y tienen una baja probabilidad de lograr un medio de vida sostenible. (http://www.ciat.cgiar.org/agroempresas/espanol/Rec_de_infomemorias/iicurscd_cursoContenidoModulo9620lineabase_cuatro_capitalestextopdf.)

2.1.2. Activos que influyen en los Medios de Vida

La teoría de los medios de vida se centra en las personas. Su objetivo consiste en lograr una comprensión precisa y realista de los puntos fuertes de los pueblos (activos o dotaciones de capital) y su lucha por convertir estos en logros positivos en materia de medios de vida. Dicha teoría tiene como fundamento la creencia de que los pueblos necesitan de una gran cantidad de activos para lograr resultados positivos en materia de medios de vida.

2.1.3. El Pentágono de Activos o de Capitales

Este pentágono (Figura 1) se creó para facilitar la representación visual de la información sobre los activos de los pueblos, dando vida así a importantes interrelaciones entre los distintos activos.

La forma del pentágono puede utilizarse para mostrar de forma esquemática las variaciones en el acceso de los pueblos a los activos. El punto central del pentágono, donde se encuentran las distintas líneas, representa el acceso cero a los activos, mientras que el perímetro representa el acceso máximo a los mismos.

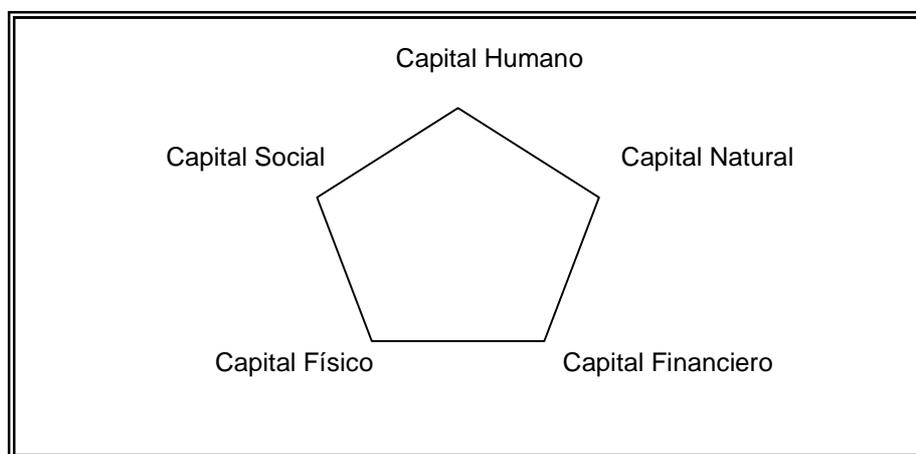


Figura 1. Pentágono de capitales

2.1.3.1. Capital Humano

Representa las aptitudes, conocimientos, capacidades laborales y buena salud que en conjunción permiten a las poblaciones entablar distintas estrategias y alcanzar sus objetivos en materia de medios de vida. A nivel de los hogares, el capital humano es un factor que determina la cantidad y calidad de mano de obra disponible. Esto

varía con el tamaño de la unidad familiar, con los niveles de formación, el potencial de liderazgo, el estatus sanitario.

¿Por qué es importante?

Es necesario para poder hacer uso de cualquiera de los otros cuatro tipos de activos. Por ello, es necesario, aunque no se basta por sí solo, para el logro de resultados es materia de medios de vida.

2.1.3.2. Capital Social

Se refiere a los recursos sociales en que los pueblos se apoyan en la búsqueda de sus objetivos en materia de medios de vida. Estos se desarrollan mediante:

- Redes y conexiones
- Participación en grupos más formalizados
- Relaciones de confianza, reciprocidad e intercambios

¿Por qué es importante?

La confianza y la reciprocidad mutuas disminuyen los costos del trabajo conjunto. Esto significa que el capital social tiene un impacto directo en otros tipos de capital:

- Mediante la mejora de las relaciones económicas, el capital social puede contribuir a aumentar los ingresos y las tasas de ahorro de los pueblos (capital financiero).
- El capital social puede contribuir a reducir el problema de los usuarios que no pagan ciertos servicios, asociado a los bienes públicos. Esto significa que puede resultar eficaz para mejorar la gestión de los recursos comunes (capital natural) y el mantenimiento de las infraestructuras compartidas (capital físico)
- Las redes sociales facilitan la innovación, el desarrollo de conocimientos y la compartición de los mismos. Existe por ello una relación estrecha entre el capital social y humano

2.1.3.3. Capital Natural

Son las partidas de recursos naturales de las que se derivan los flujos de recursos y servicios (por ejemplo, ciclos de nutrientes, protección de la erosión) útiles en materia

de medios de vida. Existe una amplia variedad de recursos que constituyen el capital natural, desde bienes públicos intangibles como la atmósfera y la biodiversidad hasta activos divisibles utilizado directamente en la producción (árboles, tierras, etc.)

¿Por qué es importante?

Nadie podría sobrevivir sin la ayuda de servicios medio ambientales clave o de los alimentos producidos a partir del capital natural. La salud (capital humano) tenderá a resentirse en áreas en las que la calidad del aire sea deficiente como resultado de actividades industriales o desastres naturales (por ejemplo; fuegos forestales). Y a pesar de que nuestros conocimientos sobre las relaciones entre los recursos son limitados, sabemos que nuestra salud y bienestar dependen del funcionamiento continuo de complejos ecosistemas (que a menudo se infravalora hasta que se detectan efectos adversos derivados de alguna perturbación de los mismos).

2.1.3.4. Capital Físico

Comprende la infraestructura básica y los bienes de producción necesarios para respaldar a los medios de vida.

- Las infraestructuras consisten en los cambios en el entorno físico que contribuyen a que las poblaciones obtengan sus necesidades básicas y sean más productivas.
- Los bienes de producción son las herramientas y equipos que utilizan las poblaciones para funcionar de forma más productiva.

Los siguientes componentes de las infraestructuras suelen ser esenciales para los medios de vida sostenibles:

- Medios de transporte asequibles;
- Alojamientos y edificios seguros;
- Suministro de agua y saneamiento adecuados;
- Energía limpia y asequible; y
- Acceso a la información (comunicaciones).

¿Por qué es importante?

Numerosas evaluaciones participativas de la pobreza han llegado a la conclusión, de que la falta de diversos tipos de infraestructuras representa una dimensión básica de la pobreza.

Sin un acceso adecuado a servicios como el agua o la energía, la salud humana se deteriora y se suceden largos períodos de dedicación a actividades no productivas, como la recogida de agua o de madera destinada a utilizarse como combustible. Los costos de oportunidad asociados con las infraestructuras deficientes, pueden imposibilitar la educación, el acceso a la asistencia médica o la generación de ingresos.

2.1.3.5. Capital Financiero

Este capital hace referencia a los recursos financieros que las poblaciones utilizan para lograr sus objetivos en materia de medios de vida.

Existen dos fuentes principales de capital financiero

- **Las partidas disponibles:** los ahorros son el tipo favorito de capital financiero, puesto que no conllevan responsabilidades asociadas y no suelen entrañar una dependencia entre los demás. Pueden adoptar diversas formas: dinero en metálico, depósitos bancarios o activos líquidos como el ganado o las joyas. Además pueden obtenerse recursos financieros a través de suministro de créditos.
- **Entradas regulares de dinero:** excluyendo los ingresos percibidos, los tipos de entradas más comunes son las pensiones u otros pagos realizados por el estado y las remesas.

No obstante, es el activo que suele estar menos disponible para los menos favorecidos.

Aunque el capital financiero tiende a ser bastante versátil, no puede resolver por sí mismo los problemas de la pobreza. Es posible que las poblaciones no puedan realizar un uso adecuado de sus recursos financieros porque:

- Carecen de conocimientos
- Estén limitados por estructuras y procesos de transformación inadecuados.

¿Por qué es importante?

El capital financiero es probablemente el más versátil de las cinco categorías de activos:

- Puede convertirse en otros tipos de capital
- Puede utilizarse para el logro directo de objetivos en materia de medios de vida

(Méndez y Herrador, 2005)

2.2. El agua

El agua, es uno de los elementos más importantes para la vida sobre el planeta Tierra. Para los seres vivos en general, el agua es un elemento vital pues no solo es parte integrante de su estructura orgánico-molecular, sino que además participa en innumerables procesos y reacciones químicas, físicas y biológicas que condicionan su propia existencia. Para los seres humanos en particular, el agua no sólo cumple ese rol orgánico-fisiológico, sino que además las propiedades físicas y químicas propias con que cuenta han determinado que el hombre la utilice en numerosas instancias de índole social, productiva o industrial. Ello sólo, justifica la necesidad y la obligación que tiene el hombre de encontrar las formas que aseguren que su inevitable accionar, no ponga en riesgo la integridad del agua como tan vital recurso y de aquellos con los que interactúa (<http://www.megasitio.org/2007/09/19/la-importancia-del-agua-en-el-planeta-tierra.html>)

2.2.1 La Contaminación del agua

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Plaguicidas, desechos químicos,

metales pesados, residuos radioactivos, entre otros, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. En este siglo es cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo. Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales las que se convirtieron en zonas, cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes (<http://www.idaan.gob.pa/importancia.htm>).

2.2.1.1. Contaminantes químicos

Generalmente provienen de desechos de industrias o productos fabricados por el ser humano, son muy tóxicos y dañinos para la salud, y se diluyen en el agua a niveles o concentraciones muy bajas y tardan varios años en evidenciar su daño al medio ambiente, animales y al ser humano. Entre las fuentes importantes de contaminantes químicos destacan los desechos y/o efluentes y derrames de las industrias o fábricas. Estos desechos tóxicos también pueden infiltrarse en el suelo y contaminar el agua subterránea que alimenta los pozos de la comunidad. Otra fuente de contaminación son los agroquímicos como plaguicidas y fertilizantes, que se usan en los campos de cultivo, y por escurrimientos de agua llevan estos productos a las quebradas, ríos y lagos y se infiltran hasta llegar a contaminar el agua subterránea (<http://www.idaan.gob.pa/importancia.htm>).

2.2.1.2. Contaminantes orgánicos

Provienen de desechos industriales, excrementos de animales y seres humanos. Se llama materia orgánica a todo compuesto que contiene carbón, como la mayoría de los alimentos, seres vivos, plantas y los desechos de éstos. Algunos compuestos orgánicos pueden dañar la salud. La mayoría no son deseables en el agua porque son una fuente de alimentación para plantas acuáticas y otros seres vivos en el

agua (microorganismos) y su presencia puede resultar en su crecimiento excesivo y agotamiento del oxígeno en el agua, alterando la vida acuática (<http://www.idaan.gob.pa/importancia.htm>).

2.2.1.3. Contaminantes microbiológicos

Los microorganismos tienen un papel importante en el ciclo de vida. Muchos microorganismos descomponen materia orgánica. Esto quiere decir que convierten a un animal muerto o una planta en tierra, energía (calor), y nutrientes y son fuente de alimentación para otros organismos en la cadena alimenticia. Sin embargo, ciertos microorganismos pueden hacer daño a otros seres vivos. Un microorganismo que causa enfermedad se le llama patógeno y puede vivir en el agua. El agua que consumimos puede contaminarse en la fuente, pero también puede contaminarse después de ser recaudada. La contaminación puede ocurrir en el transporte del agua, en su almacenaje, y/o en el hogar.

Otros tipos de contaminación: Pueden ocurrir por derrame de petróleo, vertido de desechos sólidos, aguas con altas temperaturas, sustancias radioactivas, etc. (<http://www.idaan.gob.pa/importancia.htm>).

2.2.1.4. Qué es la contaminación por metales pesados

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre (antropogénicas), incluyendo la combustión de nafta con plomo, se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos. Por otro lado, las aguas residuales no tratadas, provenientes de minas y fábricas, llegan a los ríos, mientras los desechos contaminan las aguas subterráneas. Cuando se abandonan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por

lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia: los médicos griegos y romanos ya diagnosticaban síntomas de envenenamientos agudos por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en ciencia (<http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/27009.php>).

2.2.1.5. Daños para la salud

Estudios muy recientes se han ocupado de la repercusión negativa de los metales pesados en la situación del ecosistema y la salud del ser humano. Hoy día se conoce mucho más sobre los efectos de estos elementos, cuya exposición está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e incluso, con casos de muerte. La relación con niveles elevados de mercurio, oro y plomo ha estado asociada al desarrollo de la autoinmunidad (el sistema inmunológico ataca a sus propias células tomándolas por invasoras). La autoinmunidad puede derivar en el desarrollo de dolencias en las articulaciones y el riñón, tales como la artritis reumática, y en enfermedades de los sistemas circulatorio o nervioso central. A pesar de las abundantes pruebas de estos efectos nocivos para la salud, la exposición a los metales pesados continúa y puede incrementarse por la falta de una política consensuada y concreta. El mercurio todavía se utiliza profusamente en las minas de oro de América Latina. El arsénico, junto con los compuestos de cobre y cromo, es un ingrediente muy común en los conservantes de la madera. El aumento del uso del carbón, incrementará la exposición a los metales porque las cenizas contienen muchos metales tóxicos que pueden ser aspiradas hasta el interior de los pulmones. (<http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/27009.php>)

2.2.2 Calidad del agua

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, para mantener la calidad ambiental, etc. (http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua).

Calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. La calidad del agua depende principalmente del uso que se le va a dar. No es simplemente decir que: "esta agua está buena," o "esta agua está mala" (<http://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>)

Cuadro 1. Características asociadas a la calidad del agua

Características asociadas a la calidad del agua	
Características	Fuentes
Propiedades físicas	
· Color	Residuos domésticos e industriales, descomposición de materiales orgánicos.
· Olor	Aguas residuales en descomposición, residuos industriales.
· Sólidos	Abastecimiento de agua, residuos domésticos e industriales, erosión de suelos, infiltración de aguas subterráneas, residuos mineros.
· Temperatura	Residuos domésticos e industriales y mineros. Centrales.
Componentes químicos	
Orgánicos	
· Carbohidratos	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
· Grasas animales, aceites, grasas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
· Pesticidas	Residuos agrícolas
· Fenoles	Residuos industriales
· Proteínas	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Contaminantes principales	
· Detergentes	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
· Compuestos orgánicos volátiles	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
· Otros	Descomposición natural de materiales orgánicos.
Inorgánicos	
· Alcalinidad	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de

· Cloruros	aguas subterráneas. Residuos domésticos, abastecimiento de agua, infiltración de aguas subterráneas
· Metales pesados	Residuos industriales
· Nitrógeno	Residuos domésticos y agrícolas
· Acidez	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
· Fósforo	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
·	Residuos domésticos, actividades comerciales e industriales
Contaminantes principales	
· Azufre	Residuos domésticos, abastecimiento de agua, actividades comerciales e industriales.
Gases	
· Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos.
· Metano	Descomposición de residuos domésticos.
· Oxígeno	Abastecimiento de agua, actividades comerciales e industriales.
Constituyentes biológicos	
· Animales	Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento.
· Plantas	Cursos de agua abiertos y plantas de tratamiento
· Bacterias	Residuos domésticos, infiltración de aguas superficiales, plantas de tratamiento.
· Virus	Residuos domésticos.

Fuente:
e:
(http://proa.mazob.pe/bpa/opinion_del_agua.htm)

2.2.2.1. Norma Salvadoreña obligatoria para calidad de agua potable.

Cuadro 2. Valores máximos admisibles para Calidad Microbiológica del agua potable

PARAMETRO	VALOR MAXIMO ADMISIBLE		
	TECNICA		
	Filtración por membranas	Tubos múltiples	Placa vertida
Bacterias coniformes totales	0UFC/100 ml	<1.1NMP/100 ml	
Bacterias coniformes fecales	0UFC/100 ml	Negativo	
Escherichia coli	0UFC/100 ml	Negativo	
Conteo de bacterias heterótrofas, aerobias y mesófilas	0UFC/100 ml max		0UFC/100 ml
Organismos patógenos	Ausencia		

Fuente: CONACYT, 1999

Cuadro 3. Valores para calidad físico-química del agua potable

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR MAXIMO ADMISIBLE
Color aparente	-	NR	-
Color verdadero	mg/l (Pt-Co)	-	15
Conductividad	Mmho/cm a 25°C	500	1600
Olor	Nº de umbral de Olor	NR	3
Ph	-	6.0-8.5	-
Sabor	Nº de umbral de sabor	NR	1
Sólidos totales disueltos	Mg/l	300	600
Temperatura	°C	18 a 30	NR*
Turbiedad	UNT	1	5

Fuente: CONACYT, 1999

NR: No Rechazable

* De no encontrarse en el rango recomendado queda sujeto a evaluaciones de potabilidad.

Cuadro 4. Valores para sustancias Químicas presentes en el agua potable.

PARAMETRO	VALOR RECOMENDADO mg/l	VALOR MAXIMO ADMISIBLE mg/l
Acido sulfhídrico	No detectable	<0.05
Alcalinidad total como (CaCO ₃)	30.00	350.00
Antimonio	-	0.005
Calcio	-	75.00
Cloruros	25.00	250.00
Cobre	0.10	1.00
Dureza total como (CaCO ₃)	100.00	400.00
Fluoruros	-	1.50
Hierro Total	0.05	0.10
Magnesio	-	50.00
Manganeso	0.05	0.10
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	-	0.50

Nitrógeno (Kjeldah) N de NO ₂ Y NO ₃	-	1.00
Plata	-	0.10
Potasio	-	10.00 ^o
Sílice	60.00	125.00
Sodio	25.00	150.00
Sulfatos	25.00	250.00

Fuente: CONACYT, 1999

Cuadro 5. Valores para sustancias Químicas de tipo inorgánico de Alto Riesgo para la salud.

PARAMETRO	*VALOR MAXIMO ADMISIBLE mg/l
Aluminio	0.05
Arsénico	0.01
Bario	0.70
Boro	0.30
Cadmio	0.003
Cianuros	0.05
Cromo (Cr ⁺⁶)	0.05
Mercurio	0.001
Níquel	0.02
Nitrato (N)	10.00
Nitrato (NO ₃)**	45.00
Nitrito (N)	1.00
Plomo	0.01
Selenio	0.01
Zinc	5.00

Fuente: CONACYT, 1999

2.2.2.2. Parámetros de calidad de agua para diferentes usos.

Cuadro 6. Parámetros de calidad de agua para consumo humano

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR (*)
Amoníaco	N	1,0
Arsénico	As	0,05

Bario	Ba	1,0
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN ⁻	0,2
Cinc	Zn	15,0
Cloruros	Cl ⁻	250,0
Cobre	Cu	1,0
Color	Color real	75 Unid de Pt – Co
Compuestos Fenólicos	Fenol	0,002
Cromo	Cr ⁶⁺	0,05
Difenil Policlorados	Concentración de Agente activo	No detectable
Mercurio	Hg	0,002
Nitratos	N	10,0
Nitritos	N	1,0
pH	Unidades	5,0 – 9,0
Plata	Ag	0,05
Plomo	Pb	0,05
Selenio	Se	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁼	400,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0,5
Coliformes Totales	NMP	20.000 microorg./100 ml
Coliformes Fecales	NMP	2.000 microorg./100 ml

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua

(*) Todos los valores están expresados en mg/l, excepto aquellos para los cuales se presentan directamente sus unidades

Cuadro7. Parámetros de calidad de agua para uso agrícola

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR (*)
Aluminio	Al	5,0
Arsénico	As	0,1
Berilio	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,01
Cinc	Zn	2,0
Cobalto	Co	0,05

Cobre	Cu	0,2
Cromo	Cr ⁶⁺	0,1
Flúor	F	1,0
Hierro	Fe	5,0
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno	Mo	0,01
Níquel	Ni	0,2
pH	Unidades	4,5 - 9,0
Plomo	Pb	5,0
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0,1

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua

(*) Todos los valores están expresados en mg/l, excepto aquellos para los cuales se presentan directamente sus unidades.

Cuadro 8. Parámetros de calidad de agua para uso pecuario

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR (*)
Aluminio	Al	5,0
Arsénico	As	0,2
Boro	Bo	5,0
Cadmio	Cd	0,05
Cinc	Zn	25,0
Cobre	Cu	0,5
Cromo	Cr ⁶⁺	1,0
Mercurio	Hg	0,01
Nitratos + Nitritos	N	100,0
Nitrito	N	10,0
Plomo	Pb	0,1
Contenido de Sales	de masa total	3.000

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua

(*) Todos los valores están expresados en mg/l, excepto aquellos para los cuales se presentan directamente sus unidades.

Cuadro 9. Parámetros de calidad de agua para uso recreacional

Coliformes Totales	expresado en NMP	200 microorg./100 ml
Coliformes Fecales	expresado en NMP	1.000 microorg./100 ml
Compuestos Fenólicos	expresado en mg/l de Fenol	0,002
Oxígeno Disuelto	%	70 % de la concentración de saturación a la temperatura media
pH	Unidades	5,0 - 9,0
Tensoactivos	expresado en mg/l de Sustancias activas al azul de metileno	0,5

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua

2.3 Microbiología del agua

2.3.1 Elementos de microbiología y bacteriología del agua

Todo organismo debe encontrar en su medio ambiente, las unidades estructurales y las fuentes de energía necesarias para formar y mantener su estructura y organización. Dichos materiales son llamados nutrientes. Casi todos los organismos vivos requieren los siguientes nutrientes:

- Fuente de carbono
- Fuente de energía
- Fuente de nitrógeno
- Agua
- Fuente mineral

Los organismos heterotróficos son aquellos que obtienen el carbono solamente de compuestos orgánicos, es decir que viven a expensas de la materia orgánica; por otra parte, organismos autotróficos son aquellos que utilizan CO₂ como fuente de

carbono. En términos de sus requerimientos de oxígeno, se acostumbra clasificar los microorganismos como aerobios y anaerobios. Los aerobios son aquellos que requieren oxígeno libre para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales; los anaerobios son aquellos que pueden utilizar fuentes de oxígeno diferentes de la del oxígeno libre. El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y material fecal (Romero, 1999).

2.3.2 Gérmenes indicadores de contaminación fecal

El peligro mayor que puede presentarse en el agua de consumo está en la posibilidad de que recientemente se haya contaminado por aguas residuales o por excretas humanas, o incluso por materias de origen animal, eventualidad que tampoco debe excluirse. Todos los gérmenes coliformes pueden tener origen fecal y, por consiguiente, a su presencia en el agua se le dará siempre la peor interpretación posible; Así, pues, desde un punto de vista práctico se partirá del principio de que todos ellos son de origen fecal a menos que pueda demostrarse una procedencia distinta. Aparte del problema de su empleo como indicadores de contaminación fecal, todos los gérmenes del grupo coliforme son ajenos al agua y se considerará que su presencia en ésta indica, al menos, una contaminación en su sentido más amplio. La investigación de estreptococos fecales el más característico de los cuales es *Streptococcus faecalis*, puede servir para confirmar el origen fecal de la contaminación en casos dudosos. En las excretas suele haber estreptococos fecales en un número variable pero de ordinario muy inferior al de *Escherichia coli*. En el agua, estos gérmenes probablemente mueren y desaparecen en proporción semejante a la de *E. coli* y con frecuencia más pronto que otros miembros del grupo coliforme. Por consiguiente, si en una muestra de agua se encuentran bacterias coliformes, pero no *E. coli*, el hallazgo de estreptococos fecales es una prueba importante que confirma el carácter fecal de la contaminación. Los gérmenes anaerobios esporulados, el más característico de los cuales es *Clebsiela perfringens* (*Clebsiela welchi*), también están presentes con regularidad en las heces aunque por

lo general, en número mucho menor que *E. coli*. La presencia de esporas de *Cl. welchi* en un agua natural es indicio de contaminación fecal y, en ausencia de bacterias coliformes, permite suponer que se trata de una contaminación ocurrida bastante tiempo antes (OMS, 1972).

Cuadro 10. Familia Enterobacteriaceae

Tribu	Género
Escherichieae	Escherichia Edwardsiella Citrobacter Salmonella Shigella
Klebsielleae	Klebsiella Enterobacter Hafnia Serratia
Proteeae	Proteus Providencia (Proteus inconstans)
Yersineae	Yersinia
Erwinieae	Erwinia

Fuente: Orskov, 1978

2.3.3 La calidad bacteriológica del agua potable

El peligro más común y el más difundido relativo al agua potable es el de su contaminación, sea esta directa o indirecta, debido al efecto de aguas servidas, de otros desechos o de la excreta del hombre o de los animales. Si dicha contaminación es reciente y entre los factores que contribuyeron a ella se hallan agentes portadores de enfermedades entéricas transmisibles, es posible que estén presentes algunos de los organismos vivos causales de las mismas. Beber agua contaminada, o emplearla en la preparación de determinados alimentos, puede producir mayor número de

casos de infección, por lo tanto, el principal objetivo del examen bacteriológico del agua potable es la detección de contaminación fecal (OPS, 1987; OPS, 1988).

La calidad microbiológica de aguas naturales y tratadas es variable. Idealmente, el agua potable no debe contener ningún microorganismo patógeno, ni tampoco bacterias indicadoras de contaminación fecal (OPS, 1985).

2.3.4 Elección de indicadores microbianos de la calidad del agua

La realización de frecuentes exámenes para determinar si el agua contiene organismos indicadores de contaminación fecal sigue siendo el modo más sensible y específico de estimar la calidad del agua desde el punto de vista de la higiene (OMS, 1995).

El grupo coliforme incluye las bacterias de formas bacilares, aerobias y facultativas anaerobias, gram negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35°C (o a 37°C) (Romero, 1999).

Su concentración en las heces humanas se cifra en más de 100 millones de células por gramo de peso de materia fresca. Los otros gérmenes coliformes son a menudo de origen fecal, pero se multiplican igualmente en las aguas residuales y en las superficiales. Para determinar el número de éstas bacterias, se suele emplear el medio selectivo de endo (agar-fuesina-sulfito-lactosa). Después de 24 – 48 horas de incubación a 37°C se halla el número total de coliformes y a 44°C el de coliformes fecales. La declaración obligatoria de éstos gérmenes requiere de su diferenciación por medio de las pruebas bioquímicas correspondientes (serie colorimétrica, pruebas IMViC) (Rheinheimer, 1987).

Las bacterias coliformes fecales (coniformes termoresistentes) son un grupo de las bacterias coniformes totales y tienen las mismas propiedades, excepto que toleran y crecen a una mayor temperatura 44 – 44.5°, y producen indol a partir del triptofano; los organismos que poseen estas propiedades son considerados como *Escherichia coli*.

La medición de los coliformes fecales en forma específica constituye un mejor indicador de la contaminación por materia de origen fecal. Si bien la especie

predominante es la *E. coli*, que es exclusivamente de origen fecal, cepas de *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter* pueden también estar presentes en el agua contaminada por material fecal. En algunos casos, puede ser adecuado complementar el recuento de coliformes fecales con mediciones de otros grupos de organismos, por ejemplo los estreptococos fecales. Sin embargo, estos últimos incluyen otras especies que pueden multiplicarse en el suelo y en el agua superficial, especialmente con desechos vegetales en descomposición. No obstante, los estreptococos de origen fecal tienen un periodo de supervivencia en aguas subterráneas mayor al de los coliformes fecales. Estas consideraciones pueden ser relevantes en muchas áreas rurales (OPS, 1988).

2.4 Métodos de análisis

Se han desarrollado dos métodos para la detección de bacterias indicadoras en el agua: (a) el método de los tubos múltiples (TM) y (b) el método de la filtración con membrana (llamado también de membrana filtrante) (FM) (OPS, 1988).

2.4.1 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. La proporción de reacciones positivas falsas depende de las bacterias presentes en la muestra de agua y del medio empleado (OPS, 1985).

Es posible obtener un estimado del número de organismos coliformes presuntivos presentes en un determinado volumen de agua mediante la inoculación de volúmenes apropiados en un número de tubos de ensayo conteniendo un medio de

cultivo. Al incubarse se supone que cada tubo que recibió una o más bacterias viables en la inoculación mostrará el desarrollo de organismos y las reacciones positivas acordes con el medio empleado. Teniendo en cuenta que siempre se producirán algunos resultados negativos, Se puede calcular el número más probable (NMP) de organismos en la muestra original a partir del número de tubos que dieron una reacción positiva. Para ello se emplean tablas de probabilidad estadística, junto con sus límites de confianza de 95% (ver anexo 1).

El método de tubos múltiples es aplicable a todo tipo de muestras de agua: se puede usar con agua limpia, coloreada, o con agua turbia que contenga aguas residuales o lodo de agua residual, así como barro o partículas de tierra, siempre que las bacterias estén distribuidas homogéneamente en las muestras preparadas para la prueba. Teóricamente, la técnica es lo suficientemente sensible como para medir niveles bajos de bacterias en muestras de agua, aunque en ese caso tendrían que usarse como tubos o vasos de cultivo recipientes más grandes capaces de albergar mayores volúmenes de muestra; sin embargo, en circunstancias normales, el mayor volumen usado es generalmente 10ml (OPS, 1988).

2.4.2 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; con un tiempo total de 18 horas pueden obtenerse recuentos presuntivos directos de gérmenes coliformes y recuentos directos de E. coli, independientes del empleo de tablas de probabilidad (OMS, 1972).

La técnica de filtro de membrana (FM) es altamente reproducible, puede utilizarse para estudiar volúmenes relativamente grandes de muestra y proporciona resultados

numéricos más rápidos que el método de tubos múltiples. La técnica del filtro de membrana es extraordinariamente útil para controlar situaciones de urgencia en relación al agua potable y para estudiar distintas aguas naturales. Sin embargo, esta técnica tiene limitaciones, sobre todo para estudiar aguas con elevada turbidez o que contengan bacterias no coliformes. Para esta agua, y también en caso de que no se haya utilizado anteriormente la técnica de filtro de membrana, es preferible llevar a cabo pruebas paralelas mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples para demostrar la aplicabilidad y comparabilidad de aquella (APHA, 1992).

Ventajas:

- Los resultados se obtienen más rápidamente; el número de coniformes puede calcularse en menos de 24 horas, mientras que el método de tubos múltiples requiere 48 horas, siendo irrelevante si se obtienen resultados negativos o presuntamente positivos;
- Reduce el trabajo requerido y ahorra ciertos insumos y artículos de vidrio;
- Brinda resultados directos;
- Es fácil de usar en los laboratorios y hasta en el campo, mediante el empleo de equipos portátiles.

Limitaciones:

- La elevada turbiedad causada por la arcilla, algas, etc. impide la filtración de un volumen suficiente para el análisis y también puede producir depósitos en la membrana que podrían interferir con el crecimiento de las bacterias;
- La presencia de un número relativamente alta de organismos no coliformes puede interferir con la determinación de los coliformes;
- En áreas rurales puede resultar difícil obtener membranas filtrantes adecuadas y, además, pueden ser relativamente caras;
- El agua puede contener sustancias tóxicas que pueden ser absorbidas por las membranas y su retención afectar el crecimiento de las bacterias coliformes.
(OPS,1988)

2.5 Física del agua

2.5.1 pH

El pH es una medida que indica la acidez del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico (figura 2). Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. Agua que contenga más iones de hidrógeno tiene una acidez mayor, mientras que agua que contiene más iones de hidróxido indica un rango básico.

Ya que el pH puede afectarse por componentes químicos en el agua, el pH es un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente. (<http://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html> A Primer on Water Quality, Swanson, H. A. y Baldwin, H. L)

El pH está relacionado con la concentración de protones en el agua. Se define el pH

como:

$$pH = -\log[H^+]$$

(<http://www.hidritec.com/doc-parametros1.htm>)

Según la OMS (1972), la concentración máxima deseable para la aceptabilidad del agua para uso doméstico oscila entre 7.0 a 8.5, y la concentración máxima admisible oscila entre 6.5 a 9.2.

Sin embargo, el pH aceptable para el agua potable fluctúa entre 6.5 y 8.5 y estos son los valores guía propuestos (OPS, 1985).

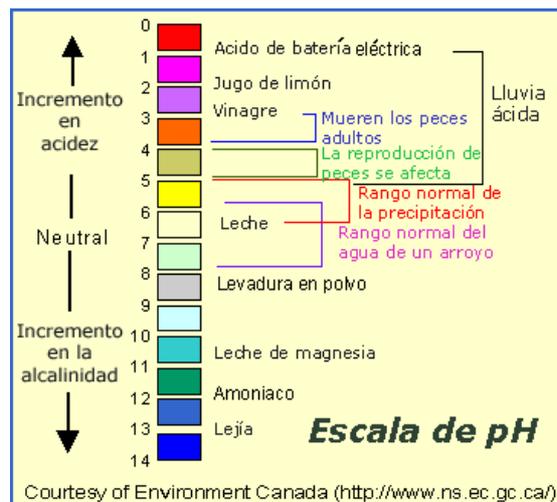


Figura 2. Escala de pH

2.5.2. Turbidez

La turbiedad en el agua se debe a la presencia de materias en suspensión, tales como arcilla, sedimentos, partículas coloidales, plancton y otros organismos microscópicos. (OPS, 1987)

La turbidez es un parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua que a su vez depende de la cantidad de sólidos en suspensión del agua que pueden ser resultado de una posible actividad biológica o simplemente una presencia de componentes no deseables. Se mide mediante la absorción que sufre un haz de luz al atravesar un determinado volumen de agua. Para eliminar esta turbidez y así mejorar la calidad del agua se usan los distintos tipos de filtros que hay en el mercado, mejorando el rendimiento con el uso de floculantes. (<http://www.hidritec.com/doc-parametros1.htm>)

A mayor intensidad de luz dispersa, mayor nivel de turbulencia. La materia que causa turbulencia en el agua incluye:

- Arcilla
- Fango
- Materia orgánica e inorgánica pequeña
- Componentes de color orgánicos solubles
- Plancton
- Organismos microscópicos

La turbiedad hace que el agua pierda su transparencia y sea opaca. La turbiedad se reporta en unidades nefelométricas (NTU por sus siglas en Inglés). Durante períodos de flujo bajo (flujo normal), muchos ríos llevan agua de un color verde claro y las turbulencias son bajas, usualmente menos de 10 NTU. Durante una tormenta, partículas de la tierra de los alrededores se introducen al río, originando que el agua se ponga de color café (por el lodo), lo cual indica que el agua tiene valores de turbulencia altos. Así mismo, durante flujos altos, las velocidades del agua se incrementan igual que los volúmenes del agua, lo cual propicia que la misma velocidad del agua revuelva las materias suspendidas en el fondo del arroyo, causando turbulencias mayores. (<http://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html>)

Un alto grado de turbiedad puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular el desarrollo de bacterias. El valor guía es de 5 unidades de turbiedad nefelométrica (UTN) o 5 unidades de turbiedad Jackson (UTJ) suele ser perceptible y, por consiguiente, desagradable para los consumidores (OPS, 1985).

Las materias en suspensión (turbidez) en el agua debe de tener una concentración máxima deseable de 5 unidades de turbidez y una concentración máxima admisible de 25 unidades de turbidez (OMS, 1972)

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada y la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Romero, 1999).

2.5.3. Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) es el que se encuentra libremente en el agua, su solubilidad es función de varios factores: temperatura, presión, coeficiente de solubilidad, tensión de vapor del gas, salinidad y composición fisicoquímica del agua. El porcentaje de saturación en O_2 de un agua depende de la turbulencia, de la superficie de contacto entre gas y agua y de la salinidad sobre todo del contenido en Cl^- .

Las aguas corrientes superficiales no polucionadas suelen estar bien oxigenadas, e incluso sobresaturadas ($>7-8$ mg/L de O_2). La oxigenación en un agua natural es mayor durante el día que en la noche, ya que en ausencia de iluminación la fotosíntesis cesa, mientras el consumo de O_2 en funciones respiratorias se mantiene (Catalán, 1987).

Aunque las moléculas del agua contienen un átomo de oxígeno, este oxígeno no está disponible para los organismos acuáticos que viven en nuestras aguas. Una pequeña parte de oxígeno, cerca de diez moléculas por un millón de partes de agua,

se encuentra disuelta en el agua. Este oxígeno disuelto es primordial para la vida de los peces y la fauna del plancton.

Un flujo rápido de agua, tal como se encuentra en un arroyo de montaña, o un río grande, tiende a contener mucho oxígeno disuelto, mientras que el agua estancada contiene poco oxígeno (<http://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html>).

El oxígeno disuelto en el agua afecta principalmente las reacciones de oxidación – reducción en las que participan el hierro, el manganeso, el cobre y compuestos que contienen nitrógeno y azufre (OPS, 1985 y OPS, 1987).

Para la vida de los peces y otros organismos es necesaria una cantidad adecuada de oxígeno disuelto (OD). También se puede asociar la concentración de OD con la corrosividad del agua, con la actividad fotosintética y con la septicidad (APHA, 1963). Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales (APHA, 1992).

La determinación de OD sirve como base para cuantificar DBO, aerobividad de los procesos de tratamiento, tasa de aireación en los procesos de tratamiento aerobio y grado de contaminación de ríos. El OD se encuentra en cantidades variables y bajas en el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente y es, por ello un factor muy importante en la autopurificación de los ríos. Los valores de OD en aguas son bajos y disminuyen con la temperatura (Romero, 1999).

La bacteria existente en el agua puede consumir oxígeno al podrirse la materia orgánica. Por lo tanto, materia orgánica en exceso en los lagos y ríos puede hacer que se escasee el oxígeno existente en el agua. La vida acuática tiene grandes problemas para poder sobrevivir en agua estancada que tiene materia orgánica pudriéndose, especialmente durante el verano cuando los niveles de oxígeno disuelto se encuentran en sus niveles estacionales más bajos (<http://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html>).

2.5.4. Demanda Biológica de Oxígeno ó Requerimiento de Oxígeno Biológico (DBO ó ROB)

Esencialmente, la llamada demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se utiliza para medir la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos presentes en el agua para la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aeróbicas. Se determina generalmente en muestras de agua incubadas a 20°C en la oscuridad, por un período de 2 días (DBO₂) o cinco (DBO₅) (Rheinheimer, 1987 y Romero, 1999).

La prueba mide el oxígeno utilizado, durante un período de incubación especificado, para la degradación bioquímica de la materia orgánica (requerimiento de carbono), y el oxígeno utilizado para oxidar la materia orgánica, como los sulfuros y el ion ferroso. Puede medir también el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas de nitrógeno (requerimiento de nitrógeno) a menos que se impida la oxidación por medio de un inhibidor (APHA, 1992).

La DBO₅ sirve para enjuiciar la contaminación del agua con sustancias desdoblables en aerobiosis y permite determinar, por consiguiente, el grado de efectividad de la autodepuración y de las instalaciones de depuración (Rheinheimer, 1987).

En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a los 5 días representa en promedio un 65 – 70% del total de la materia orgánica oxidable (Romero, 1999).

2.5.5. Demanda Química de Oxígeno ó Requerimiento de Oxígeno Químico (DQO ó ROQ)

La demanda química de oxígeno, es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. Específicamente representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida (Romero, 1999).

Este parámetro debe ser igual o mayor al DBO₅, pues están relacionados directamente. La desventaja de esta medida es que el DQO no diferencia materia orgánica e inorgánica y el tiempo requerido para la oxidación, puesto que es una

reacción que se obtiene en 3 horas. El valor recomendado para aguas superficiales de consumo humano normalmente es <20 mg/lit (Auquilla, 2005)

2.5.6. Conductividad

Conductividad, también conocida como conducción específica, es la medición o expresión numérica de la habilidad del agua para transportar corriente eléctrica. Depende en gran medida de la cantidad total de materia sólida disuelta ionizada en el agua (como la sal) y de la temperatura a la cual se realice la determinación (<http://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html> y Romero 1999).

La medida de la conductividad constituye un parámetro básico de evaluación de la aptitud del agua para riego (Romero, 1999).

Afectan la conductancia específica (conductividad) la naturaleza de las distintas sustancias disueltas, sus concentraciones reales y relativas y la concentración iónica de la muestra.

La conductancia específica se define como la recíproca de la resistencia, que se mide entre dos electrodos de 1cm² y separados 1cm (APHA, 1963).

La conductancia mide la capacidad para conducir una corriente y se expresa en ohmios recíprocos o mohos. En los análisis de agua es conveniente la unidad micromhos. Cuando se conoce y se aplica la constante celular, la constancia medida se convierte en conductancia específica o conductividad K_s recíproco de la resistencia específica. Se prefiere el término "conductividad" y por lo general se expresa en micromhos/cm (APHA, 1992).

2.5.7. Temperatura (T)

La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, estando ligada a la energía cinética media de las moléculas. Para consumo humano, el agua es más agradable cuando menor es su temperatura con un óptimo situado entre 12°-16°C. Una temperatura menor dificulta la coagulación, sedimentación y filtración de un agua en fase de potabilización. Sin embargo una temperatura más alta favorece la esterilización. En este sentido, la formación de trihalometanos (tóxicos formados por cloración de sustancias húmicas)

se incrementa con la temperatura del agua. La temperatura de un efluente a un cauce natural puede afectar drásticamente su biología y microbiología induciendo cambios dramáticos de poblaciones bacterianas y organismos superiores (Catalán, 1981).

2.5.8. Sólidos Totales Disueltos (SDT)

EL total de sólidos disueltos en el agua comprende sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los principales iones que contribuyen son carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. El total de sólidos disueltos en el agua puede deberse a fuentes naturales, descarga de efluentes de aguas servidas, escurrimientos urbanos o descargas de desechos industriales. Aunque no se han registrado efectos fisiológicos nocivos con un total de sólidos disueltos en el agua por encima de 1000 mg/lt, se ha considerado, como regla, no exceder este nivel, el cual se recomienda como valor guía (OPS, 1987)

2.6 Química del agua

En la actualidad, el uso de elementos metálicos se ha incrementado en forma alarmante, lo cual está asociado con el crecimiento explosivo de la población y con el desarrollo tecnológico mal planeado. Esta utilización excesiva ha provocado un aumento en la concentración basal de casi todos estos elementos y ha roto así, sus ciclos biogeoquímicos naturales. Por esta razón, algunos organismos absorben, de una u otra forma, cantidades excesivas de estos elementos los que, en la mayoría de los casos causan efectos deletéreos a los seres vivos (Albert, 2002).

Se presenta a continuación una lista de algunos de los metales más importantes, en lo que se refiere a toxicidad para seres humanos y seres vivos.

2.6.1 Aluminio

El aluminio se encuentra distribuido extensamente en la naturaleza y es constituyente de todos los suelos, plantas y tejidos animales. Como consecuencia de esta amplia distribución natural y de las actividades del hombre, el aluminio está presente en el aire, los alimentos y el agua, tanto en sus estados naturales como

cuando están combinados. Los desechos industriales, la erosión, la lixiviación de suelos y minerales, la contaminación causada por el polvo atmosférico y la precipitación, son las vías principales por donde el aluminio entra en el medio acuático (OPS, 1987).

La toma de aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de Aluminio puede causar un efecto serio en la salud como: daño al sistema nervioso central, demencia, pérdida de la memoria, apatía, temblores severos (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Al.htm>)

Efectos ambientales del aluminio

Los efectos del Aluminio han atraído nuestra atención, mayormente debido a los problemas de acidificación. El Aluminio puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas. Las concentraciones de Aluminio parecen ser muy altas en lagos acidificados. En estos lagos un número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de Aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas. Elevadas concentraciones de Aluminio no sólo causan efectos sobre los peces, pero también sobre los pájaros y otros animales que consumen peces contaminados e insectos y sobre animales que respiran el Aluminio a través del aire. Las consecuencias para los pájaros que consumen peces contaminados es que la cáscara de los huevos es más fina y los pollitos nacen con bajo peso. Las consecuencias para los animales que respiran el Aluminio a través del aire son problemas de pulmones, pérdida de peso y declinación de la actividad. Otro efecto negativo en el ambiente del Aluminio es que estos iones pueden reaccionar con los fosfatos, los cuales causan que el fosfato no esté disponible para los organismos acuáticos. Altas concentraciones de Aluminio no sólo pueden ser encontrados en lagos ácidos y aire, también en aguas subterráneas y suelos ácidos. Hay fuertes indicadores de que el Aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando estas están localizadas en las aguas subterráneas (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Al.htm>)

2.6.2. Arsénico

El Arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire.

Los niveles de Arsénico en la comida son bastante bajos (0.05 y 0.06mg/kg), no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de Arsénico en peces y mariscos puede n ser altos (15.9 y 45.8mg/kg), porque los peces absorben Arsénico del agua donde viven. (Albert, 2002)

La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de Arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa.

A exposiciones muy altas de Arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El Arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago.

Efectos ambientales del Arsénico

El Arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía.

El ciclo del Arsénico ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de Arsénico terminan en el Ambiente y en organismos vivos. El Arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura.

Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el Ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra.

Las plantas absorben Arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso Arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de Arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidos de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de Arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por Arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos.

(<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

Dadas las variadas fuentes de arsénico, tanto naturales como antropogénicas, no resulta extraño que los vegetales y animales lo capten y que llegue al hombre a través de los alimentos (Albert, 2002)

2.6.3. Bario

De forma natural los niveles de Bario en el medio ambiente son muy bajos. Altas cantidades de Bario pueden sólo ser encontradas en suelos y en comida, como son los frutos secos, algas, pescados y ciertas plantas. La cantidad de Bario que es detectada en la comida y en agua generalmente no es suficientemente alta como para llegar a ser concerniente a la salud. La gente con un gran riesgo a la exposición del bario con efectos adicionales sobre la salud son los que trabajan en la industria del Bario. Los mayores riesgos para la salud que ellos pueden sufrir son causados por respirar aire que contiene sulfato de Bario o Carbonato de Bario.

Los efectos sobre la salud del Bario dependen de la solubilidad de los compuestos. Compuestos del Bario que se disuelven en agua pueden ser dañinos para la salud humana. La toma de gran cantidad de Bario que es soluble puede causar parálisis y en algunos casos incluso la muerte.

Pequeñas cantidades de Bario soluble en agua puede causar en las personas dificultad al respirar, incremento de la presión sanguínea, arritmia, dolor de

estómago, debilidad en los músculos, cambios en los reflejos nerviosos, inflamación del cerebro y el hígado. Daño en los riñones y el corazón.

No se ha demostrado que el Bario cause cáncer en los humanos. No hay prueba de que el Bario pueda causar infertilidad o defectos de nacimiento. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

EL Bario es sumamente tóxico cuando se ingieren sales solubles en exceso; si se ingiere como cloruro, la dosis fatal de bario para un adulto es de alrededor de 550 – 600mg. (OPS, 1987)

Efectos ambientales del Bario

El Bario es un metal plateado-blancuzco que puede ser encontrado en el medioambiente, donde existe de forma natural. Aparece combinado con otros elementos químicos, como el azufre, carbón u oxígeno.

Debido al uso extensivo del Bario en las industrias, el Bario ha sido liberado al ambiente en grandes cantidades. Como resultado las concentraciones de Bario en el aire, agua y suelo pueden ser mayores que las concentraciones que ocurren de forma natural en muchos lugares. El Bario es liberado al aire por las minas, proceso de refinado, y durante la producción de compuestos de Bario. Puede entrar también al aire durante la combustión del carbón y aceites.

Los compuestos del Bario son usados por las industrias del aceite y gas para hacer lubricantes para taladros. Los compuestos del Bario son también usados para hacer pinturas, bricks, azulejos, vidrio y gomas.

Algunos compuestos del Bario que son liberados durante procesos industriales se disuelven fácilmente en agua y son encontrados en lagos, ríos y arroyos.

Debido a sus solubilidades estos compuestos del Bario pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos absorben los compuestos del Bario, el Bario se acumulará en sus cuerpos. Los compuestos del Bario que son persistentes usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el sedimento de las aguas. El Bario es encontrado en la mayoría de

los suelos en bajos niveles. Estos niveles pueden ser más altos en vertederos de residuos peligrosos. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

2.6.4. Berilio

El berilio al igual que el boro y el cobalto, se encuentra en una proporción de 0.001%. En la naturaleza existe en 30 minerales por lo menos, debido a que el tamaño pequeño de sus iones favorece su difusión como componente secundario de aquellos. Pequeñas cantidades de berilio entran a la atmósfera como resultado de la combustión de hidrocarburos fósiles. Adicionalmente se ha calculado que 5600 toneladas de este elemento entran al mar como consecuencia del desgaste de las rocas (Albert, 2002).

La principal fuente de berilio en el medio ambiente la constituye la combustión de carbón, que se calcula que libera aproximadamente 1,300 toneladas del elemento al entorno (Moreno, 2003).

El berilio no es un elemento crucial para los humanos: en realidad es uno de los más tóxicos que se conocen. Es un metal que puede ser muy perjudicial cuando es respirado por los humanos, porque puede dañar los pulmones y causar neumonía. El efecto más comúnmente conocido del berilio es la llamada beriliosis, una peligrosa y persistente enfermedad de los pulmones que puede incluso dañar otros órganos, como el corazón (<http://www.lentech.com/espanol/tabla-periodica/Be.htm>).

El berilio y sus compuestos se consideran como posibles agentes carcinógenos de pulmón y huesos (Albert, 2002)

Efectos ambientales del Berilio

El berilio entra en el aire, agua y suelo como resultado de procesos naturales y actividades humanas. Esto ocurre de forma natural en el medio ambiente en pequeñas cantidades. El hombre añade berilio a través de la producción de metal y de la combustión de carbón y aceite. Entra en el agua durante los procesos de desintegración de suelos y rocas. Las emisiones industriales añaden berilio al aire y al agua residual y éstas serán posteriormente traspasadas al agua. Normalmente

precipita en el sedimento. El berilio como elemento químico está presente en los suelos en pequeñas cantidades de forma natural, pero las actividades humanas han incrementado esos niveles de berilio. Ciertos elementos químicos reaccionan con el berilio en el agua haciéndolo insoluble. Esto es bueno, porque la forma insoluble del berilio en agua causa mucho menos daño a los organismos que la forma soluble. El berilio no se acumula en los cuerpos de los peces, pero algunas frutas y vegetales como son los frijoles y las peras pueden contener niveles significantes de berilio. Estos niveles pueden entrar en los animales cuando esos alimentos son consumidos, pero por suerte la mayoría de los animales excretan el berilio rápidamente a través de los órganos excretores como el sistema urinario y fecal (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Be.htm>).

2.6.5. Boro

El Boro ocurre de forma natural en el medioambiente debido a que es liberado al aire, suelo y agua a través de los procesos de erosión. Este puede también aparecer en el agua subterránea en muy pequeñas cantidades. Los humanos utilizan Boro en las industrias del vidrio pero la liberación de Boro por los humanos es más pequeña que las concentraciones liberadas por procesos naturales de erosión.

Las plantas absorben Boro del suelo y a través del consumo de plantas por los animales este termina en las cadenas alimentarias. Cuando los animales absorben grandes cantidades de Boro en un periodo de tiempo corto a través de la comida o el agua los órganos reproductivos masculinos serán afectados. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

Se estima que la ingesta diaria total se sitúa entre 1 y 5mg. Cuando se administra en forma de borato o ácido bórico, el boro se absorbe rápida y casi completamente a través del tracto gastrointestinal. La excreción tiene lugar sobre todo en el riñón. (OMS, 1995)

Efectos ambientales del Boro

Los humanos pueden ser expuestos al Boro a través de las frutas y vegetales, el agua, aire y el consumo de productos.

Comer peces o carne no incrementará la concentración de Boro en nuestros cuerpos, el Boro no se acumula en los tejidos animales. Las exposiciones al Boro pueden también ocurrir al consumir productos como cosméticos y productos para lavar.

Cuando los humanos consumen grandes cantidades de comida que contiene Boro, la concentración de Boro en sus cuerpos puede aumentar a niveles que causan problemas de salud. El Boro puede infectar el estómago, hígado, riñones y cerebro y puede eventualmente llevar a la muerte. Cuando la exposición es con pequeñas cantidades de Boro tiene lugar la irritación de la nariz, garganta y ojos. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

2.6.6. Cadmio

El Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el Zinc. Después de ser aplicado este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas.

La toma por los humanos de Cadmio tiene lugar mayormente a través de la comida. Los alimentos que son ricos en Cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración de Cadmio en los humanos. Ejemplos son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.

El humo del tabaco transporta el Cadmio a los pulmones. La sangre transportará el Cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del Cadmio que está ya presente por comer comida rico en Cadmio. El Cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El Cadmio se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el Cadmio que ha sido acumulado en los riñones

sea excretado del cuerpo humano (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>).

Por lo general, las concentraciones de este elemento en el agua potable son menores a 5µg/lit mientras que en el agua de mar, oscilan entre 0.04 y 0.03 µg/lit. (Albert, 2002)

Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Daño al sistema nervioso central
- Daño al sistema inmune
- Desordenes psicológicos
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

Efectos ambientales del Cadmio

De forma natural grandes cantidades de Cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este Cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún Cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del Cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación.

Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de Cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.

Otra fuente importante de emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del Cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos por las compañías productoras.

El Cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. Este lodo rico en Cadmio puede contaminar las aguas superficiales y los suelos.

El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto.

En ecosistemas acuáticos el Cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al Cadmio puede variar ampliamente entre organismos acuáticos. Organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por Cadmio que organismos de agua dulce. Animales que comen o beben Cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

2.6.7. Cromo

El nivel de Cromo en el aire y el agua es generalmente bajo. En agua para beber el nivel de Cromo es usualmente bajo como en el agua de pozo, pero el agua de pozo contaminada puede contener el peligroso Cromo (VI); Cromo hexavalente. Cuando la comida es almacenada en tanques de acero o latas las concentraciones de Cromo pueden aumentar. El Cromo III es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar condiciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes. Pero la toma de mucho Cromo III puede causar efectos sobre la salud también, por ejemplo erupciones cutáneas.

El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de

ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de la nariz.

Otros problemas de salud que son causados por el Cromo (VI) son;

- Erupciones cutáneas
- Malestar de estómago y úlceras
- Problemas respiratorios
- Debilitamiento del sistema inmune
- Daño en los riñones e hígado
- Alteración del material genético
- Cáncer de pulmón
- Muerte

(<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

El cromo en el agua dulce se encuentra en concentraciones de 0.1 a 0.6 µg/lit, en el agua de mar de 0.2 a 0.50µg/lit y en el suelo de 5 a 1,500 mg/kg. (Albert, 2002)

Si se toma como base un consumo diario de agua, de 2lit, se puede calcular que la exposición diaria al cromo en el agua podría variar desde una cantidad bastante menor a 10µg hasta quizá 40µg al día en raras ocasiones. (OPS, 1987)

Efectos ambientales del Cromo

Hay varias clases diferentes de Cromo que difieren de sus efectos sobre los organismos. El Cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas.

Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (III) son el acero, las peleterías y las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales del Cromo (VI). Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del Cromo en agua. A través de la combustión del carbón el Cromo será también emitido al agua y eventualmente se disolverá.

El Cromo (III) es un elemento esencial para organismos que puede interferir en el metabolismo del azúcar y causar problemas de corazón, cuando la dosis es muy baja. El Cromo (VI) es mayoritariamente tóxico para los organismos. Este puede alterar el material genético y causar cáncer.

Los cultivos contienen sistemas para gestionar la toma de Cromo para que ésta sea lo suficientemente baja como para no causar cáncer. Pero cuando la cantidad de Cromo en el suelo aumenta, esto puede aumentar las concentraciones en los cultivos. La acidificación del suelo puede también influir en la captación de Cromo por los cultivos. Las plantas usualmente absorben sólo Cromo (III). Esta clase de Cromo probablemente es esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor, efectos negativos pueden ocurrir.

No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de Cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales el Cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

2.6.8. Cobre

El Cobre y sus compuestos están omnipresentes en el ambiente, y por eso, se encuentran, con frecuencia, en las aguas superficiales. El contenido de cobre en los suelos depende de diferentes factores, es decir, la ubicación geográfica, la proximidad a zonas industriales y el uso de fertilizantes (OPS, 1987).

La absorción del cobre es necesaria, porque el cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho cobre puede también causar problemas de salud. Las concentraciones del Cobre en el aire son usualmente bastante bajas, así que la exposición al Cobre por respiración es descartable. Pero gente que vive cerca de fundiciones que procesan el mineral cobre en metal pueden experimentar esta clase de exposición. Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado

y los riñones e incluso la muerte. Si el Cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cu.htm>).

Efectos ambientales del Cobre

La producción mundial de Cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más Cobre termina en el medioambiente. El Cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de fuel. El Cobre en el aire permanecerá por un período de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de Cobre después de que esté sea depositado desde el aire. El Cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación e incendios forestales. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados. El Cobre es a menudo encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos. Cuando el Cobre termina en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres. El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cu.htm>).

2.6.9. Manganeseo

El Manganeseo es un compuesto muy común que puede ser encontrado en todas partes en la tierra. Es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, pero que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en el organismo. Cuando la gente no cumple con la ración diaria recomendada su salud disminuirá.

Pero cuando la toma es demasiado alta problemas de salud aparecerán (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>).

Cuando el manganeso está presente en las aguas superficiales naturales, ocurre tanto en forma disuelta como suspendida. El agua subterránea anaeróbica suele contener niveles altos de manganeso disuelto. Los niveles más elevados de manganeso, que se encuentran algunas veces en las aguas fluviales que corren libremente, suelen ser consecuencia de la contaminación industrial (OPS, 1987).

Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con Manganeso son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. El Manganeso puede causar parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis. Porque el Manganeso es un elemento esencial para la salud de los humanos la falta de este puede también causar efectos sobre la salud.

Estos son los siguientes efectos:

- Engordar
- Intolerancia a la glucosa
- Coágulos de sangre
- Problemas de la piel
- Bajos niveles de colesterol
- Desorden del esqueleto
- Defectos de nacimiento
- Cambios en el color del pelo
- Síntomas neurológicos

Efectos ambientales del manganeso

Los humanos aumentan las concentraciones de Manganeso en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles. El Manganeso que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. Para los animales el Manganeso es un componente esencial sobre unas 36 enzimas que son usadas para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas. Para algunos animales la dosis letal es bastante baja, lo cual significa que tienen pocas posibilidades de supervivencia

incluso a pequeñas dosis de manganeso cuando este excede la dosis esencial. El Manganeso puede causar disturbancias en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales. En plantas los iones del Manganeso son transportados hacia las hojas después de ser tomados en el suelo. Cuando muy poco manganeso puede ser absorbido desde el suelo esto causa disturbaciones en los mecanismos de las plantas. Por ejemplo disturbaciones en la división del agua en hidrógeno y oxígeno. Concentraciones altamente tóxicas de Manganeso en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas. La deficiencia puede también causar estos efectos entre concentraciones tóxicas y concentraciones que causan deficiencias una pequeña área de concentraciones donde el crecimiento de la planta es óptimo puede ser detectado (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>).

2.6.10. Mercurio

El Mercurio es un elemento que puede ser encontrado de forma natural en el medio ambiente. Puede ser encontrado en forma de metal, como sales de Mercurio o como Mercurio orgánico.

El Mercurio metálico es usado en una variedad de productos de las casas, como barómetros, termómetros, bombillas fluorescentes. El Mercurio en estos mecanismos está atrapado y usualmente no causa ningún problema de salud. De cualquier manera, cuando un termómetro se rompe una exposición significativamente alta al Mercurio ocurre a través de la respiración, esto ocurrirá por un periodo de tiempo corto mientras este se evapora. Esto puede causar efectos dañinos, como daño a los nervios, al cerebro y riñones, irritación de los pulmones, irritación de los ojos, reacciones en la piel, vómitos y diarreas.

El Mercurio no es encontrado de forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida así como ser expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo a través de los peces. Las concentraciones de Mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de

ganado pueden también contener eminentes cantidades de Mercurio. El Mercurio no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar en los cuerpos humanos a través de vegetales y otros cultivos. Cuando sprays que contienen Mercurio son aplicados en la agricultura.

El Mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes principalmente:

- Daño al sistema nervioso
- Daño a las funciones del cerebro
- Daño al ADN y cromosomas
- Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza
- Efectos negativos en la reproducción, daño en el espermatozoides, defectos de nacimientos y abortos

El daño a las funciones del cerebro puede causar la degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria. Daño en el cromosoma y es conocido que causa mongolismo. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

Las vías de eliminación de los compuestos del mercurio son principalmente a través de las heces y orina. En el caso del metilmercurio, la eliminación ocurre principalmente por vía fecal y, sólo si la concentración es elevada o la exposición prolongada, predomina la vía urinaria. (Albert, 2002)

Efectos ambientales del Mercurio

El Mercurio entra en el ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. La liberación de Mercurio desde fuentes naturales ha permanecido en el mismo nivel a través de los años. Todavía las concentraciones de Mercurio en el medioambiente están creciendo; esto es debido a la actividad humana.

La mayoría del Mercurio liberado por las actividades humanas es liberado al aire, a través de la quema de productos fósiles, minería, fundiciones y combustión de residuos sólidos.

Algunas formas de actividades humanas liberan Mercurio directamente al suelo o al agua, por ejemplo la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales. Todo el Mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales.

Aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de Mercurio. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de Mercurio en el agua se incrementarán debido a la movilización del Mercurio en el suelo. El Mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales o suelos los microorganismos pueden convertirlo en metilmercurio, una sustancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso. Los peces son organismos que absorben gran cantidad de metilmercurio del agua superficial cada día.

Los efectos del Mercurio en los animales son daño en los riñones, trastornos en el estómago, daño en los intestinos, fallos en la reproducción y alteración del ADN (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>).

2.6.11. Plomo

El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%).

Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de Plomo. El humo de los cigarros también contiene pequeñas cantidades de plomo.

Que nosotros sepamos, el Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua.

El Plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones

- Abortos y abortos sutiles
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

El Plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.

El plomo se transporta por sangre y en un principio se distribuye uniformemente en todos los tejidos y órganos. Después, se redistribuye gradualmente en la sangre y tejidos blandos. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

Los huesos son el principal compartimiento en donde se almacena el plomo, ya que aproximadamente el 90% de la concentración corporal se encuentra en este tejido.

Alrededor del 90% del plomo que fue ingerido y que no se absorbió se elimina junto con las heces. Del plomo absorbido un 76% aproximadamente se elimina por la orina, el resto se elimina a través del cabello, sudor, etc. Las secreciones pancreáticas y biliares contribuyen a la excreción fecal. El plomo también se elimina en la leche materna en concentraciones de hasta 12mg/lt. (Albert, 2002)

Efectos ambientales del Plomo

El Plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas.

Debido a la aplicación del plomo en gasolinas un ciclo no natural del Plomo tiene lugar. En los motores de los coches el Plomo es quemado, eso genera sales de Plomo (cloruros, bromuros, óxidos) se originarán.

Estas sales de Plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este Plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del Plomo causado por la producción humana está mucho más extendido que el

ciclo natural del plomo. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen.

El Plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de Plomo en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen Plomo. No puede ser roto, pero puede convertirse en otros compuestos.

El Plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por Plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de Plomo presente.

El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen. Este es el porqué nosotros ahora empezamos a preguntarnos si la contaminación por Plomo puede influir en los balances globales. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del Plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presentes. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por Plomo.

El Plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>).

2.6.12. Selenio

La exposición al selenio tiene lugar bien a través de la comida o el agua, o cuando nos ponemos en contacto con tierra o aire que contiene altas concentraciones de selenio. Esto no es muy sorprendente, porque el selenio se da naturalmente en el medio ambiente de forma muy amplia y está muy extendido.

Los humanos necesitan absorber ciertas cantidades de selenio diariamente, con el objeto de mantener una buena salud. La comida normalmente contiene suficiente selenio para prevenir las enfermedades causadas por su carencia.

La toma de selenio a través de la comida puede ser más elevada de lo normal en muchos casos, porque en el pasado se aplicaron muchos fertilizantes ricos en selenio en los cultivos.

Las personas que viven cerca de lugares donde hay residuos peligrosos experimentarán una mayor exposición a través del suelo y del aire. El selenio procedente de cultivos y de lugares donde hay residuos peligrosos acabará en las aguas subterráneas o superficiales por irrigación. Este fenómeno hace que el selenio acabe en el agua potable local, de forma que la exposición al selenio a través del agua aumentará temporalmente.

Las personas que comen muchos cereales que crecen cerca de las industrias pueden experimentar una mayor exposición al selenio a través de la comida. La exposición al selenio a través del agua potable puede ser aumentada cuando el selenio de la eliminación de residuos peligrosos termina en los pozos de agua.

Cuando la exposición es extremadamente elevada, puede ocurrir retención de líquido en los pulmones y bronquitis.

La toma de selenio a través de la comida es normalmente lo suficientemente grande como para satisfacer las necesidades humanas; la escasez raramente ocurre. Cuando hay escasez puede que las personas experimenten problemas de corazón y musculares. Cuando la toma de selenio es demasiado grande es probable que se presenten efectos sobre la salud. La gravedad de estos efectos depende de las concentraciones de selenio en la comida y de la frecuencia con que se tome esa comida.

Los efectos sobre la salud de las diversas formas del selenio pueden variar de pelo quebradizo y uñas deformadas, a sarpullidos, calor, hinchamiento de la piel y dolores agudos. Cuando el selenio acaba en los ojos las personas experimentan quemaduras, irritación y lagrimeo.

El envenenamiento por selenio puede volverse tan agudo en algunos casos que puede incluso causar la muerte.

La sobre-exposición puede resultar en manchas rojas en las uñas, dientes y pelo. El dióxido de selenio reacciona con la humedad para formar ácido selénico, que es corrosivo para la piel y ojos.

Carcinogenicidad: La Agencia Internacional de la Investigación del Cáncer (IARC) ha incluido al selenio dentro del grupo 3 (el agente no es clasificable en relación a su carcinogenicidad en humanos.).

Se sabe que la mayoría de los signos de toxicidad se pueden evitar con dietas que contengan un elevado porcentaje de proteínas. (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>)

La intoxicación aguda, por este elemento produce efectos nocivos sobre el sistema nervioso central como somnolencia, nerviosismo y en algunos casos, convulsiones. (Albert, 2002)

Efectos ambientales del Selenio

El selenio se presenta naturalmente en el medio ambiente. Es liberado tanto a través de procesos naturales como de actividades humanas. En su forma natural el selenio como elemento no puede ser creado ni destruido, pero tiene la capacidad de cambiar de forma.

Bajos niveles de selenio pueden terminar en suelos o agua a través de la erosión de las rocas. Será entonces tomado por las plantas o acabará en el aire cuando es absorbido en finas partículas de polvo. Es más probable que el selenio entre en el aire a través de la combustión de carbón y aceite, en forma de dióxido de selenio. Esta sustancia será transformada en ácido de selenio en el agua o el sudor.

Las sustancias en el aire que contienen selenio son normalmente descompuestas en selenio y agua bastante deprisa, de forma que no son peligrosas para la salud de los organismos.

Los niveles de selenio en el suelo y agua aumentan, porque el selenio sedimenta del aire y el selenio de los residuos también tiende a acabar en los suelos de los vertederos.

Cuando el selenio en los suelos no reacciona con el oxígeno permanece bastante inmóvil. El selenio que es inmóvil y no se disuelve en el agua representa menor riesgo para los organismos. Los niveles de oxígeno en el aire y la acidez del suelo aumentarán las formas móviles del selenio. Las actividades humanas tales como los procesos industriales y agrícolas incrementan los niveles de oxígeno y la acidez de los suelos.

Cuando el selenio es más móvil, las probabilidades de exposición a sus componentes aumentarán considerablemente. La temperatura del suelo, la

humedad, las concentraciones de selenio soluble en agua, la estación del año, el contenido en materia orgánica y la actividad microbiana determinarán la rapidez con la que el selenio se mueve a través del suelo. En otras palabras, estos factores determinan su movilidad.

La agricultura puede no solo incrementar el contenido de selenio en el suelo; también puede aumentar las concentraciones de selenio en las aguas superficiales, ya que las aguas de drenaje de irrigación portan selenio.

Existe evidencia de que el selenio puede acumularse en los tejidos corporales de los organismos y puede ser transportado en la cadena alimenticia hacia niveles superiores. Normalmente esta biomagnificación de selenio comienza cuando los animales ingieren muchas plantas que han estado absorbiendo enormes cantidades de selenio, antes de la ingestión de aquellos. Debido a la irrigación, las concentraciones de selenio en la escorrentía tienden a ser muy altas en organismos acuáticos en muchas zonas.

Cuando los animales absorben o acumulan concentraciones de selenio extremadamente grandes, puede causar fallo reproductivo y defectos de nacimiento (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>).

2.6.13. Zinc

El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana. Cuando la gente absorbe muy poco Zinc, estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Pequeñas llagas, y erupciones cutáneas. La acumulación del Zinc puede incluso producir defectos de nacimiento.

Incluso los humanos pueden manejar proporcionalmente largas cantidades de Zinc, demasiada cantidad de Zinc puede también causar problemas de salud eminentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles alto de Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arteriosclerosis. Exposiciones al clorato de Zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios.

En el Ambiente de trabajo el contacto con Zinc puede causar la gripe conocida como la fiebre del metal. Esta pasará después de dos días y es causada por una

sobresensibilidad. El Zinc puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de Zinc los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>).

Efectos ambientales del Zinc

El Zinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de Zinc a través de las actividades humanas. La mayoría del Zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero.

El agua es contaminada con Zinc, debido a la presencia de grandes cantidades de Zinc en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con Zinc en sus orillas. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas.

Algunos peces pueden acumular Zinc en sus cuerpos, cuando viven en cursos de aguas contaminadas con Zinc, cuando el Zinc entra en los cuerpos de estos peces este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria.

Grandes cantidades de Zinc pueden ser encontradas en los suelos. Cuando los suelos son granjas y están contaminados con Zinc, los animales absorben concentraciones que son dañinas para su salud. El Zinc soluble en agua que está localizado en el suelo puede contaminar el agua subterránea.

El Zinc no sólo puede ser una amenaza para el ganado, pero también para las plantas. Las plantas a menudo tienen una toma de Zinc que sus sistemas no puede manejar, debido a la acumulación de Zinc en el suelo. En suelos ricos en Zinc sólo un número limitado de plantas tiene la capacidad de sobrevivir. Esta es la razón por la cuál no hay mucha diversidad de plantas cerca de fábricas de Zinc. Debido a que los efectos del Zinc sobre, las plantas es una amenaza sería para la producción de las granjas. A pesar de esto estiércol que contiene zinc es todavía aplicado.

Finalmente, el Zinc puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica posiblemente sea más lenta debido a esto (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>).

2.6.14. Nitratos y Nitritos

Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno.

Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas. Las concentraciones pueden alcanzar varios cientos de miligramos por litro.

Amplios datos epidemiológicos respaldan el valor pauta actual de 10 mg/l para el nitrato-nitrógeno propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, este valor no debe ser expresado en base al nitrato nitrógeno sino en base al nitrato en sí mismo, puesto que es la especie química que presenta peligro para la salud, y el valor pauta para el nitrato es por lo tanto 50 mg/l.

- Niveles de nitrito superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar stress en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos.
- Niveles de nitrato de entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 puede ser tóxico.

El nitrato es uno de los más frecuentes contaminantes de aguas subterráneas en áreas rurales. Debe ser controlado en el agua potable principalmente porque niveles excesivos pueden provocar metahemoglobinemia, o “la enfermedad de los bebés azules”. Aunque los niveles de nitratos que afectan a los bebés no son peligrosos para niños mayores y adultos, sí indican la posible presencia de otros contaminantes más peligrosos procedentes de las residencias o de la agricultura, tales como bacterias o pesticidas.

El origen de los nitratos en aguas subterráneas es principalmente de fertilizantes, sistemas sépticos y almacenamiento de estiércol o operaciones de extensión. Los

fertilizantes nitrogenados no absorbidos por las plantas, volatilizados, o arrastrados por la escorrentía superficial acaban en las aguas subterráneas en forma de nitratos. Esto hace que el nitrógeno no esté disponible para las plantas, y puede también elevar la concentración en aguas subterráneas por encima de los niveles admisibles de calidad del agua potable. El nitrógeno procedente del estiércol o de los abonos puede perderse de manera similar de los prados, corrales, o lugares de almacenamiento. Los sistemas sépticos eliminan solamente la mitad del nitrógeno de las aguas residuales, dejando que la otra mitad sea lavada hacia las aguas subterráneas, de esta forma aumentando las concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>).

2.7. Muestreo

Para la mayor parte de los análisis físicos y químicos es suficiente una muestra de 2 lts, pero para ciertas determinaciones especiales, se puede necesitar un mayor volumen. No se debe intentar usar la misma muestra para exámenes químicos, bacteriológicos y microscópicos, porque son diferentes los métodos de recolección y manejo (APHA, 1963)

2.7.1. Cadena de vigilancia:

Es esencial asegurar la integridad de la muestra desde su toma hasta la emisión del informe. Ello implica hacer una relación del proceso de posesión y manipulación de la muestra desde el momento en que fue tomada hasta el de su análisis y eliminación final. Este proceso se denomina cadena de vigilancia, y es importante en el caso de que los resultados deban presentarse en un litigio. Si no es éste el caso, el proceso de cadena de vigilancia resulta útil como control rutinario de la trayectoria de la muestra. Se considera que una muestra está bajo vigilancia si se encuentra en posesión física de una persona, que es la que se encarga de custodiarla y de protegerla de posibles falsificaciones, o si se encuentra en una zona de acceso limitado la personal autorizado. A continuación se resumen los principales aspectos de la cadena de vigilancia (APHA, 1992):

- a) Etiquetado de la muestra

- b) Sellado de la muestra
- c) Libro de registro de campo
- d) Registro de la cadena de vigilancia
- e) Hoja de petición de análisis de la muestra
- f) Envío de la muestra a laboratorio
- g) Recepción y almacenamiento de la muestra

2.7.2. Intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis

En general, mientras menos tiempo transcurra entre la recolección y el análisis, mayor será la confianza de los resultados analíticos. Para obtener resultados veraces sobre ciertos constituyentes y valores físicos se requieren análisis inmediatos en el campo, por que la composición de la muestra puede variar antes de llegar al laboratorio.

Es imposible precisar terminantemente el tiempo que puede transcurrir entre la recolección de una muestra y su análisis, pues depende la índole de la muestra, del análisis particular por verificar y de las condiciones del almacenamiento. Se pueden reducir mucho los cambios producidos por la proliferación de organismos si la muestra se mantiene en la oscuridad y a baja temperatura hasta que se analice. Se sugieren, como razonables, los siguientes límites máximos para muestras destinadas a análisis físicos y químicos:

- Aguas no contaminadas 72 horas
- Aguas ligeramente contaminadas 48 horas
- Aguas contaminadas 12 horas

En el informe de laboratorio se debe registrar el tiempo que haya transcurrido entre la recolección y el análisis. El informe de laboratorio debe asentar cual fue el preservativo agregado, si se aplicó alguno. (APHA, 1963)

2.7.3. Requisitos básicos en la toma de muestras (OPS, 1988)

Al recolectarse las muestras, éstas deben satisfacer los siguientes requisitos:

- a) EL muestreo debe estar convenientemente planificado, siendo lo ideal que se lleve a cabo con una frecuencia suficiente como para permitir que se detecte cualquier variación estacional en la calidad del agua.
- b) Las muestras deben ser recolectadas, guardadas y enviadas en frascos esterilizados apropiados.
- c) El volumen de agua recolectado debe ser lo suficientemente grande como para permitir un análisis preciso.
- d) Los puntos de muestreo en los sistemas de abastecimiento de agua deben ser seleccionados de tal manera que las muestras obtenidas sean lo más representativas posibles.
- e) Debe tenerse gran cuidado durante el muestreo para impedir que se produzca contaminación de la muestra que se está recolectando.
- f) Con el objeto de prevenir cualquier cambio significativo en la composición de una muestra antes de su análisis, es importante asegurarse de que sea recolectada apropiadamente y despachada lo antes posible.
- g) Deben describirse bien las especificaciones de la muestra y colocarse y llenarse las etiquetas en los frascos de muestras en forma apropiada para evitar errores.

Las muestras irán acompañadas de datos descriptivos y de identificación exactos. No deben aceptarse para estudio muestras indebidamente identificadas.

2.8 Aforo de agua

El caudal de un curso en una sección, es el volumen de agua que pasa por la misma en una unidad de tiempo. Por tal motivo sus unidades están dadas como:

[Volumen] / [Tiempo]

Por ejemplo: m³/s; m³/h; litros/s, etc.

No es constante en el recorrido del río sino que normalmente se incrementa por la incorporación de nuevos aportes (afluentes, escurrimiento subterráneo, etc.). No obstante, si el ambiente es muy árido, el caudal puede reducirse en un recorrido prolongado por pérdidas por infiltración y evaporación, o por usos consuntivos del agua como el riego, toma para agua potable, etc.

(<http://www.tierradelfuego.org.ar/agua/informacion/aforos.html>).

El aforo es la operación de medición del caudal en una sección de un curso de agua.

En los ríos se mide en forma indirecta, teniendo en cuenta que:

$$Q [m^3/seg] = V [m/seg] \times A [m^2]$$

CAUDAL = VELOCIDAD x AREA

El método consiste entonces en medir la sección del curso y la velocidad en la misma. Ello se hace a través de verticales referidas a las márgenes en las que se mide profundidad y velocidad. Se determinan así áreas parciales y velocidades medias en las áreas parciales con las cuales se determinan caudales parciales, cuya sumatoria arroja el caudal total (figura 3).

(<http://www.tierradelfuego.org.ar/agua/informacion/aforos.html>)

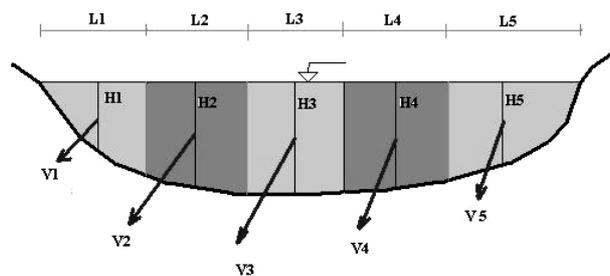


Figura 3. Sección transversal de una corriente, dividida en áreas parciales para cálculo de caudal

Para determinar la velocidad y por lo tanto el gasto en corrientes naturales, a veces conviene utilizar el tubo de Pitot, flotadores o bien el molinete, que es el aparato más comúnmente empleado, y que colocándose en diferentes puntos de la sección de la corriente permite conocer las diferentes velocidades de los filetes (Coronel, 1984).

De acuerdo con el procedimiento para el aforo de corrientes del U.S. Geological Survey, la sección transversal del canal se divide en franjas verticales por medio de un determinado número de verticales sucesivas, y las velocidades medias en las verticales se determinan midiendo la velocidad a 0.6 de la profundidad en cada vertical, o tomando el promedio de las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad,,

cuando se requieren resultados más confiables (figura 4). El promedio de las velocidades medias en cualesquiera dos verticales adyacentes multiplicado por el área entre las verticales da el caudal a través de esa franja vertical de la sección transversal. La suma de los caudales a través de todas las franjas es el caudal total. La velocidad media de toda la sección es, por consiguiente, igual al caudal total dividido por el área completa de la sección del río (Chow, 1994).

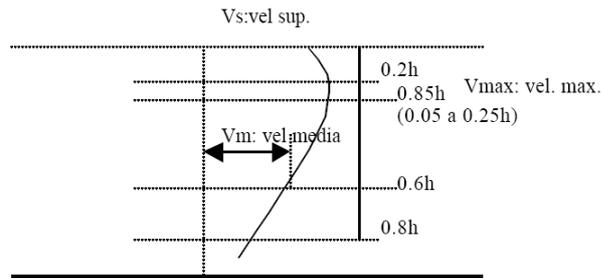


Figura 4. Perfil de velocidad en la vertical de una sección transversal

2.8.1. Molinetes

Instrumento muy empleado por los ingenieros para medir el curso del agua es el molinete. La precisión de los aforos realizados con molinetes depende en gran parte de la persona que los maneja y de las condiciones de localización. En condiciones idóneas puede ser menor de 2% y corrientemente no excede del 5%. Las principales ventajas de los molinetes radican en que no es necesario obstruir el cauce y en que son muy apropiados para el aforo de cursos grandes (Israelsen, 1965).

El molinete hidráulico consta de una hélice pequeña conectada a un cuerpo fuselado. Este, a su vez, queda sujeto a una barra graduada para saber la profundidad del punto en que se desea hacer la medición. Al producirse la rotación de la hélice el dispositivo eléctrico contenido en el cuerpo fuselado envía una serie de señales: luminosas a una lámpara o acústicas a un audífono. El molinete se calibra previamente en un canal de aguas tranquilas de manera que se tenga una curva que relacione el número de impulsos registrados, con la velocidad del flujo. Este dispositivo es de gran utilidad para el aforo en conductos forzados de gran diámetro o en corrientes naturales. Del conocimiento de la distribución de velocidades en la sección, se puede determinar la velocidad media y el gasto (Sotelo, 1999).

2.8.2 Vertedores

Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedor; este puede presentar diferentes formas según las finalidades a que se destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda el vertedor se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedor es de pared gruesa. Ambos tipos pueden utilizarse como dispositivos de aforos en canales de pequeñas dimensiones, pero el segundo puede emplearse como obra de control o de excedencias en una presa y también de aforo en canales grandes. El punto o arista más bajo de la pared en contacto con la lámina vertiente, se conoce como cresta del vertedor; el desnivel entre la superficie libre, aguas arriba del vertedor y su cresta, se conoce como carga (Sotelo, 1999)

Vertedor es una abertura o escotadura hecha en la orilla superior de una pared vertical, a través de la cual se deja que fluya el agua con propósitos de medición o aforo. La abertura usualmente es rectangular, triangular o trapezoidal, y en cada caso la arista de ella sobre la cual fluye el agua es llamada la cresta, y su altura arriba del depósito o conducto se conoce como la altura de la cresta (Russell, 1982).

2.9 Recarga acuífera

El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de **recarga** desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando la comparamos con la de los depósitos superficiales, como los lagos, y los cursos de agua. El tiempo de residencia (el periodo necesario para renovar por completo un depósito a su tasa de renovación normal) es muy largo. En algunos casos la renovación está interrumpida, por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores (acuitardos), o por circunstancias climáticas sobrevenidas de aridez. El agua de las precipitaciones (lluvia, nieve, entre otras) puede tener distintos destinos una vez alcanza el suelo. Se reparte en tres fracciones. Se llama escorrentía a la parte que se desliza por la superficie del terreno, primero como arroyada difusa y luego como agua encauzada, formando arroyos y ríos. Otra parte del agua se evapora desde las capas

superficiales del suelo o pasa a la atmósfera con la transpiración de los organismos, especialmente las plantas; nos referimos a esta parte como evapotranspiración. Por último, otra parte se infiltra en el terreno y pasa a ser agua subterránea. La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores. La litología (la naturaleza del material geológico que aflora de la superficie) influye a través de su permeabilidad, la cual depende de la porosidad, del diaclasamiento (agrietamiento) y de la mineralogía del sustrato. Otro factor desfavorable para la infiltración es una pendiente marcada. La presencia de vegetación densa influye de forma compleja, porque reduce el agua que llega al suelo (interceptación), pero extiende en el tiempo el efecto de las precipitaciones, desprendiendo poco a poco el agua que moja el follaje, reduciendo así la fracción de escorrentía y aumentando la de infiltración. Otro efecto favorable de la vegetación tiene que ver con las raíces, especialmente las raíces densas y superficiales de muchas plantas herbáceas, y con la formación de suelo, generalmente más permeable que la mayoría de las rocas frescas (http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea)

La ocurrencia de agua subterránea en medios fracturados también se ve afectada por ciertas características del medio fracturado, entre las que se pueden mencionar: la longitud, ancho y localización de las fracturas, la interconexión entre las fracturas, ya que la probabilidad de encontrar agua aumenta cuando las fracturas están interconectadas formando una red y, la cantidad de material que pueda obstruir el paso del agua a través de las grietas (MATA, 2005).

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de kilómetros. El agua del subsuelo es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación. El agua subterránea se encuentra normalmente empapando materiales geológicos permeables que constituyen capas o formaciones a los que se les denomina **acuíferos** (http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea).

2.9.1 Recarga acuífera subterránea

Se entiende la recarga acuífera como la infiltración del agua superficial que pasa la zona no-saturada del subsuelo y llega a la zona saturada de agua subterránea y forma parte del agua del acuífero (Junker, 2005).

La recarga natural de los acuíferos procede básicamente del agua de lluvia que a través del terreno pasa por infiltración a los acuíferos. Esta recarga es muy variable y es la que geológicamente ha originado la existencia de los acuíferos. Por otra parte la recarga natural tiene el límite de la capacidad de almacenamiento del acuífero de forma que en un momento determinado el agua que llega al acuífero no puede ser ya almacenada y pasa a otra área, superficie terrestre, río, lago, mar o incluso otro acuífero (Faustino, 2006).

El acuífero es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la superficie (p. ej. lluvia) percola y se almacena. A veces se mueve lentamente al océano por flujos subterráneos. Una formación acuífera viene definida por una base estanca (muro), y por un techo, que puede ser libre, semi impermeable o impermeable; por lo que son los continentes de las masas de agua subterránea (http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea).

2.9.2 Criterios considerados en la recarga acuífera

Precipitación, evaporación/transpiración, geología, sistema de fallas, subsuelo, textura del substrato, vegetación, uso de suelo, topografía, pendientes/escorrentía, profundidad hacia el acuífero (Junker, 2005).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del sitio en estudio

La subcuenca del río Jupula se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca del río Lempa perteneciente a la región de El Salvador, en el departamento de Chalatenango, municipio de San Ignacio; está geográficamente ubicada entre las coordenadas: Latitud 14°20'25.7"N a 14°23'0.9"N y longitud 89°7'24.2"W a 89°12'58.4"W, con elevaciones que van de los 707 m. s.n.m hasta los 2730 m.s.n.m. Posee un área de 1,914.3 ha,(19.14 km²), la cual comprende los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa, El Pinar y Río Chiquito, del municipio de San Ignacio, departamento de Chalatenango.

3.2 Metodología de talleres de medios de vida.

Para la realización de los talleres de medios de vida, se solicitó la participación de los/as representantes de ADESCO (Asociaciones de Desarrollo Comunal), Asociaciones de Regantes, Organizaciones Comunitarios y población en general, de cada una de las comunidades a través de una previa convocatoria, la cual se realizó con el apoyo de los líderes comunales para obtener información acerca de la situación socioeconómica y medioambiental actual de cada cantón.

Dado que dentro de la subcuenca del río Jupúla se encuentran cuatro comunidades, se realizaron cuatro talleres, para conocer sus problemas, conflictos, necesidades, principales actividades económicas y recursos con los que cuentan.

Durante el desarrollo de cada taller, se realizó una presentación del tema de medios de vida, los objetivos del trabajo de investigación y la forma a través de la cual se obtendría la información. La metodología utilizada fue la de lluvia de ideas, en donde cada uno de los/as participantes se pudo expresar libremente acerca de las condiciones y recursos de la localidad. En cada taller hubo un moderador, el cual se encargó de plasmar todas las ideas de los participantes de manera lógica en una serie de papelografos o matrices que permitieron la evaluación de los diferentes capitales (social, natural, físico, financiero y humano), así como los medios de vida

de las familias y los choques e impactos que sufren las comunidades. Posteriormente, la información obtenida en cada reunión fue sistematizada de forma coherente y eficaz.

El objetivo de la realización de estos talleres fue obtener la mayor cantidad de información relacionada con los capitales o activos a continuación descritos:

- Capital Humano: habilidades, destrezas, conocimiento (tradicional y moderno), fortaleza física, y salud que son necesarios y determinan la capacidad de perseguir diversas estrategias de medios de vida.
- Capital Físico: infraestructura base (transporte, albergue, agua, energía y comunicación), equipos productivos, herramientas, instalaciones que permiten a la gente dedicarse a ciertos medios de vida
- Capital Social: recursos sociales (redes, grupos, relaciones de confianza, parentescos, amistad, relaciones patrón – cliente, acceso a las instituciones de la sociedad más amplia) en las que puede apoyarse la gente al perseguir sus estrategias de vida.
- Capital Financiero: recursos disponibles de la gente (en efectivo, ahorros, disponibilidad de crédito, remesas, salarios, pensiones) que permiten diferentes opciones en cuanto a medios de vida
- Capital Natural: recursos naturales que proveen flujos de bienes útiles en la determinación y manejo de las estrategias de vida (tierra, agua, fauna silvestre, bosques, pastos, biodiversidad y recursos del medioambiente en general.

3.3 Elección de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo para el análisis de cantidad y calidad de agua del río, fueron elegidos con base en la intensidad del uso del suelo y su ubicación dentro de la subcuenca. Además, se tomó en cuenta que el sitio de muestreo fuera uniforme en su topografía, evitando la cercanía a los rápidos del río, para no tener error en la lectura de la velocidad del flujo de agua en la sección transversal para el cálculo del caudal. Como última consideración se tomó en cuenta que tuvieran fácil accesibilidad tanto en verano como en invierno y que estuvieran bien ubicados ó distribuidos en la

parte alta, media y baja del río, con las siguiente coordenadas: punto número uno 89°12'53.6"W, 14°21'4.34"N; punto número dos 89°10' 57.5"W, 14°20'54.6"N; punto número tres 89°9'48.4"W, 14°21'16.7"N (anexo 1).

3.4 Toma, manejo y transporte de las muestras.

La toma de muestras se realizó en dos etapas, la primera tuvo lugar en la época seca (abril de 2007) y la segunda en la época lluviosa (septiembre de 2007) en donde, se recolectaron dos muestras de agua del río en cada uno de los tres puntos mencionados en el literal anterior, haciendo un total de seis muestras por época y 12 muestras por año. Dichas muestras fueron analizadas en los laboratorios de PROCAFE desde el punto de vista químico, físico y microbiológico.

Para la toma de muestras de agua del río, tanto para análisis físico-químico, como microbiológico, se utilizaron frascos plásticos con capacidad para un litro, siguiendo el proceso siguiente:

Análisis Microbiológico

- Destapar el frasco previamente esterilizado.
- Para llenar el frasco, este se sostendrá por la parte inferior y sumergirá a una profundidad de 20cm aproximadamente hacia arriba; si existe corriente, la boca del frasco debe orientarse hacia la corriente.
- Dejar un espacio aéreo en la botella de al menos de 2.5 cm. Para facilitar la mezcla por agitación antes de proceder al estudio de la muestra.
- Tamaño de muestra: un litro.
- Tiempo entre recolección y análisis: 6 horas.
- Temperatura de conservación: < 10 °C.
- Cadena de vigilancia.

Análisis Químico

- Los embases a utilizar para toma de muestra dependerán de tipo de análisis (plástico o vidrio).

- El volumen necesario para realizar los análisis con un 99 % de confianza es de 1 litro, por muestra.
- Para llenar el frasco, este se sostendrá por la parte inferior y sumergirá a una profundidad de 20cm aproximadamente hacia arriba; si existe corriente, la boca del frasco debe orientarse hacia la corriente.
- La toma de la muestra debe ser en la parte del centro de la fuente, no hacerlo en las orillas.
- Debe tenerse una cadena de vigilancia.
- Los análisis deben realizarse lo más pronto posible luego de tomada la muestra, para evitar que se tengan variaciones significativas.

3.5 Metodología de análisis químico y bacteriológico del agua

Las muestras de agua de río Jupula fueron enviadas al laboratorio de calidad de aguas de la Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (PROCAFE) para su respectivo análisis físico, químico y microbiológico.

3.6 Medición de caudal

Consistió en la medición del caudal del río, utilizando un molinete hidráulico en tres puntos estratégicos y tres fechas diferentes, siendo estas: la época seca (18 de marzo) y lluviosa (15 de septiembre) del año dos mil siete y época seca (13 de marzo) del año dos mil ocho.

3.6.1 Método de molinete

La medición del caudal en los puntos de muestreo se llevó a cabo con un molinete hidráulico para flujos pequeños, marca AOTT, modelo C2 serie C2-98492.

Medir el caudal en cada uno de los puntos de muestreo consistió en estimar la cantidad del vital líquido ya sea en volumen o como caudal ó gasto, en unidades de m^3/s o lt/s .

Para conocer el gasto; como el molinete lo que determina es “la velocidad del agua en un punto específico de la sección del canal”, se hizo necesario medir el área de la sección hidráulica; y aplicando la ecuación de continuidad se determinó el caudal así:

$$Q = A * V$$

Para tener una mejor estimación del gasto, ya que la velocidad es muy variable en toda la sección hidráulica, ésta se dividió en secciones más pequeñas (A_1, A_2, \dots, A_n) por medio de verticales imaginarias (V_0, V_1, \dots, V_n) y para cada vertical se determinó la velocidad media a 0.6 veces la profundidad del agua (h) cuando h fue menor a 0.4 m; o tomando dos medidas, una a 0.2 h y 0.8 h y promediando, cuando h fue mayor que 0.4 m (figuras 3 y 4).

NOTA: El intervalo entre verticales dependió del ancho del río

Como resultado, se tuvieron pequeñas secciones hidráulicas, limitadas por dos verticales de observación. Haciendo el promedio de las verticales $(V_0 + V_1)/2$, se obtuvo la velocidad media de cada sección. Finalmente se determinó parcialmente el caudal que circula por cada una así: $Q_1 = A_1 * V_1$

El Caudal total se calculó por la sumatoria de los caudales de cada sección

El área se calculó por la fórmula del trapecio:

$$A = l_v * (h_0 + h_1)/2$$

Donde: l_v = intervalo entre verticales (m)

h = profundidad del agua en la verticales respectivas (m)

3.6.2 Medición de caudal con vertedero

La metodología de medición de caudal con vertedero fue utilizada en la época seca para todas las quebradas o tributarios del río, como son: quebrada la Estancia, quebrada el Chupte, quebrada el Botoncillal, quebrada El Aguacate y quebrada Mojarras; se utilizó también para el punto de muestreo de la parte baja del cauce del río.

El proceso de medición de caudal con este método consistió en la utilización de un cabezal de madera con una abertura o muesca de 30° en el centro, descubierta en su borde superior para permitir el paso del agua a través de la misma y luego coleccionarla en un recipiente de volumen conocido durante un periodo de tiempo determinado para así, determinar el caudal en la sección transversal de la corriente.

3.7 Metodología para estimación de recarga acuífera subterránea potencial.

Para el cálculo de la recarga acuífera subterránea potencial de la subcuenca del río Jupula se realizaron las siguientes actividades:

1. Digitalización de una imagen satelital formato IKONOS del año 2004, en la que está comprendida la zona en estudio para la obtención de un mapa preliminar, el cual fue utilizado como guía en la actualización del uso del suelo de la subcuenca del río Jupula (Anexo 2)
2. Giras de campo en la subcuenca para realizar la actualización del mapa de cobertura vegetal o uso del suelo. Para realizar esta actividad, se utilizó un navegador personal o receptor de señales de GPS marca Garmin, modelo e-trex. El proceso consistió en recorrer el área de la cuenca, iniciando en la parte baja y finalizando en la parte alta de la misma. A lo largo de todo el recorrido se tomaron puntos con el navegador personal con el objetivo de identificar los cambios en el uso del suelo.
3. Digitalización de una imagen satelital formato LANDSAT de 1998 (Anexo 3) para identificar las fallas geológicas dentro de la subcuenca y generar un mapa de las mismas (Anexo 4).
4. Digitalización de los mapas biofísicos de la subcuenca del río Jupula, los cuales fueron: geología (Anexo 5), pendientes (Anexo 6) y uso del suelo.
5. Giras de campo a la zona en estudio para la georeferenciación de los manantiales y su respectivo aforo (Anexo 7).
6. Digitalización del mapa hidrogeológico y de zonas de recarga acuífera subterránea potencial de la subcuenca del Río Jupula (Anexo 8)
7. Cálculo de recarga acuífera subterránea potencial de la subcuenca del río Jupula.

Se utilizaron los datos de ubicación geográfica, aforo de manantiales y cobertura vegetal de las zonas de recarga potencial obtenidos en campo, posteriormente fueron procesados y ubicados en un mapa digital elaborado

con el software ArcGis. Se utilizaron además, datos climáticos como precipitación y evapotranspiración provenientes de las estaciones meteorológicas de La Palma y Las Pilas; coeficientes según pendientes (cuadro 11), cobertura vegetal (cuadro 12) y miembros geológicos (cuadro 13).

Cuadro 11. Coeficientes según pendientes (kp)

Rango de pendiente	Coeficiente
0 – 15 %	0.27
15 – 30 %	0.1
>30%	0.01

K_p : Fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno. (Valores propuestos en la metodología).

Cuadro12. Coeficientes según cobertura vegetal (kv)

Cobertura vegetal	Coeficiente
Pastos naturales	0.1
Pastos cultivados	0.1
Bosque de coníferas	0.15
Bosque mixto	0.2
Mosaico de cultivos y pasto	0.1
Vegetación arbustiva baja	0.2
Granos básicos	0.1

Fuente: FORGAES, 2005.

K_v : Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal. (Valores propuestos en la metodología de acuerdo al tipo de uso del suelo).

Cuadro 13. Coeficientes según miembro geológico (kfc)

Miembro Geológico	Código	Fc	Kfc
Bálsamo	b3	45	0.28645

Chalatenango	ch ₁	45	0.28645
Morazán – Chalatenango	l	45	0.28645
Morazán	m _{2a}	45	0.28645

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

En donde:

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

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

Los datos obtenidos a partir de los cuadros anteriores y la información climática, así como biofísica, fueron introducidos en una tabla de Excel (anexo 11) para determinar el valor de recarga acuífera potencial en mm/año, para luego determinar este valor en litros por segundo, según la fórmula siguiente:

$$R_p \text{ (lt/s)} = (R \text{ (mm/año)} * \text{área (m}^2\text{)}) / 365 \text{ días} / 24 \text{ hr} / 3600 \text{ seg}$$

En donde:

R_p (lt/s) = recarga acuífera potencial en litros por segundo

R = recarga en milímetros por año

Área = área en metros cuadrados de la zona de recarga

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medios de vida sostenible

De la evaluación de los medios de vida en las diferentes comunidades comprendidas de la subcuenca Jupula se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a las actividades de las que depende la economía familiar en la zona.

Figura. 5a

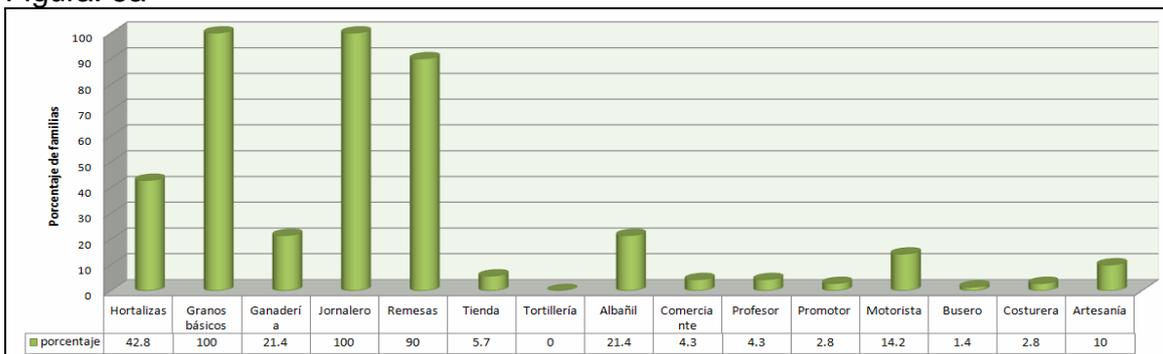


Figura. 5b.

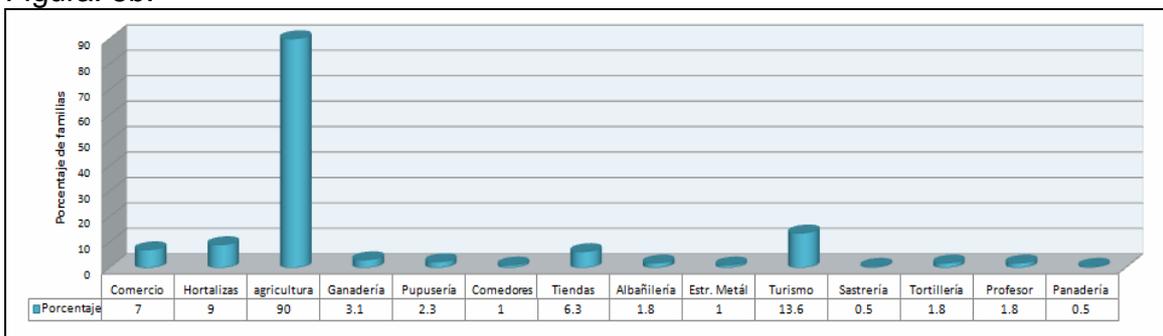


Figura. 5c.

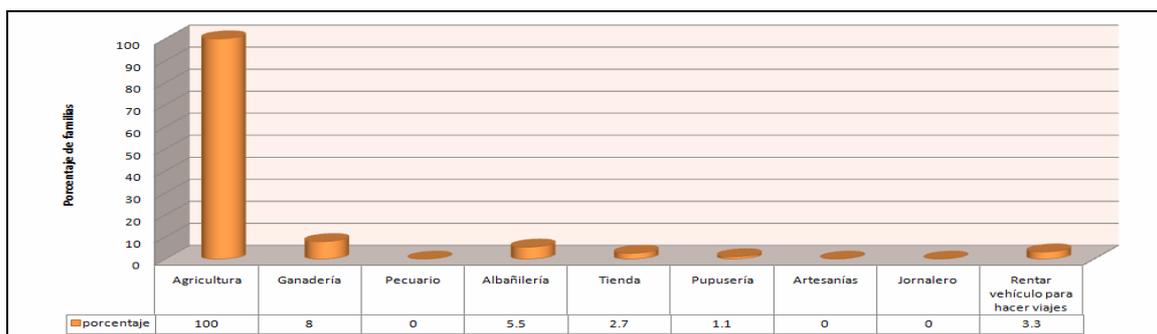


Figura.5d.

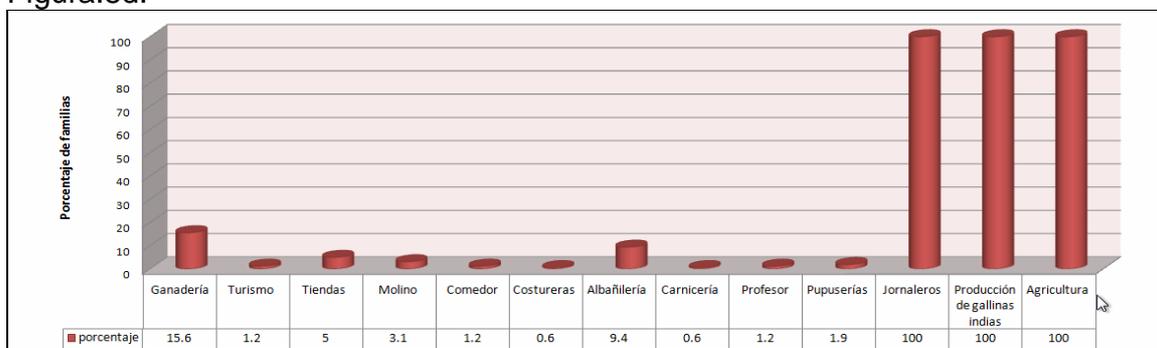


Figura 5. Medios de vida a) Cantón El Carmen; b) Cantón El Rosario; c) Cantón Santa Rosa; d) Cantón Río Chiquito.

La información contenida en los gráficos anteriores presenta las actividades económicas practicadas por las familias de las comunidades de la subcuenca del río Jupula; actividades de las cuales dependen para su sobrevivencia.

Se puede observar que la agricultura, la fuerza de trabajo como jornalero y la producción de gallina india, son las actividades que se practican con mayor frecuencia, y además generan la mayor cantidad de ingresos económicos a las familias de éstas comunidades.

De manera semejante la ganadería, las remesas familiares, las tiendas, la albañilería, pequeños comerciantes, profesores, motoristas, promotores de salud, costurera, sastrería, artesanías, panadería, pupuserías, tortillerías, carnicería, comedores, turismo, molino renta de vehículos, motoristas y elaboración de

estructuras metálicas, representan medios de vida, generando ingresos económicos a las familias, aunque dichas actividades son practicadas en menor escala y por una cantidad menor de la población.

4.1.1 Capital Físico

El capital físico comprende la infraestructura básica y los bienes de producción para respaldar a los medios de vida.

Cuadro 14. Análisis de capital físico de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito de la subcuenca Jupula.

	Cantón El Carmen	Cantón El Rosario	Cantón Santa Rosa	Cantón Río Chiquito
Centro escolar				
Vías de acceso				
Iglesia				
Puente de hamaca				
Cancha				
Telefonía móvil				
Alumbrado eléctrico				
Tubería de agua potable				
Letrinas (fosa séptica y abonera)				
Casa Comunal				

Drenajes (aguas lluvias)				
Mercado				
Vivienda				
Infraestructura de riego				
Unidad de salud				
Aperos de agricultura				
Calificación	9	5.2	7.06	8

	Tiene acceso a esta infraestructura
	No tiene acceso a esta infraestructura

En algunos casos, las infraestructuras se encuentran en mal estado, como las calles principales y secundarias, las cuales representan un problema en la época seca por la excesiva cantidad de polvo que se genera, y durante la época lluviosa el encharcamiento del agua y arrastre de material de balastreo, con su posterior degradación; en cuanto al sistema de alcantarillado, ninguna de las comunidades posee este sistema, viéndose obligadas a verter las aguas de uso doméstico directamente a la calle, contribuyendo a la degradación de las mismas. El sistema de alumbrado eléctrico con frecuencia tiene desperfectos dado su estado de deterioro, además algunas familias no cuentan con este servicio público por no tener la capacidad económica para costearse el derecho a tenerlo y pagarlo mensualmente; no existe en las comunidades una red de telefonía pública o domiciliar, por lo que algunos de los pobladores se ven obligados a adquirir teléfonos móviles para comunicarse ya sea con sus familias o para negocios, aunque esto les representa un gasto elevado respecto a sus ingresos reducidos, sumándose a esto la poca cobertura de las compañías de telefonía, lo cual obliga la adquisición de los servicios de una sola compañía, que con frecuencia presenta problemas con la señal.

Respecto a la adquisición de los productos de la canasta básica así como para la compra de otros artículos de primera necesidad, la población de éstas comunidades se ve obligada a viajar hasta el pueblo de San Ignacio o al pueblo Hondureño de Nueva Ocotepeque para el abastecimiento de éstos productos, por lo que existe la

necesidad del establecimiento de mercados comunales al menos una vez por semana.

En lo que concierne a los centros escolares de las comunidades, en algunos casos su infraestructura se encuentra deteriorada, y su capacidad instalada no es suficiente para permitir a toda la población infantil tener acceso a una educación formal, por lo que se necesita una remodelación o adecuación de las instalaciones así como el equipamiento de las mismas con material didáctico de buena calidad para facilitar los procesos educativos, además, se necesita aumentar la planta docente para brindar una educación más personalizada, ya que hasta el momento los docentes que laboran en éstos centros escolares tienen que asistir dos o tres grupos de estudiantes durante ambos turnos, matutino y vespertino.

En las comunidades podemos encontrar viviendas de materiales mixtos y adobe principalmente, aunque con mayor porcentaje las construidas con adobe.

En lo que se refiere a necesidades particulares, la comunidad El Carmen necesita de la sustitución del actual puente hamaca que permite la comunicación entre caseríos, ya que de momento representa un peligro por encontrarse en mal estado estructural.

4.1.2 Capital Social

El capital social está referido a los recursos sociales en que los pueblos se apoyan en la búsqueda de sus objetivos en materia de medios de vida.

Cuadro 15a. Análisis de capital social (organización interna) de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito de la subcuenca Jupula.

	Cantón El Carmen	Cantón El Rosario	Cantón Santa Rosa	Cantón Río Chiquito
ADESCO				
Asociación de regantes				
Comité de deportes				
Comité de festejos				

Comité de agua potable				
Directiva de estudiantes				
Seguridad ciudadana				
Calificación	7	7	7.83	8.5

	Tiene acceso a este tipo de organización
	No tiene acceso a este tipo de organización

La fortaleza de las comunidades en cuanto a su organización interna, es que todas poseen Asociaciones de Desarrollo Comunal (ADESCO), las cuales se encuentran legalmente establecidas y además cuentan con el apoyo de sus respectivas comunidades y disposición al trabajo en favor de las mismas. Además de la ADESCO, las comunidades poseen otras organizaciones como asociaciones de regantes, comités de agua, deportes y festejos, directivas estudiantiles y comités de seguridad ciudadana, las cuales trabajan a favor del desarrollo local.

Las comunidades, al poseer organizaciones con personería jurídica, tienen la oportunidad de gestionar proyectos con respuestas favorables a sus peticiones por parte del organismo nacional o internacional cooperante.

El problema principal que se presenta al interior de las organizaciones comunales es el bajo poder de convocatoria para las reuniones, por lo que se dificulta tomar decisiones en beneficio de la comunidad.

Los desafíos que presentan las organizaciones comunales son diversos, entre los que se pueden mencionar: concientizar a los pobladores sobre la importancia de su participación en las reuniones comunales para la toma de decisiones y la gestión de proyectos en beneficio de ellos mismos y de los recursos naturales que les rodean.

Cuadro 15b. Análisis de capital social (organización externa) de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito de la subcuenca Jupula.

	Cantón El Carmen	Cantón El Rosario	Cantón Santa Rosa	Cantón Río Chiquito
--	------------------	-------------------	-------------------	---------------------

MINED (Ministerio de Educación)				
Ministerio de Salud				
MAG – PAES				
Alcaldía				
Visión Mundial				
CENTA				
PRODERT				
GTZ				
Plan Trifinio				
FINTRAC				
CATI				
Movimiento Orgánico de E.S.				
Cuerpo de Paz				
PROCHALATE				
Calificación	8.2	8.1	8.66	7

	Tiene acceso a este tipo de apoyo institucional externo
	No tiene acceso a este tipo de apoyo institucional externo

Según la información que se muestra en el cuadro anterior, todas las comunidades han sido beneficiadas con diversos proyectos y capacitaciones, los cuales les han brindado ayuda en diferentes áreas productivas como la agricultura y la ganadería y, sociales como la construcción de aulas, servicios sanitarios y alimentación para los niños que asisten a los centros escolares, introducción de agua potable a las viviendas y balastreo de calles principales entre otros. También, capacitaciones en cloración de agua para consumo humano y, prevención y control de enfermedades.

4.1.3 Capital Financiero

Este capital hace referencia a los recursos financieros que las poblaciones utilizan para lograr sus objetivos en materia de medios de vida.

Cuadro 16. Análisis de capital financiero de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito de la subcuenca Jupula.

	Cantón El Carmen	Cantón El Rosario	Cantón Santa Rosa	Cantón Río Chiquito
Remesas				
Crédito				
Calificación	7.3	8.6	4	5.6

 Tiene acceso a este tipo de ingreso económico

La información vertida en el cuadro 16, muestra que, además de las actividades económicas productivas realizadas por las familias dentro de sus comunidades (medios de vida), las remesas y los créditos representan un ingreso importante de dinero a la economía familiar, siendo éstas fuentes, comunes en una gran parte de las familias de las comunidades de la subcuenca del río Jupula. Dichos ingresos son destinados a actividades como la agricultura, ganadería, mejoras en el hogar, compra de propiedades, pago de deudas y para consumo familiar, siendo éste último el destino de la mayor parte del dinero percibido como remesas.

Los créditos son ofrecidos por instituciones como: Banco de los trabajadores, BFA (Banco de Fomento Agropecuario) y Caja de crédito. Sin embargo, existen limitantes para obtener un crédito, como son: intereses altos, garantía, fiador y baja rentabilidad de las actividades agropecuarias.

4.1.4 Capital Natural

En el capital natural son consideradas las partidas de recursos naturales de las que se derivan los flujos de recursos y servicios (ciclo de nutrientes, protección de la erosión, etc), útiles en materia de medios de vida.

Cuadro 17. Análisis de capital natural de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito de la subcuenca Jupula.

	Cantón El Carmen	Cantón El Rosario	Cantón Santa Rosa	Cantón Río Chiquito
--	------------------	-------------------	-------------------	---------------------

Agua				
Tierra				
Bosque				
Fauna				
Flora				
Calificación	6.6	7	5	8.4

	Tiene acceso a este tipo de recurso
	No tiene acceso a este tipo de recurso

Respecto a la información presentada en el cuadro 17, se puede observar que todas las comunidades tienen acceso a los cinco recursos mencionados. Sin embargo, el acceso a recursos como la tierra, la cual en la mayoría de los casos es arrendada para el establecimiento de cultivos, es una de las principales limitantes debido a que las personas que pagan por el uso de ésta, no pueden realizar otras actividades ajenas al manejo agronómico de los cultivos, por lo que se generan conflictos de diversa índole, como lo es el permiso de paso de tuberías a través de propiedades privadas para el abastecimiento de agua a las familias.

Uno de los aspectos positivos de este tipo de tenencia (privada), es que los propietarios de estos terrenos brindan protección a la fauna nativa, la cual es muy variada en las diferentes comunidades, además de los espacios boscosos existentes, los cuales favorecen la infiltración y disminuyen la escorrentía superficial.

A pesar que todas las comunidades tienen acceso a servicio domiciliario de agua potable, los manantiales de los cuales se abastece la población, están ubicados en propiedades privadas, lo cual dificulta muchas veces la reparación del sistema. Otro problema que se tiene con el recurso agua, es el mal servicio.

4.1.5 Capital Humano

El capital humano representa las actitudes, conocimientos, capacidades laborales y buena salud que en conjunción permiten a las poblaciones entablar distintas estrategias y alcanzar sus objetivos en materia de medios de vida.

Cuadro 18. Análisis de capital humano de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito de la subcuenca Jupula.

		Cantón El Carmen	Cantón El Rosario	Cantón Santa Rosa	Cantón Río Chiquito
Educación formal	Educación básica				
	Educación media				
	Educación superior				
Educación informal	Capacitaciones				
	Talleres				
Trabajo	Disposición				
Salud	Acceso				
Calificación		6.9	6.82	5.2	6.8

	Tiene acceso a este tipo de educación, disposición y servicio.
	No tiene acceso a este tipo de educación, disposición y servicio.

La información presentada en el cuadro 18, muestra los niveles de educación a los que tienen acceso las comunidades de la subcuenca del río Jupula, siendo la generalidad la educación básica. En cuanto a la educación media, la cantidad de jóvenes que asisten a clases es menor, ya que deben viajar hasta San Ignacio o La Palma, lo cual es difícil debido a los bajos niveles de ingreso de las familias de estos jóvenes. De igual forma, el número de jóvenes que pueden tener acceso a una educación superior es reducido, debido al gasto que implica viajar hasta la ciudad de Chalatenango o San Salvador.

En lo que respecta a la educación informal, la población adulta así como los jóvenes han sido beneficiadas con diversas capacitaciones en las áreas de agricultura, ganadería, conservación de suelos y agua, fabricación de artesanías y potabilización del agua entre otros.

Se puede observar también en el cuadro anterior, que la población tiene una excelente disposición al trabajo para beneficio propio y de la comunidad.

En cuanto al aspecto salud, todos los pobladores reciben visitas por parte de promotores de salud, los cuales ayudan en la prevención de enfermedades comunes, y además dan seguimiento a aquellas personas que se encuentran mal de salud. Sin embargo, se presentan casos de enfermedades que no pueden ser atendidas por los promotores, razón por la cual la población requiere de unidades de salud debidamente equipadas y con personal capacitado.

4.1.6 Choques e Impactos

Están referidos a todas las situaciones adversas que afectan a los pobladores y a sus medios de vida.

Cuadro 19. Análisis de choques e impactos de los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito de la subcuenca Jupula.

	Cantón El Carmen	Cantón El Rosario	Cantón Santa Rosa	Cantón Río Chiquito
Incendios				
Desbordamiento del río				
Migración				
Mercado no equitativo				
Problemas en las aduanas por pagos				
Deslizamientos				
Conflictos con usuarios del agua				
Temporales				
Vientos fuertes				
Hundimientos				

	La comunidad se ve afectada por este tipo de choque o impacto
	La comunidad no se ve afectada por este tipo de choque o impacto

El cuadro 19 presenta la información acerca de los choques de índole natural y económica que sufren los pobladores de las comunidades comprendidas en la subcuenca del río Jupula. Entre estos choques se pueden mencionar los desbordamientos del río causados por incrementos esporádicos de los niveles del cauce en la parte baja de la subcuenca debido a tormentas fuertes durante el invierno; el fenómeno de migración, el cual afecta a las comunidades disminuyendo la disponibilidad de mano de obra para las actividades agrícolas, y además creando un acomodamiento en las personas receptoras de remesas; los deslizamientos de tierra durante la época lluviosa debido al relieve escarpado del área, y al uso inadecuado del suelo (sobre uso); el problema de un mercado no equitativo y los altos costos de aduanas, aunado al pago ilegal de tarifas a personas que laboran en las fronteras para permitir el paso de productos agrícolas, con lo que se ve afecta directamente la economía de los productores de las comunidades de la subcuenca Jupula.

4.1.7 Evaluación de capitales (físico, humano, financiero, social y natural) a través de pentágonos, en los cantones El Carmen, El Rosario, Santa Rosa y Río Chiquito, de la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2007.

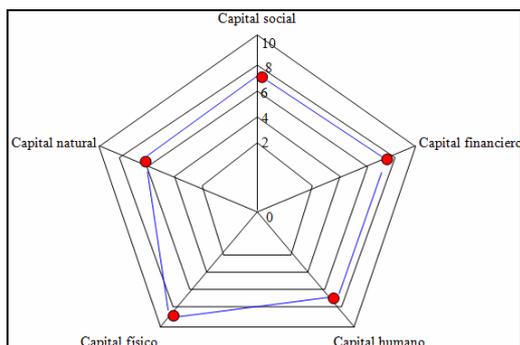


Figura a.

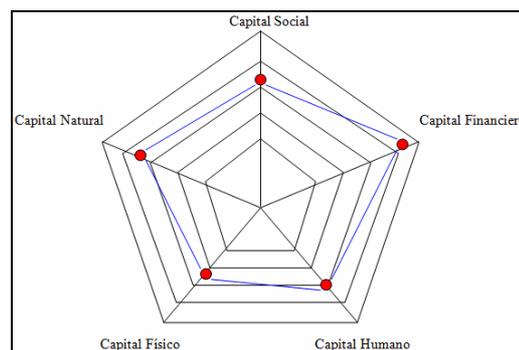


Figura b.

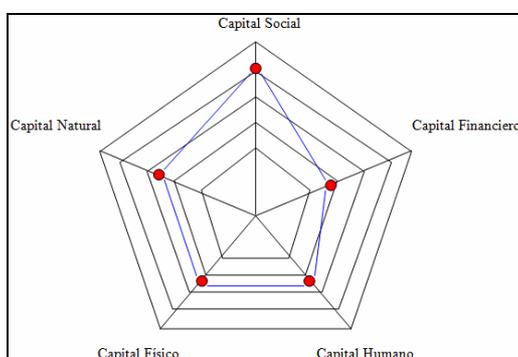


Figura c.

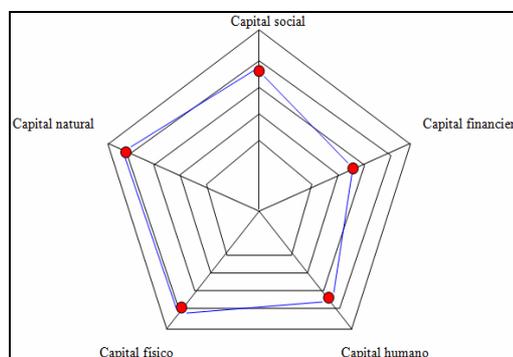


Figura d.

Figura 6. Pentágonos de evaluación de capitales de los cantones: a) El Carmen; b) El Rosario; c) Santa Rosa; d) Río Chiquito.

En la figura 6, se presentan las calificaciones de todos los capitales en cada comunidad. Se puede observar que, en El cantón El Carmen, la fortaleza es toda la infraestructura física con la que cuenta la comunidad, pero la debilidad de esta comunidad es su capital natural, es decir, que sus recursos naturales están sufriendo un deterioro constante. En el cantón El Rosario, el activo que representa la mayor fortaleza, es el financiero, lo que quiere decir que la población tiene otras fuentes de ingreso económico familiar, como créditos y/o remesas; en este mismo cantón, se tiene el problema con lo que respecta al activo físico, es decir, la infraestructura y bienes de producción necesarios para la realización de actividades en materia de medios de vida.

El cantón Santa Rosa tiene como fortaleza su capital social, es decir su organización interna, así como redes con instituciones externas a la comunidad, necesarias para

la gestión de proyectos en beneficio de la población y el medioambiente; sin embargo, la debilidad de este cantón radica en su capital financiero, lo que quiere decir que la población solamente tiene acceso a dinero en efectivo a través de actividades económicas como la agricultura y algunos negocios particulares, pero no son suficientes para lograr el apoyo de instituciones financieras.

En el cantón Río Chiquito, la fortaleza es el capital natural, lo que quiere decir que los recursos medioambientales se encuentran en buenas condiciones y en balance con las actividades de la población, manteniendo su belleza escénica, clima templado y áreas boscosas que permiten el hábitat de muchas especies vegetales y animales; pero al igual que el cantón Santa Rosa, su debilidad es el capital financiero.

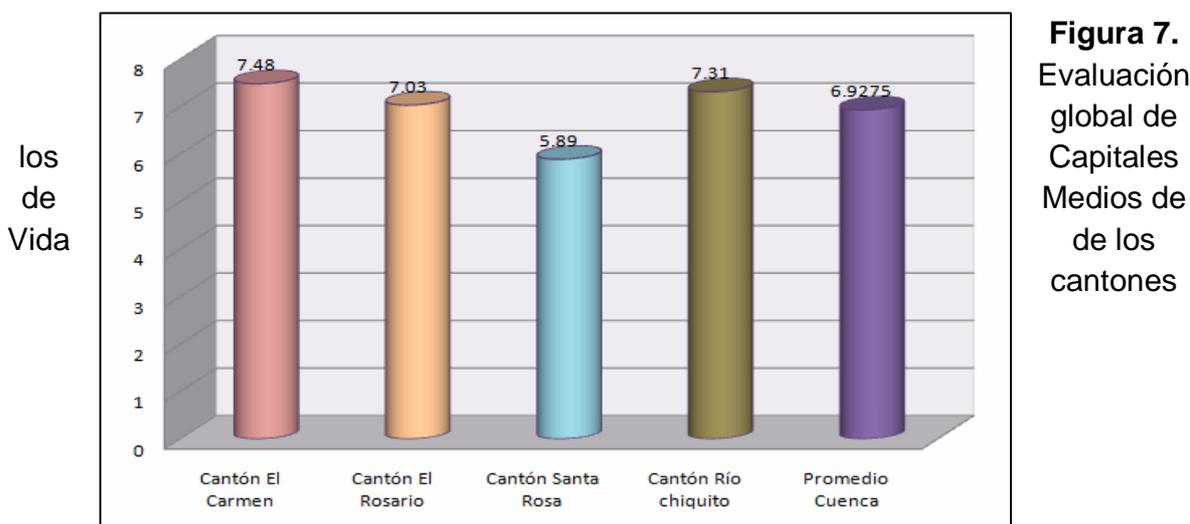


Figura 7. Evaluación global de Capitales Medios de los cantones

comprendidos en la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, 2007.

En la figura 7 se muestra la evaluación promedio de los cantones de la subcuenca del Río Jupula, basada en las calificaciones asignadas por la población, a los cinco capitales comprendidos en la metodología de Medios de Vida Sostenible (figura 6). Con esta información se puede observar que, el cantón El Carmen con una autoevaluación por parte de la población de 7.48, posee un mayor desarrollo social, económico y medio ambiental, respecto a los cantones Río Chiquito con autoevaluación de 7.31, El Rosario con autoevaluación de 7.03 y Santa Rosa con autoevaluación 5.89, siendo este último, el que a criterio de sus habitantes, posee un

menor acceso a servicios de calidad como la salud, educación y agua potable, entre otros. Además, la problemática del relieve y la tenencia de la tierra, la cual no permite a los pobladores establecer obras de conservación de suelos, así como cultivos más rentables como las hortalizas, viéndose limitados a la siembra de cultivos tradicionales como maíz y frijol; sumando a esto, las pocas fuentes de empleo alternas a la agricultura.

4.2 Análisis de calidad físico-química y microbiológica del agua del río Jupula

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio de las muestras de agua del río Jupula, tomadas en las épocas seca y lluviosa del año 2007.

4.2.1 Agua para consumo humano

La calidad de vida de una población está determinada en gran parte por la disponibilidad de agua en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades, así como de buena calidad desde el punto de vista físico-químico y microbiológico.

Cuadro 20. Análisis físico-químico para consumo humano, del agua del río Jupula en los puntos de muestreo.

Análisis	Valor guía (CONACYT/1999)	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
		Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa
Cobre (mg/l)	1.0	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Cromo (mg/l)	0.05	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	1600	304.0	125.5	313.0	121.4	310.0	121.3
Dureza total (mg/l)	400	91.51	34.44	97.43	32.61	93.45	32.36
DQO (mg/l)	-	2.0	67.35	3.0	46.94	8.0	95.92
Hierro (mg/l)	0.10	No detectado	3.80	No detectado	3.0	No detectado	4.1
Manganeso (mg/l)	0.10	No detectado	0.1	No detectado	0.08	No detectado	0.1
Nitratos (mg/l)	10.0	No detectado	2.44	3.77	1.90	No detectado	3.32
Oxígeno disuelto (mg/l)	-	6.95	7.20	7.0	7.20	7.10	7.20
pH	6.0 – 8.5	6.30	6.7	6.30	6.7	6.50	6.65
Plomo (mg/l)	0.01	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado

Sulfatos (mg/l)	250	54.82	75	49.12	66.38	58.33	81.89
Sólidos totales (mg/l)	600	224.0	626	216.0	636.0	218.0	860.0
Sólidos suspendidos (mg/l)	-	No detectado	334	No detectado	242.0	No detectado	576.0
Nitritos (mg/l)	1.0	No detectado					
Turbidez (UNT)	5	No detectado	113.26	No detectado	97.26	No detectado	152

En el cuadro 20, se puede observar que en la época seca, no hay presencia de metales pesados como el cobre, cromo, hierro, manganeso y plomo (algunos de éstos, necesarios para el buen funcionamiento del organismo, pero que en concentraciones elevadas son contraproducentes), en el agua del río Jupula, esto debido a que no existen industrias o fábricas que utilicen éstos metales en sus procesos de producción, las cuales según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1987), son las fuentes principales de contaminación con dichos elementos. De igual manera, no hay presencia de sólidos suspendidos, nitritos y turbidez, debido a que durante la época seca no existe arrastre de suelo, ni de sales fertilizantes por escorrentía, la cual, según la Organización Mundial de la salud (<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1987), es el principal medio de transporte de elementos en terrenos de ladera. En cuanto al análisis de los parámetros, conductividad eléctrica, dureza total, nitratos, sulfatos y sólidos disueltos, a pesar de estar presentes en el agua, sus niveles están por debajo de los límites permisibles para consumo humano; es decir, de ser ingeridos, no causaran un efecto negativo en el organismo.

En cuanto al análisis de pH del agua, se puede observar que los valores están dentro de los rangos permisibles para que el agua pueda ser consumida por el ser humano. Respecto a la DQO, se puede observar que los valores en los puntos de muestreo uno y dos, están por debajo del límite permisible de 20mg/l (según Auquilla, 2005); además, el valor de oxígeno disuelto en estos puntos, brinda información acerca de una concentración promedio de 7mg/l, lo que indica que esta concentración es la adecuada para realizar los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica, excepto en el punto número tres, en donde la DQO es mayor a la

concentración de oxígeno disuelto, debido a una mayor presencia de material de origen orgánico en el lecho del río, y además, a que la velocidad del agua en esta sección es baja, y según Catalán (1987) ésta condición reduce el porcentaje de saturación de oxígeno de la misma.

La presencia de cobre, cromo, plomo y nitritos en época lluviosa al igual que en época seca, es nula. Sin embargo, la presencia de hierro sobrepasa el límite máximo permitido, adjudicando esto a procesos naturales de disolución de rocas y minerales; de igual manera la presencia de manganeso alcanza concentraciones máximas permisibles para aguas con fines de consumo humano.

Respecto al análisis de turbidez, se puede observar que los valores sobrepasan los límites máximos permitidos debido a la escorrentía superficial que se genera por las lluvias, la cual arrastra partículas orgánicas, arenas, limos y arcillas, incrementando de esta manera la presencia de sólidos en suspensión, por lo que el agua tiene una apariencia achocolatada durante la época lluviosa.

En cuanto a los análisis de conductividad eléctrica, dureza total, nitratos y sulfatos, a pesar de mostrar presencia en el agua, sus niveles son inferiores a los límites máximos permitidos. Referente al análisis de sólidos totales disueltos, se puede observar que sus niveles sobrepasan los límites permitidos, debido al arrastre de sales inorgánicas y materia orgánica por la escorrentía generada por la lluvia.

El análisis de pH muestra que sus valores están dentro del rango permitido para aguas con fines de consumo humano.

Respecto al análisis de DQO, se observa que los valores superan el límite máximo permisible de 20mg/lit (según Auquilla, 2005), además, el Oxígeno Disuelto aunque presenta una concentración apropiada para la vida acuática, ésta no es la adecuada para permitir los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica.

Desde el punto de vista físico-químico y en base a, los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio del agua del río Jupula y a los argumentos vertidos anteriormente, el agua puede ser utilizada para consumo humano durante la época seca. Sin embargo, ésta condición no se mantiene durante la época lluviosa, es decir el agua del río no puede ser utilizada para consumo humano.

Cuadro 21. Análisis microbiológico con fines para consumo humano, del agua del río Jupula en los puntos de muestreo.

Tipo de análisis	Valor guía	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
		Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa
Coliformes totales (NMP/100ml)	<1.1	7	6300	9.0	5400	17	13000
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	<1.1	490	<1.1	1700	<1.1	13000
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	0	<1.1	140	<1.1	1100	<1.1	13000
Conteo total de bacterias heterótrofas (UFC/100ml)	0	40	1865	185	1900	780	1750

A través de los datos presentados en el cuadro 21, se observa que en el muestreo realizado en la época seca del año 2007, los niveles de bacterias coliformes totales así como fecales, sobrepasaron los umbrales máximos establecidos para aguas con fines de consumo humano. De igual manera, la presencia de *Escherichia coli* y bacterias heterótrofas, sobrepasan el límite máximo permitido en guas para consumo humano, y partiendo de la premisa, según la organización mundial de la Salud (OMS 1972), de que todos los gérmenes del grupo coliforme son ajenos al agua, se deduce que existe una leve contaminación con material fecal de origen animal, debido a que éstos llegan a las riveras del río para utilizarlo como abrevadero.

En la época lluviosa del año 2007, los niveles de contaminación microbiológica se ven incrementados drásticamente debido al arrastre por escorrentía, de materiales orgánicos así como de material fecal de origen animal.

Basándose en los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos del agua del río Jupula, se determinó que no es apta para consumo humano, dado sus niveles de contaminación superiores a los límites máximos permitidos, por lo que según (OPS, 1987; OPS 1988), su empleo en la preparación de diversos alimentos puede generar infecciones gastrointestinales en la población.

4.2.2 Agua para uso agrícola

En el cuadro 22, se muestran los resultados de los análisis físico-químicos del agua del río Jupula, con fines de uso agrícola.

Cuadro 22. Análisis físico-químico con fines agrícolas, del agua del río Jupula en los puntos de muestreo.

Análisis	Valor guía	Punto1		Punto 2		Punto 3	
		Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa
Aluminio (mg/lit)	5,0	-	-	-	-	-	-
Arsénico (mg/lit)	0,1	-	-	-	-	-	-
Berilio (mg/lit)	0,1	-	-	-	-	-	-
Cadmio (mg/lit)	0,01	-	-	-	-	-	-
Cinc (mg/lit)	2,0	-	-	-	-	-	-
Cobalto (mg/lit)	0,05	-	-	-	-	-	-
Cobre (mg/lit)	0,2	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Cromo (mg/lit)	0,1	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Flúor (mg/lit)	1,0	-	-	-	-	-	-
Hierro (mg/lit)	5,0	No detectado	3.80	No detectado	3.0	No detectado	4.1
Litio (mg/lit)	2,5	-	-	-	-	-	-
Manganeso (mg/lit)	0,2	No detectado	0.1	No detectado	0.08	No detectado	0.1
Molibdeno (mg/lit)	0,01	-	-	-	-	-	-
Níquel (mg/lit)	0,2	-	-	-	-	-	-
pH	4,5 - 9,0	6.30	6.7	6.3	6.7	6.50	6.65
Plomo (mg/lit)	5,0	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Selenio (mg/lit)	0,02	-	-	-	-	-	-
Vanadio (mg/lit)	0,1	-	-	-	-	-	-

Se observa en estos datos que, en ambas épocas del año no existe restricción para el uso del agua con fines de riego, a pesar de que en la época lluviosa hay presencia de hierro y manganeso, debido a procesos naturales de disolución de rocas y minerales, aunque en niveles inferiores a los límites máximos permitidos.

Estos elementos ya sea por exceso o déficit, pueden producir alteraciones en el metabolismo de las plantas (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Mn.htm>).

4.2.3 Agua para uso pecuario

En el cuadro 23, se observan los parámetros analizados para determinar la calidad del agua desde el punto de vista pecuario.

Cuadro 23. Análisis físico-químico con fines pecuarios, del agua del río Jupula en los puntos de muestreo.

Análisis	Valor guía	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
		Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa
Aluminio (mg/l)	5,0	-	-	-	-	-	-
Arsénico (mg/l)	0,2	-	-	-	-	-	-
Boro (mg/l)	5,0	-	-	-	-	-	-
Cadmio (mg/l)	0,05	-	-	-	-	-	-
Cinc (mg/l)	25,0	-	-	-	-	-	-
Cobre (mg/l)	0,5	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Cromo (mg/l)	1,0	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Mercurio (mg/l)	0,01	-	-	-	-	-	-
Nitratos + Nitritos (mg/l)	100,0	No detectado	2.44	3.77	1.90	No detectado	3.32
Nitrito (mg/l)	10,0	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado mg/l	No detectado mg/l
Plomo (mg/l)	0,1	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado mg/l	No detectado mg/l
Contenido de Sales	3.000	-	-	-	-	-	-

Se determinó a partir de estos resultados, que el agua del río Jupula puede ser utilizada para consumo animal indistintamente durante la época seca, así como durante la época lluviosa, aún cuando existe una mínima presencia de algunos parámetros (nitratos y nitritos), que no sobrepasan los umbrales máximos permisibles.

4.2.4 Agua para uso recreacional

El cuadro 24 se muestran los resultados de los análisis de laboratorio realizados al agua del río Jupula, para fines de uso recreacional.

Cuadro 24. Análisis físico-químico con fines recreacionales, del agua del río Jupula en los puntos de muestreo.

Tipo de análisis	Valor guía	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
		Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa	Valores para época seca	Valores para época lluviosa
Coliformes totales (NMP/100ml)	200	7	6300	9.0	5400	17	13000
Coliformes fecales (NMP/100ml)	1.000	<1.1	490	<1.1	1700	<1.1	13000
Compuestos Fenólicos (mg/l)	0,002	-	-	-	-	-	-
pH	5,0-9,0	6.30	6.70	6.30	6.70	6.50	6.65
Tensoactivos (mg/l)	0,5	-	-	-	-	-	-

Según estos datos, se puede observar que en la época seca el agua del río es apta para utilizarse con este fin, dado que los niveles de los parámetros analizados están por debajo de los umbrales máximos permitidos. Sin embargo durante la época lluviosa, el agua del río no puede ser utilizada para fines recreacionales debido a que los parámetros analizados sobrepasan los niveles máximos permitidos.

4.3 Análisis de cantidad de agua del río Jupula

En esta sección se analizan los datos obtenidos de los aforos realizados al río Jupula en diferentes épocas y fechas, comprendidas en los años 2007 y 2008, para conocer el comportamiento del mismo en las épocas seca y lluviosa.

4.3.1 Análisis de resultados de medición de caudal en el cauce del Río Jupula en el mes de abril de 2007.

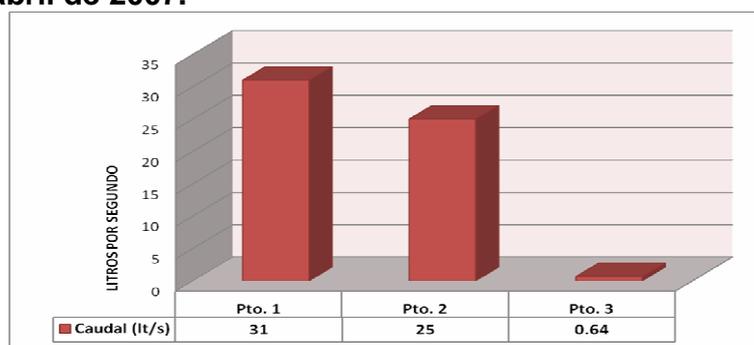


Figura 8. Resultados de medición de caudal en época seca del cauce del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, Abril 2007.

La cantidad de agua en el cauce del río es mayor en el punto de muestreo número uno y a medida el agua avanza río abajo, la cantidad disminuye significativamente hacia el punto de muestreo número dos, siendo ésta disminución de 6 lt/seg. Finalmente, del punto número dos al punto número tres, se puede observar una disminución drástica del caudal, de 25 lt/seg a 0.64 lt/seg.

La diferencia de caudales entre los puntos de muestreo del río Jupula se atribuye, a las diferentes salidas del agua de éste (anexo 9), tales como canales y tuberías de polietileno que desvían el agua a diferentes parcelas para ser utilizada en actividades agropecuarias. Dicha asciende a 16.94 lt/seg y se da durante esta época del año (seca), ya que no hay arrastre de sedimentos, rocas, hojas, y desechos orgánicos e inorgánicos en general que puedan obstruir el paso del agua a través del canal o la tubería.

4.3.2 Análisis de resultados de medición de caudal en el cauce del río Jupula en el mes de septiembre de 2007.

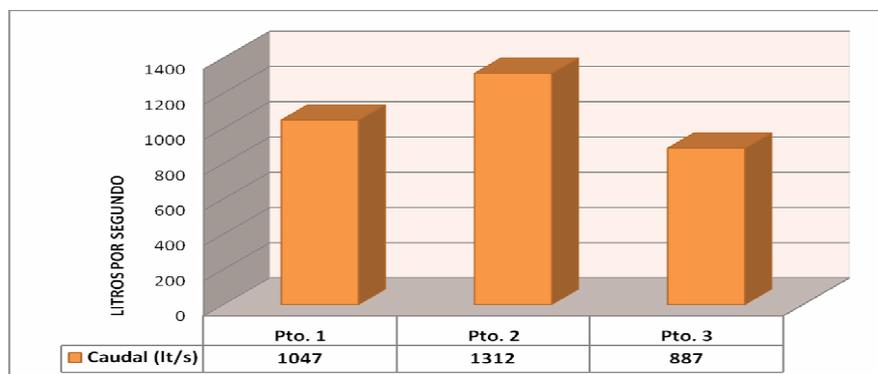


Figura 9. Resultados de medición de caudal en época lluviosa del cauce el río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, Septiembre 2007

No se presenta un patron coherente, partiendo de la premisa que en el punto número tres el caudal debería ser mayor que en el punto dos y el punto uno, pues en este punto por ser la desembocadura del río, se acumula toda el agua de la subcuenca. Durante ésta época, la población agricultora, no hace uso de éste recurso, debido a la gran cantidad de sólidos y componentes orgánicos e inorgánicos en el agua.

4.3.3 Análisis de resultados de medición de caudal en el cauce del Río Jupula en el mes de marzo de 2008.

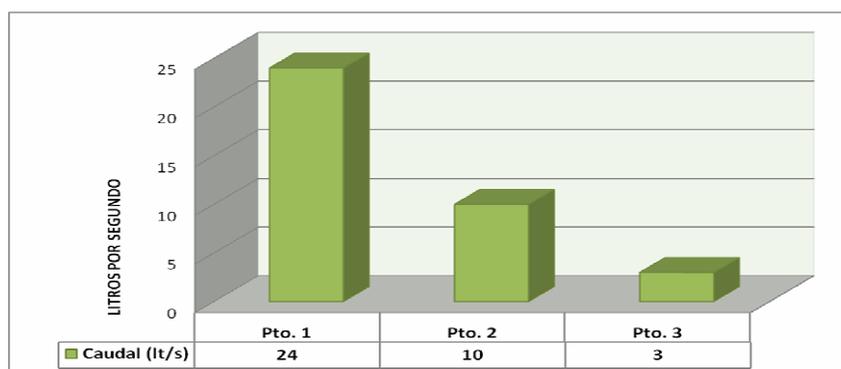


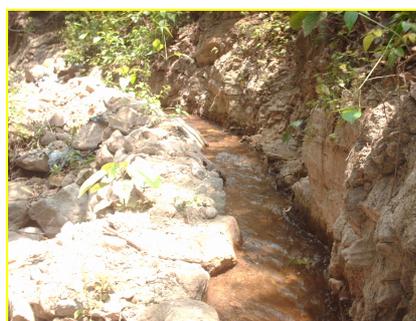
Figura 10. Resultados de medición de caudal en época seca del cauce del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, Marzo 2008.

En la figura 10 se presentan los resultados obtenidos de la medición de caudales en los puntos de muestreo del cauce del río Jupula en el mes de marzo de 2008. Se puede observar que al igual que en el muestreo realizado en el mes de abril de 2007, la cantidad de agua en el cauce del río es mayor en el punto de muestreo número uno y a medida el agua avanza río abajo la cantidad disminuye significativamente hacia el punto de muestreo número dos, siendo ésta disminución de 14 lt/seg. Finalmente, del punto número dos al punto número tres se puede observar una disminución del caudal de 10 lt/seg a 3 lt/seg.

La diferencia de caudales entre los puntos de muestreo del río Jupula se atribuye a las extracciones de agua en la parte alta y media de la subcuenca (anexo 9), por lo que el flujo de agua en algunas secciones de la parte mas baja de la subcuenca es nulo, afectando de esta manera la biota acuática y a los productores agrícolas de la parte baja del río. Tales extracciones son por ejemplo, canales sin revestimiento (fotografía 2) y tuberías de polietileno (fotografía 1) que desvían el agua a diferentes parcelas, para ser utilizada en actividades agropecuarias como: riego de cultivos hortícolas y pastizales principalmente.



Fotografía 1. Extracción con tubo de polietileno



Fotografía 2. Extracción de agua por canal de derivación

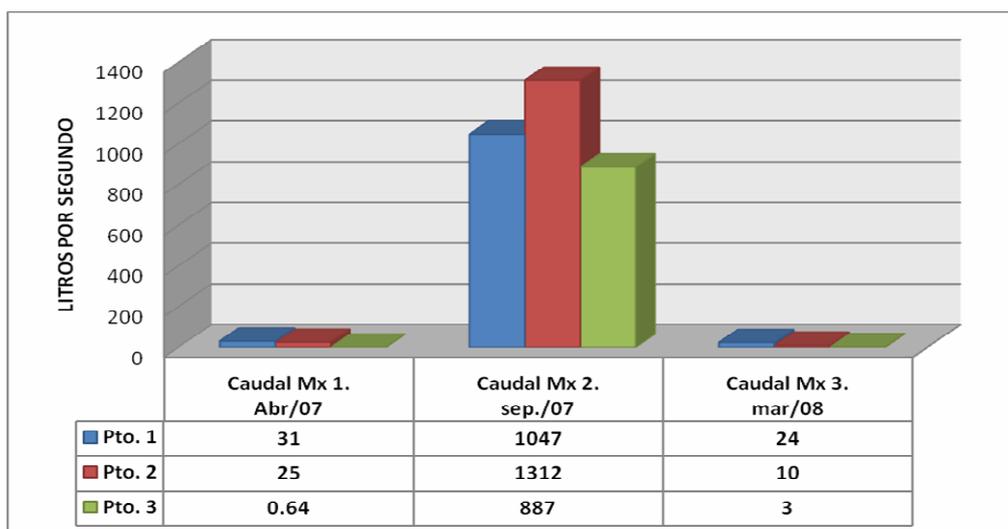


Figura 11. Cronología de caudales de los puntos de muestreo del cauce del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador, período 2007 – 2008.

La figura 11 muestra el resumen cronológico de los resultados obtenidos de la medición de caudales en los tres puntos de muestreo en las épocas seca y lluviosa de 2007 y seca de 2008, pudiendo observar que durante el verano el caudal del río se reduce drásticamente hasta casi llegar al punto de secarse en la parte baja por las diferentes extracciones de agua en diferentes puntos del cauce del río; extrayéndose un mayor caudal a través de los canales de derivación, los cuales por no estar revestidos generan pérdidas considerables por infiltración a lo largo de los mismos.

4.4 Análisis de Recarga Acuífera Potencial de la subcuenca del río Jupula

La recarga acuífera es la infiltración de agua superficial que pasa la zona no-saturada del subsuelo y llega a la zona saturada de agua subterránea y forma parte del agua del acuífero. A continuación se presentan los resultados del proceso de cálculo de recarga acuífera subterránea potencial de la subcuenca del río Jupula.

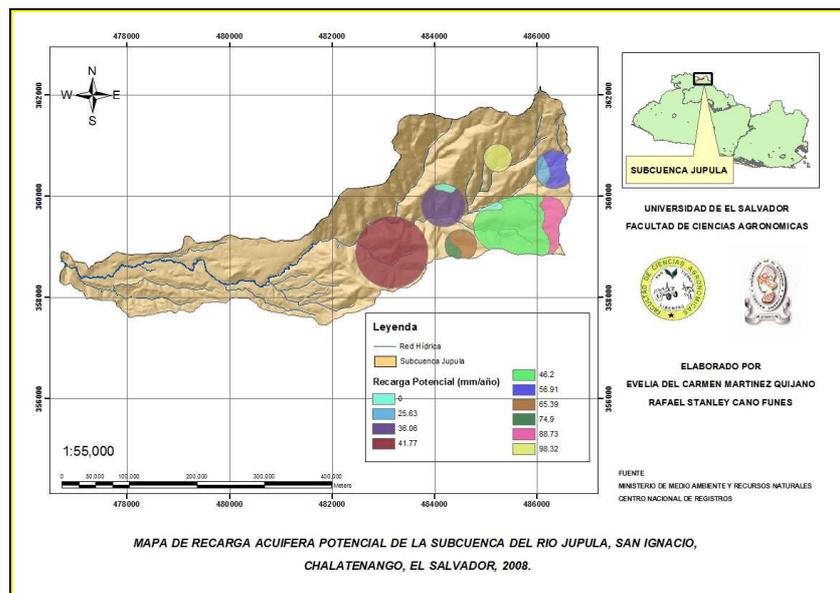


Figura 12. Mapa de recarga acuífera subterránea potencial de la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador.

La figura 12 muestra las diferentes áreas de recarga acuífera subterránea potencial con sus respectivos valores de precipitación percolada en milímetros por año, haciendo un total aproximado de 533.91 mm/año de precipitación recargada en toda la subcuenca.

Se puede observar además, que el 100% de las zonas establecidas como áreas de recarga acuífera están ubicadas en las partes media y alta de la subcuenca del río Jupula, debido al fallamiento geológico determinado en la zona (anexo 4) y a la presencia de manantiales cercanos a estas fallas geológicas (cuadro 25), siendo esto un claro indicio de la existencia de un acuífero formado por fisuras en el subsuelo (por donde el agua circula hasta la superficie).

Las zonas de recarga acuífera potencial tienen un uso de suelo o cobertura vegetal de bosque de coníferas y pastos naturales mayoritariamente, y terrenos principalmente agrícolas así como mosaicos de cultivos y pastos en menor medida, están ubicadas en terrenos con pendientes topográficas mayores al 30%, comprendidas por los miembros geológicos Bálsamo (rocas efusivas básicas-intermedias), con un área de 604,421.062mt²; Chalatenango (rocas piroclásticas ácidas, ignimbritas, epiclásticas volcánicas, localmente efusivas ácidas intercaladas),

con un área de 1957715.053mt² y, Morazán-Chalatenango (rocas intrusivas ácidas hasta intermedias), con un área de 2,209,048.238 mt².

Cuadro 25. Ubicación geográfica y caudales de los manantiales de la subcuenca del río Jupula, utilizados para el cálculo de recarga acuífera potencial

Punto	Longitud	Latitud	Caudal (lps)	Altitud
1	358323.51	480484.57	0.16	984
2	358299.86	479994.43	0.1	931
3	358134.87	479829.78	0.1	943
4	359096.15	479558.68	0.17	922
5	359039.72	486013.98	0.25	2105
6	359091.39	486096.06	0.23	2108
7	359087.33	486105.85	0.22	2108
8	359239.30	485553.74	0.062	1937
9	359151.66	485517.21	0.13	1945
10	359407.84	485660.47	0.2	1917
11	359441.94	485552.93	0.11	1911
12	359464.77	485326.02	0.1	1892
13	359422.09	485377.97	0.1	1864
14	359380.01	485067.39	0.1	1763
15	359312.57	485004.97	0.1	1748
16	359299.35	484805.04	0.02	1722
17	359049.68	484582.17	0.033	1684
18	359024.89	484594.33	0.1	1673
19	359016.83	484624.48	0.1	1688
20	358970.97	484674.32	0.99	1709
21	360666.99	485237.97	1.89	1917
22	360610.50	485248.20	0.25	1884
23	360623.87	485306.73	0.35	1895
24	360600.26	485311.27	0.2	1873
25	360711.09	486169.38	0.45	2139
26	360598.85	486284.29	0.06	2152
27	360320.16	486502.68	0.016	2190
28	359807.85	486412.54	0.41	2175
29	359476.14	486133.67	0.35	2167
30	359340.46	486260.60	0.3	2191
31	358942.69	483210.12	0.2	1493
32	358943.87	482770.89	0.22	1321
33	358754.73	482852.46	0.19	1286
34	358662.28	482997.94	0.158	1288
35	358646.24	483178.95	0.093	1290
36	358601.24	483241.13	0.187	1376
37	358483.96	483359.02	0.105	1430
38	358830.93	483416.71	0.23	1438
39	358846.14	483433.44	0.143	1442
40	358885.85	483718.27	0.227	1522
41	359100.36	484234.39	0.14	1586
42	359070.50	484331.05	0.016	1601
43	361481.78	483449.15	0.13	2089
44	361570.13	484936.06	0.081	2223
45	360487.07	483709.27	0.55	1635
46	360042.40	483969.88	0.15	1664
47	359989.76	484040.76	0.07	1637
48	359829.64	484309.79	0.017	1626
49	359710.10	484317.44	0.11	1562
50	359549.98	484397.41	0.1	1551

4.5 Acciones orientadas a la solución de la problemática de la cantidad y calidad de agua de la subcuenca del río Jupula.

Tomando en cuenta toda la información biofísica y socioeconómica obtenida a partir de giras de campo, talleres participativos y pláticas con algunos de los habitantes de la subcuenca en estudio, se plantean algunas acciones como la zonificación para la protección de fuentes de agua, el manejo sostenible de las áreas de recarga acuífera potencial y, el manejo eficiente del agua de riego en la cuenca alta y media, que puedan servir para disminuir la problemática de la disponibilidad de agua en calidad y cantidad.

4.5.1 Zonificaciones para la protección de fuentes de agua

Los manantiales son utilizados comúnmente para abastecerse de agua para consumo. La gente utiliza estos ojos de agua para su sobrevivencia, por lo que se les debe brindar una especial protección. Para brindarle protección a estos manantiales existe la metodología ZOP (Zonificaciones Para Protección de Fuentes de Agua).

Existen dos situaciones hidrogeológicas para el origen de un manantial: el primer caso es cuando el manantial está en una situación libre y el segundo caso cuando el manantial sale debajo de una presión hidráulica (confinado). El tipo de manantial observado en la subcuenca en estudio es el primero, donde el agua del manantial sale de zonas de fracturas y grietas libremente de una altura en forma de una pequeña cascada de agua.



Fotografía 3. Manantial en falla geológica



Fotografía 4. Identificación de manantial en

En las fotografías anteriores se puede observar escurrimientos de agua provenientes de partes fracturadas en el perfil del suelo.

En este caso los manantiales tienen una pequeña cuenca de captación (figura 13b), y la zona de protección de este manantial está arriba del punto de captura/salida de agua. La zona de protección no es concéntrica, comienza en el punto de salida del agua y sigue en la dirección hacia arriba, de donde viene el agua subterránea. Entonces, la primera zona de protección para los manantiales identificados en la subcuenca del Río Jupula formará un semicírculo con un mínimo de 30 mt de ancho y en la dirección de la pendiente topográfica hacia arriba (figura 13a), y la segunda zona de protección del manantial (figura 13b), se determinará mediante el uso de la fórmula siguiente (FORGAES, 2005).

$$A = Q / R$$

Donde:

- A = área de protección del manantial (km²)
- Q = caudal del manantial (lt/seg)
- R = recarga acuífera regional (lt/seg) en 1 km²

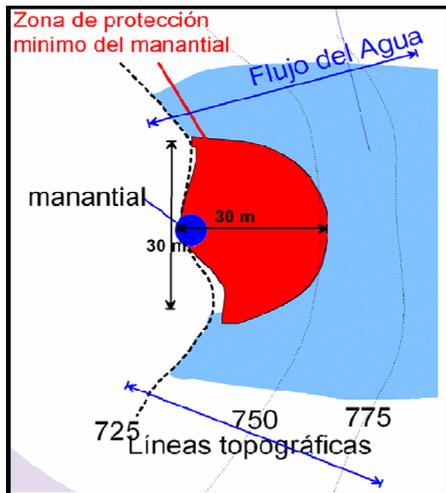


Figura a.

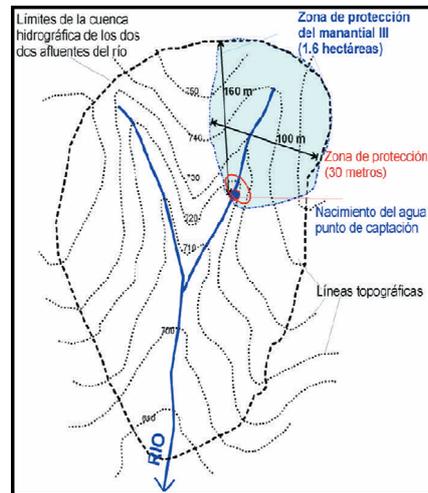


Figura b.

Figura 13. a) zona de protección mínima del manantial; b) zona de protección de recarga del manantial

4.5.2 Manejo recomendado de las áreas de recarga acuífera potencial

Las áreas identificadas como zonas de recarga acuífera potencial en la subcuenca Jupula, se encuentran ubicadas en suelos clasificados agrologicamente como clase VIII, es decir tierras que no presentan posibilidad para un aprovechamiento agropecuario o forestal. En general son tierras muy accidentadas con pendientes mayores a 50 o 60%, o de menor inclinación pero muy pedregosas y con suelos muy superficiales, y actualmente están siendo utilizadas en parte, para cultivos anuales (cultivos limpios) como los granos básicos.

El manejo recomendado del suelo en estas áreas, consistirá en la conservación de la cobertura de bosque y pasturas actual, exceptuando aquellas zonas en las cuales se encuentran establecidos cultivos que generan un conflicto de uso de suelo (granos básicos y hortalizas), pero que a su vez forman parte de los medios de vida de algunas familias. Se hace necesario, en estas zonas de conflicto, el establecimiento de obras de conservación de suelo y agua para disminuir la escorrentía y mejorar la infiltración en el perfil del suelo, de manera que se compense el cambio de uso de suelo generado (figura 14).

Dentro de las prácticas de conservación de suelo y agua que podrían establecerse en las áreas que poseen conflicto de uso de suelo, y según sea conveniente podemos mencionar:

- Manejo de rastrojos dentro del área de cultivo (mulch)
- Acequias de ladera
- Barreras vivas
- Fosas de infiltración
- Cultivos en contorno

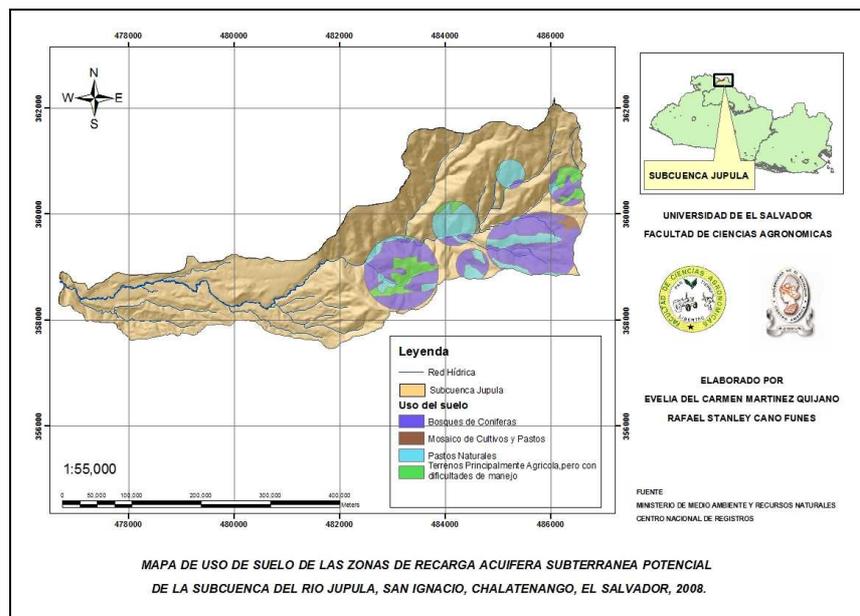


Figura 14. Mapa de uso de suelo de las zonas de recarga acuífera subterránea potencial de la subcuenca del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador.

4.5.3 Manejo eficiente del agua de riego en la cuenca alta y media.

Actualmente no existe un manejo eficiente del recurso hídrico en las áreas de cultivo de la subcuenca Jupula debido a que los productores no tienen limitantes de uso, y además no cuentan con un programa de uso racional del mismo, por lo que el gasto de agua en concepto de riego es excesivo. El manejo agrícola del agua en estas zonas, debe consistir en el establecimiento de sistemas de riego que permitan la aplicación eficaz y eficiente del agua en base a las necesidades hídricas de los cultivos, a partir de una programación de uso.

5 CONCLUSIONES

1. Los medios de vida de la población de la subcuenca del río Jupula, se basan principalmente en las remesas familiares, las actividades agrícolas como la producción de hortalizas y granos básicos, y el empleo como jornalero.
2. Los medios de vida como la agricultura y la ganadería, afectan de forma negativa la calidad del agua del río Jupula.
3. Existe en la subcuenca del Río Jupula, una buena organización comunitaria así como una buena infraestructura básica, siendo éstas, fortalezas que contribuyen al desarrollo local.
4. La calidad del agua del Río Jupula se ve afectada por el arrastre de aguas servidas de las comunidades, material fecal de origen animal y productos agrícolas como fertilizantes, insecticidas, fungicidas, entre otros.
5. Según los resultados obtenidos en el año 2007, el agua del Río Jupula no puede ser utilizada para consumo humano sin previo tratamiento de potabilización, sin embargo, si puede ser utilizada para actividades recreativas y agropecuarias; aunque estas condiciones pueden variar con el paso del tiempo.
6. Las extracciones de agua para usos agrícolas en la parte media y baja de la subcuenca del Río Jupula, disminuyen significativamente el caudal que llega al tramo más bajo del río, a tal grado de secarlo en una sección en la parte baja del mismo durante el periodo de finalización de la época seca (marzo – abril).
7. El cien por ciento de la recarga acuífera subterránea de la subcuenca del Río Jupula, se concentra en la parte alta de la misma debido al fallamiento geológico de la zona.

8. El incremento poblacional en la subcuenca del Río Jupula afecta directamente la calidad de los recursos naturales.
9. La subcuenca del Río Jupula posee un atractivo biofísico y socioeconómico potencial para el desarrollo del agroecoturismo.

6 RECOMENDACIONES

1. Implementación de obras de conservación de suelos y agua en las zonas agrícolas, para favorecer la infiltración del agua y reducir la pérdida de suelo para aminorar el proceso severo de erosión.
2. Realizar estudios que permitan la implementación de una metodología de pago por servicios ambientales para el mantenimiento, conservación y protección del recurso hídrico, belleza escénica, biodiversidad y bosque.
3. Realizar monitoreo periódico del caudal así como de la calidad física, química y microbiológica del agua del río Jupula.
4. Realizar análisis físico-químicos y microbiológicos a las fuentes de agua de donde se abastece la población para consumo.
5. Implementar un sistema de tratamiento previo de desinfección, al agua que será consumida en el hogar.
6. Realizar pruebas con cilindros infiltrómetros en los diferentes miembros geológicos encontrados en la subcuenca para conocer la capacidad de infiltración de estos, y en base a ello proponer las medidas más adecuadas.
7. Realizar gestión de fondos económicos y de apoyo técnico para el fortalecimiento del agroecoturismo en la parte alta de la subcuenca.

8. Elaborar un plan de manejo de la subcuenca del río Jupula, para proponer acciones orientadas a lograr un uso racional y sostenible de los recursos naturales existentes.

BIBLIOGRAFIA

1. Albert, L. A. 2002. Curso Básico de Toxicología Ambiental. México. LIMUSA. 310p.
2. APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WPCF (Water Pollution Control Federation). 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Trad. S.A. Dirki. Madrid. España.
3. APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WPCF (Water Pollution Control). 1963. Métodos Estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. Trad. P. J. Caballero. Undécima Edición. México. INTERAMERICANA. S. A.
4. Artiga, R; Molina, H. 1999. Recursos de información sobre el agua en El Salvador: Situación actual y desafíos. Consultado 5 de marzo de 2007. Disponible en <http://www.prisma.org.svpubsrecagua>
5. Auquilla, C. 2005. Uso de suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Sub Cuenca Río Jobonal, Costa Rica. Turrialba. 139p.

6. Ávila, G. 1999. Hidráulica General. 1v: Fundamentos. México. D.F. LIMUSA. P. 136, 241.
7. Bran, J; Sanders, A. 2005. Los Medios de vida y el uso del agua en la cuenca baja del río Choluteca. 1 ed. Honduras. Guaymuras. P. 9-32.
8. Calidad del agua (en línea). Wikipedia, la enciclopedia libre. Consultado 12 de diciembre de 2007. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua
9. Calidad del agua. Environmental Protection Agency (en línea). Consultado 14 de febrero de 2007. Disponible en <http://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>
10. Catalan, L. 1981. Química del agua. Ed. Alonso, Madrid, España.
11. CATIE. 2004. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 2004. Priorización de subcuencas estratégicas para la ejecución del Programa Trinacional de Desarrollo Sostenible de la Cuenca alta del río Lempa. No 5. Esquipulas, Guatemala. P. 3 – 10.
12. Chow, V. 1994. Hidráulica de Canales Abiertos. Trad. G. P. Juan. Colombia. D` VINNI LDTA. P. 27
13. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2007. Medios de vida sostenible: Un marco para el análisis de línea base, planeación, seguimiento y evaluación de impacto (en línea). Consultado 6 de marzo de 2007. Disponible en http://www.ciat.cgiar.org/agroempresas/espanol/Rec_de_infomemoriasiicurscd_curs_oContenidoModulo9620lineabase_cuatro_capitalestextopdf

14. Collins, C. 1969. Métodos microbiológicos. Trad. JM Tarazona. ACRIBIA. Zaragoza, España.
15. CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). 1999. Norma salvadoreña para la calidad del agua potable. COSUDE. 1 ed. P. 8-29.
16. CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). 1999. Norma salvadoreña de calidad del agua envasada. Agua: Agua Embasada. P. 7-12.
17. Coronel, T. 1984. Hidráulica. Vigésima segunda. México. CONTINENTAL. P. 287-289.
18. El Agua (en línea). Consultado 26 de mayo de 2008. Disponible en <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html>
19. Faustino, J. 2006. Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1 Disco compacto, 8mm (CATIE DC-ROM).
20. FORGAES (Fortalecimiento de la Gestión Ambiental de El Salvador). 2005. Método para zonificaciones de protección de fuentes de agua (ZOP). FORGAES. El Salvador. p.53.
21. Importancia del agua (en línea). Smith, Lionney. Consultado el 7 de marzo de 2007. Disponible en <http://www.idaan.gob.pa/importancia.htm>
22. Israelsen, W. 1965. Principios y aplicaciones del riego. 2 ed. REVERTE. P. 131-133
23. Jenkins, D. 1993. Química del agua: Manual de laboratorio. 1 ed. LIMUSA. México. P. 105-109.

24. La opinión del agua (en línea). Consultado el 7 de marzo de 2007. Disponible en [http://proamazonia.gob.pe/bpa/opinion del agua.htm](http://proamazonia.gob.pe/bpa/opinion%20del%20agua.htm)
25. La importancia del agua en el planeta tierra(en línea). Consultado el 12 de mayo de 2008; Disponible en <http://www.megasitio.org/2007/09/19/la-importancia-del-agua-en-el-planeta-tierra.html>
26. Mata, Z; Chaevez, H; Ventura, E. 2004. Comportamiento de flujos subterráneos dentro del complejo volcánico región hidrográfica E. P. 42, 23.
27. Medición de ríos y arroyos (en línea). Consultado 6 de marzo de 2007; Disponible en <http://www.tierradelfuego.org.ar/agua/informacion/aforos.html>
28. Medidas comunes del agua (en línea). Consultado 22 de febrero de 2007. Disponible en <http://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html>
29. Mendez, E; Herrador, D. 2005. Capacitación sobre el enfoque y metodología de Medios de Vida Sostenibles (MVS / 2005). Parque Nacional El Imposible, Ahuachapan, El Salvador. 2005). (Medios de Vida Sostenibles). P.1-41.
30. Metales Pesados: Toda una Amenaza (en línea). Consultado 7 de marzo de 2007. Disponible en <http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/27009.php>
31. OMS (Organización Mundial Para la Salud). 1972. Normas internacionales para el agua. 3 ed. Ginebra.43 p.
32. OMS (Organización Mundial Para la Salud). 1995. Normas Internacionales para el agua. 2 ed. 1v. 14-15p.

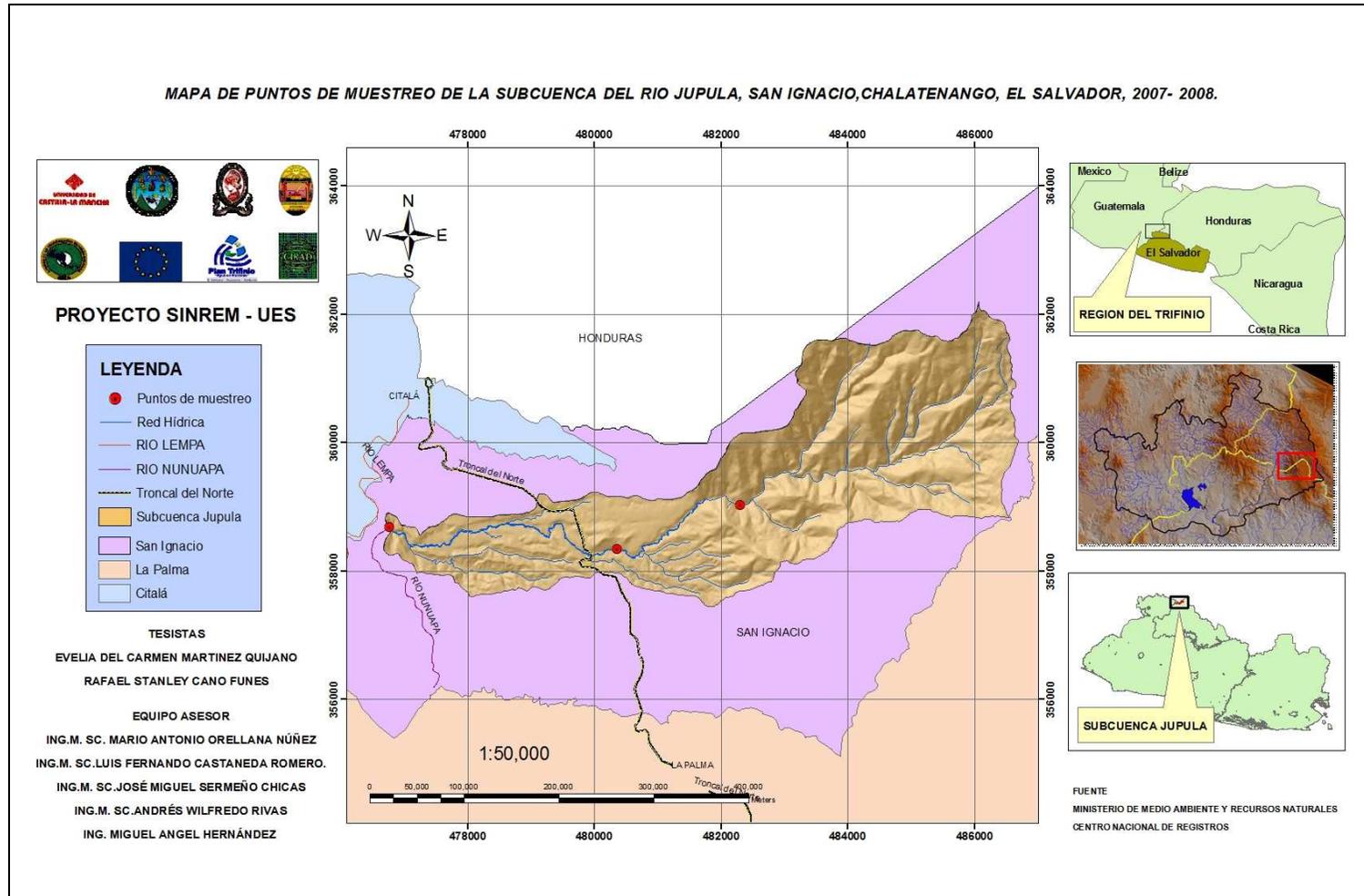
33. OPS (Organización Panamericana Para la Salud). 1985. Guías para la calidad del agua potable. 1v. p.81-90
34. OPS (Organización Panamericana Para la Salud). 1987. Guías para la calidad del agua potable. 2v. Criterios relativos a la salud y otra información base. p. 3-20
35. OPS (Organización Panamericana Para la Salud). 1988. Guías para la calidad del agua potable. 3v. control del agua potable en sistemas de abastecimiento para las comunidades. p. 29-35,47-111.
36. Orskov, F; Orskov, I; Norris, J. 1970. Serotyping of enterobacteriaceae with special emphasis on determinación: Methods in microbiology. 11 v. London, Academic Press. s.e.
37. Parámetros de caracterización del agua (en línea). Consultado 24 de febrero de 2007. Disponible en <http://www.hidritec.com/doc-parametros1.htm>
38. PRISMA (Programa Salvadoreño de investigación Sobre el Desarrollo y el Medio ambiente). 2001. Contaminación del agua en El Salvador: Desafíos y respuestas institucionales (en línea). Consultado 22 de abril de 2008. Disponible en <http://www.prisma2.org.sv/contenidos/svrdocumentos/203.archivo>
39. Propiedades químicas del aluminio: Efectos sobre la salud y el medio ambiente (en línea). Consultado el 7 de marzo de 2007. Disponible en <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Al.htm>
40. Regulaciones concernientes a la calidad del agua para consumo humano (en línea). OMS (Organización Mundial de la Salud). Consultado 7 de marzo de 2007. Disponible en

<http://www.lentech.com/espanol/estandares-calidad-agua-OMS.htm>

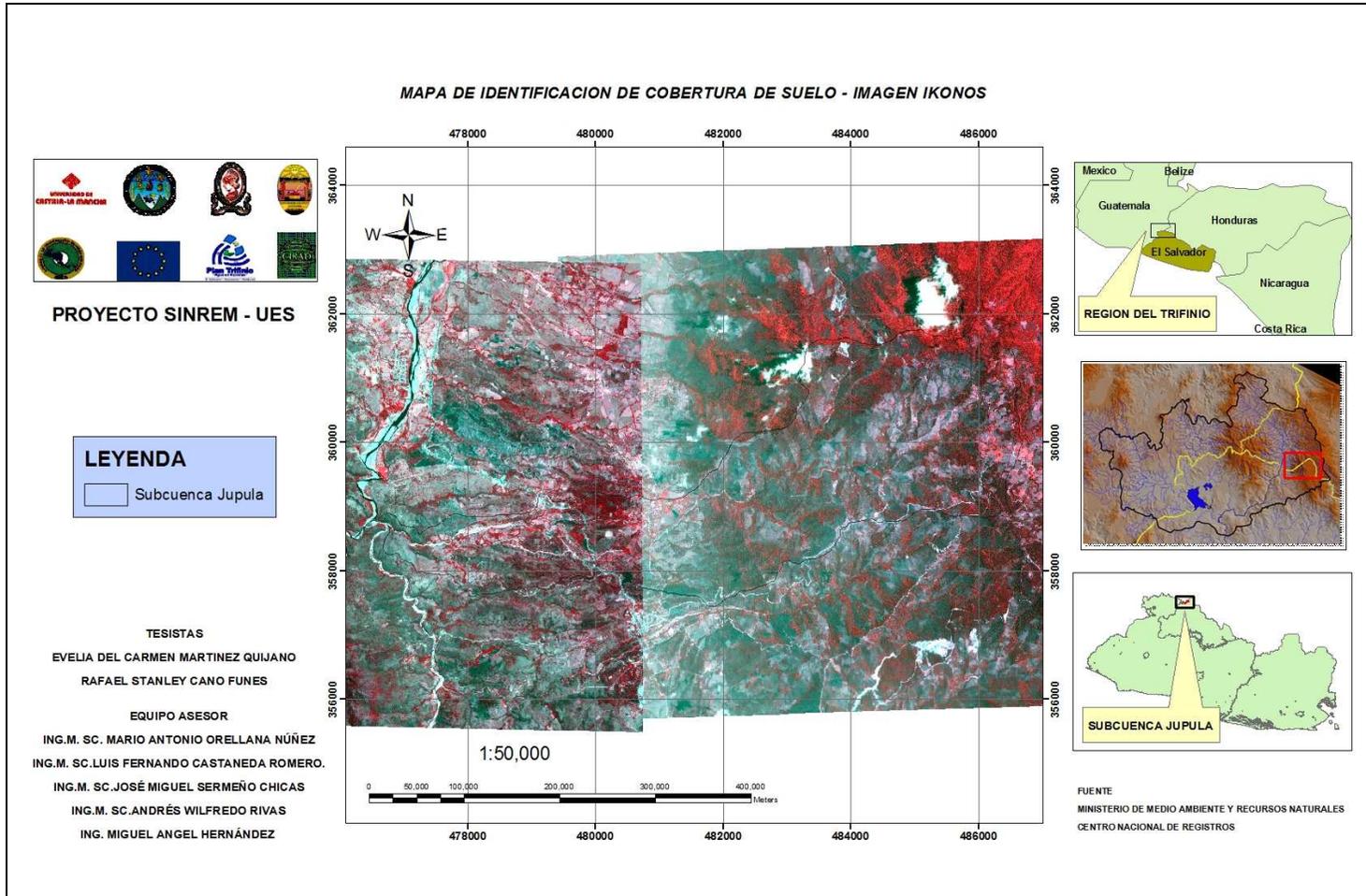
41. Rheinheimer, G. 1987. Microbiología de las aguas. Trad. J.R. Muñoz. ACRIBIA. 4ed Zaragoza, España. P. 21,251-253.
42. Romero, J. 1999. Calidad del agua. México. D. F. Escuela Colombiana de Ingeniería. Pag. 64, 70.
43. Russell, G. 1982; Hidráulica. Trad. G.A Fernández. México. RENEHART. p.195.
44. SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2005. Diagnóstico nacional de calidad de aguas superficiales (en línea). Consultado 26 de mayo de 2008. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/Documentos/Hidrologia/DIAGNOSTICOCALIDADAGUA.pdf>
45. Solano, D; Soto, M; Erroa, R. 2004. Manual de microbiología agrícola. San Salvador. El Salvador. P. 42
46. UNES (Unidad Ecológica Salvadoreña). 2007. Gestión sustentable del agua en El Salvador.
47. Villegas, O. 1995. Evaluación de la Calidad del agua en la cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de sostenibilidad. Tesis M. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica. P. 16 – 32.

ANEXOS

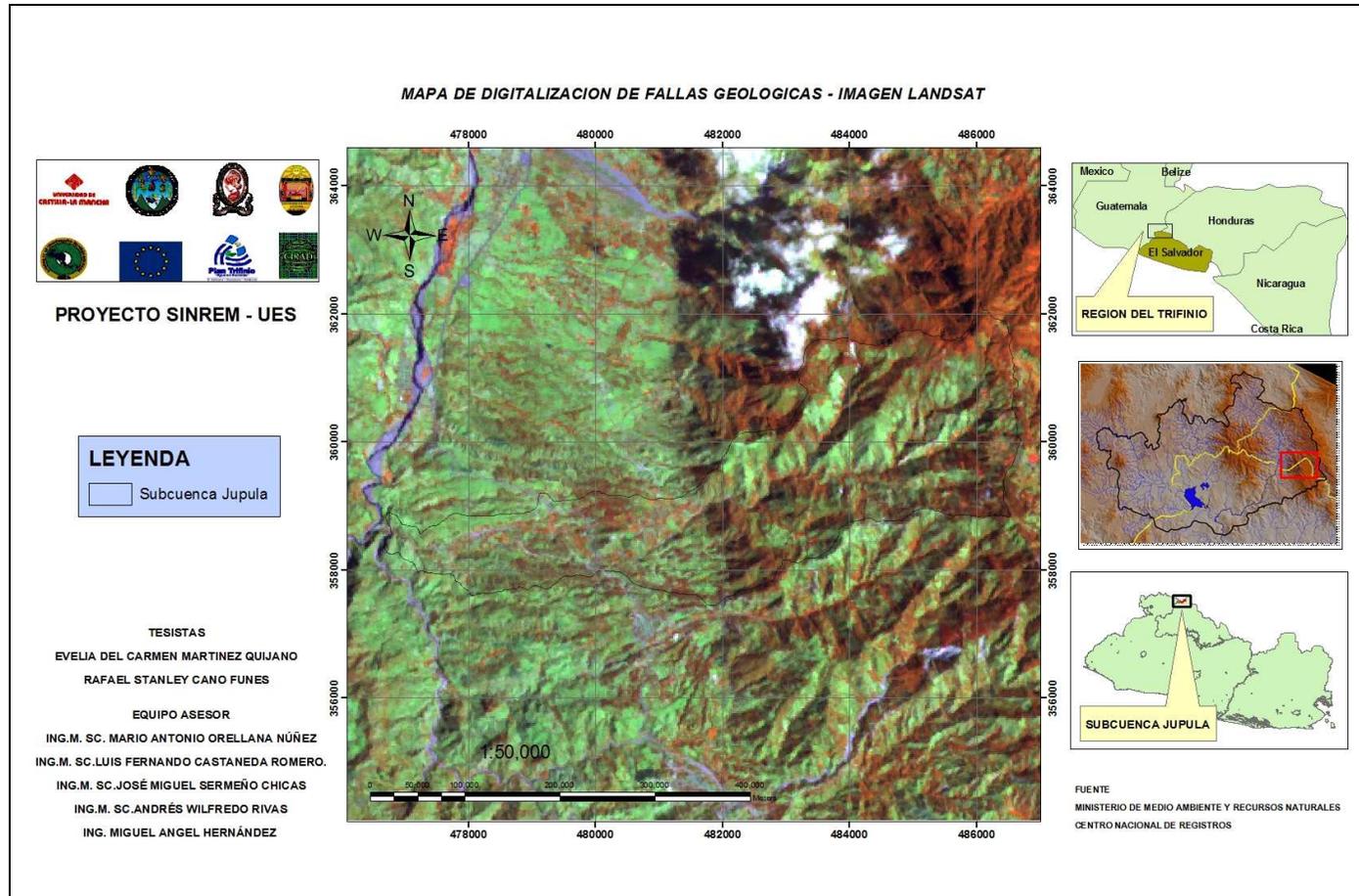
Anexo 1. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en el cauce del río Jupula



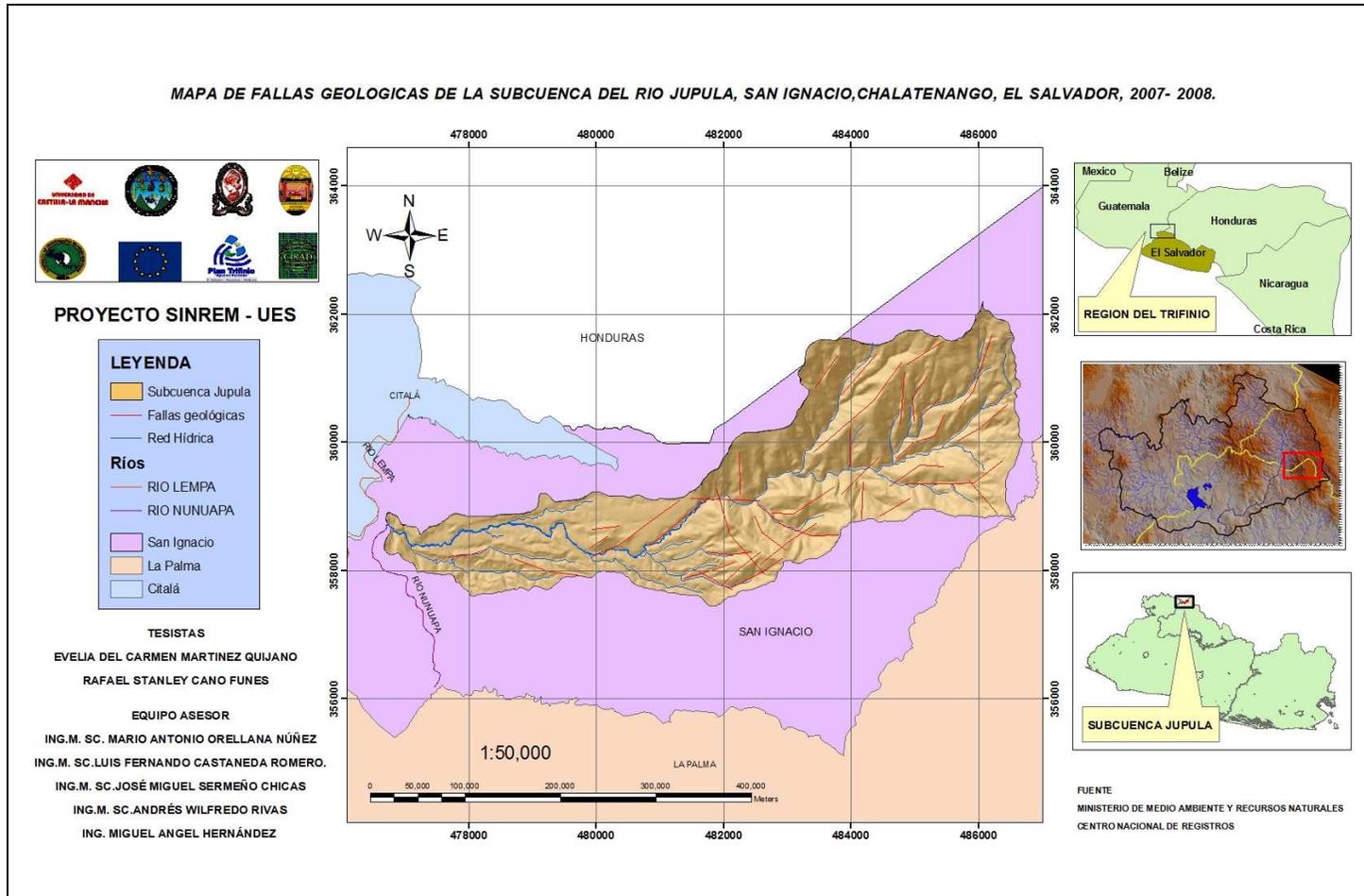
Anexo 2. Imagen IKONOS con resolución de pixel de 4 metros.



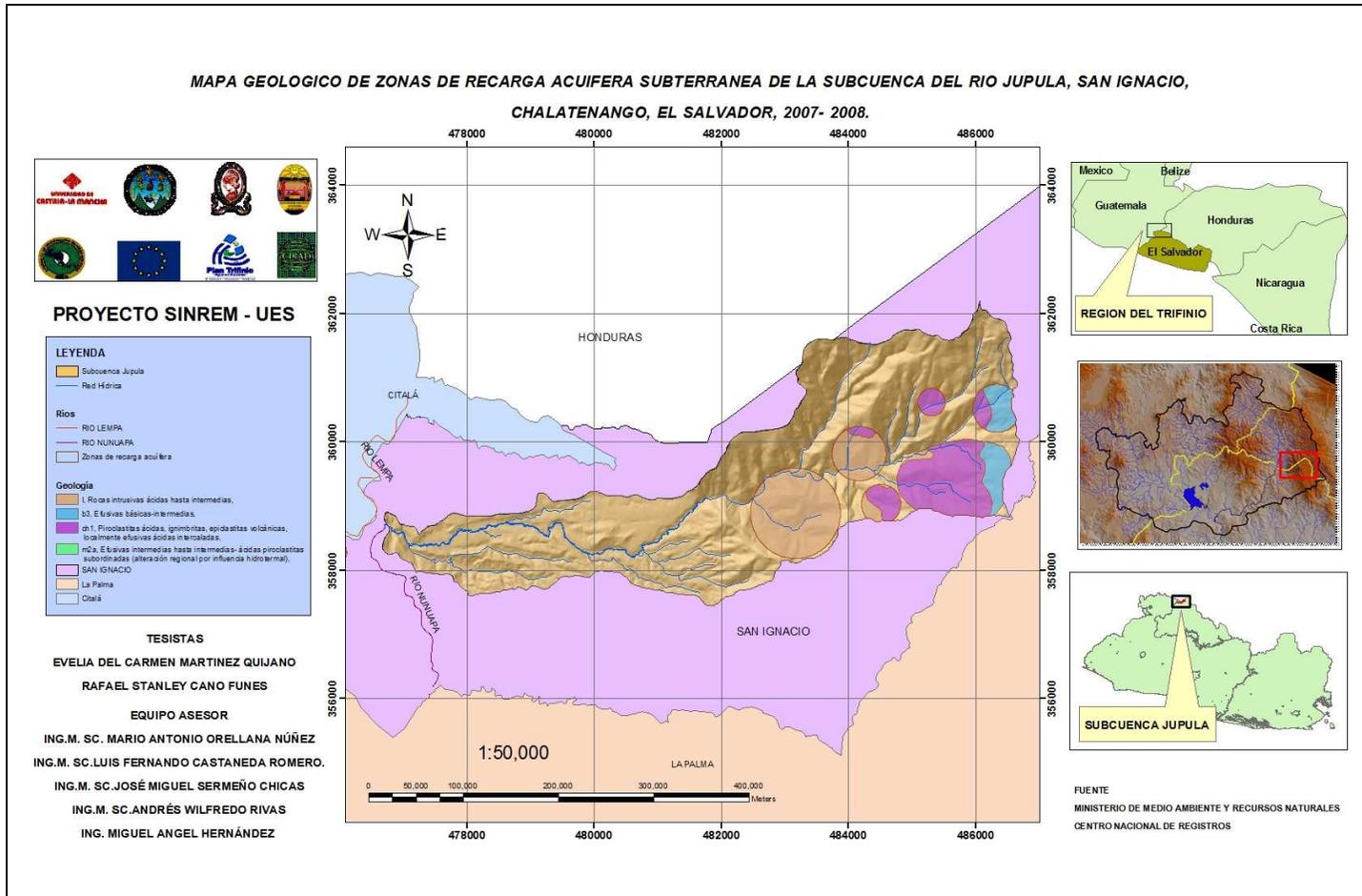
Anexo 3. Imagen LANDSAT multispectral con resolución de pixel de 15 metros.



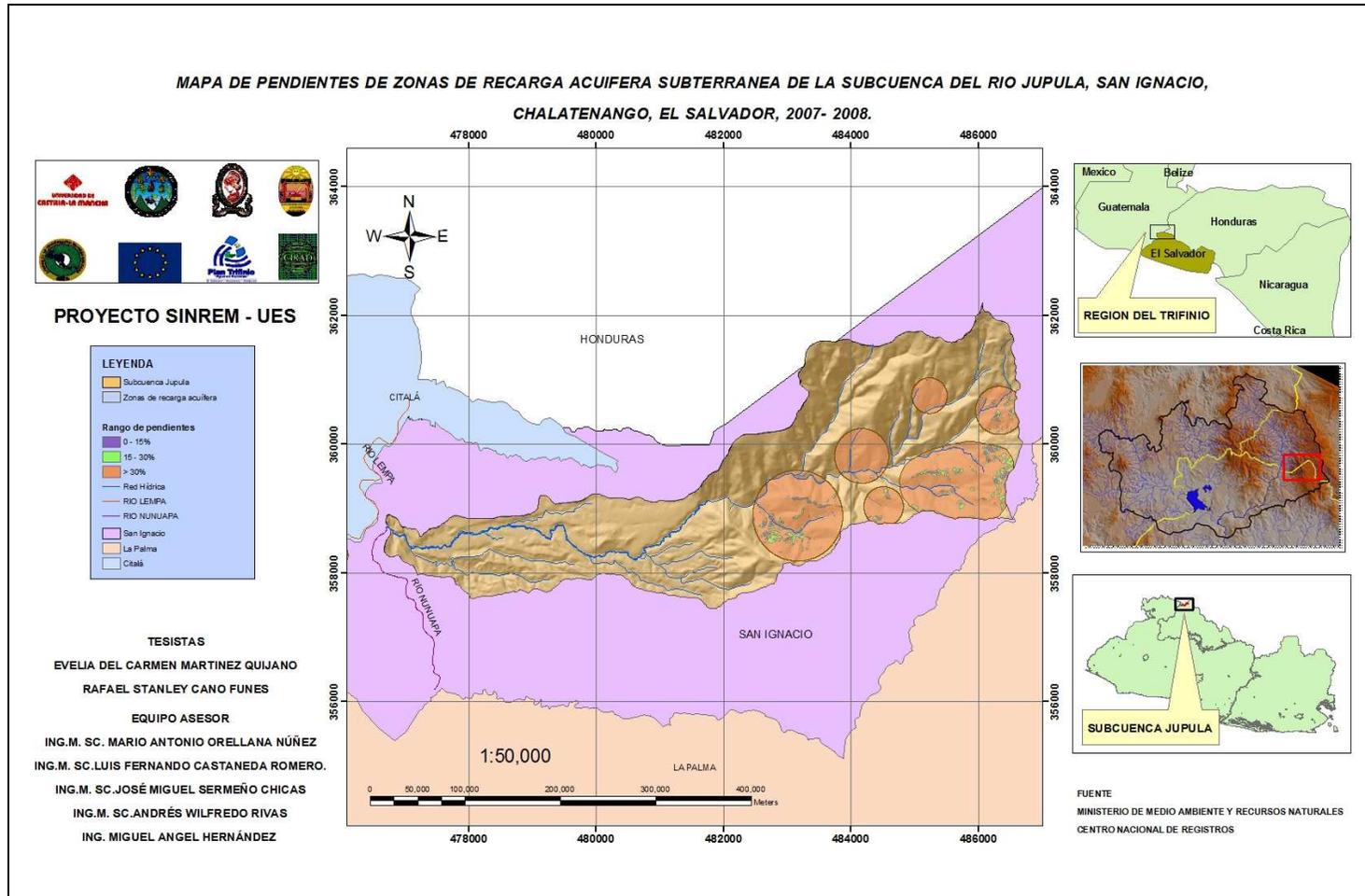
Anexo 4. Mapa de fallas geológicas de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador.



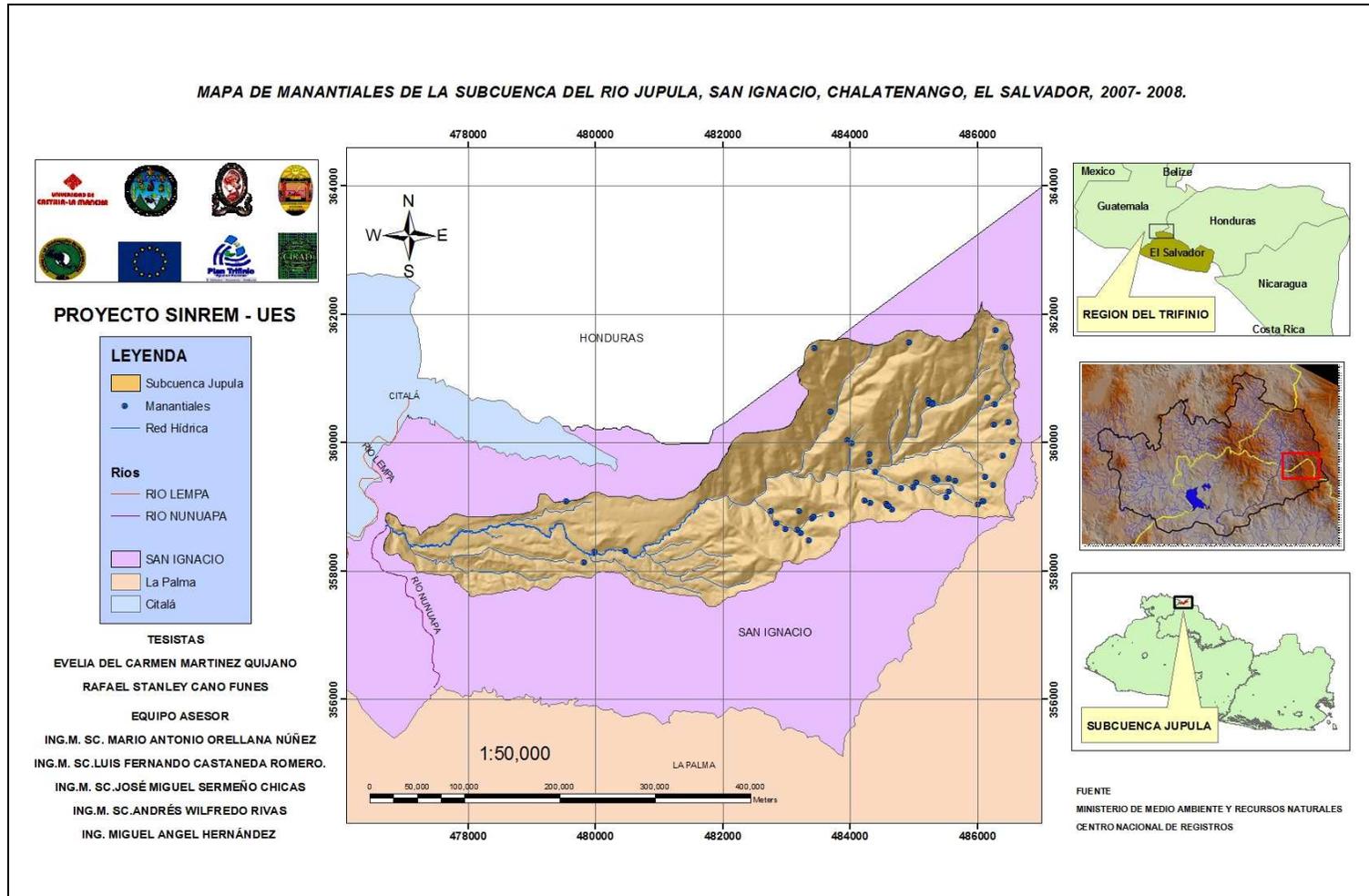
Anexo 5. Mapa geológico de zonas de recarga acuífera de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador



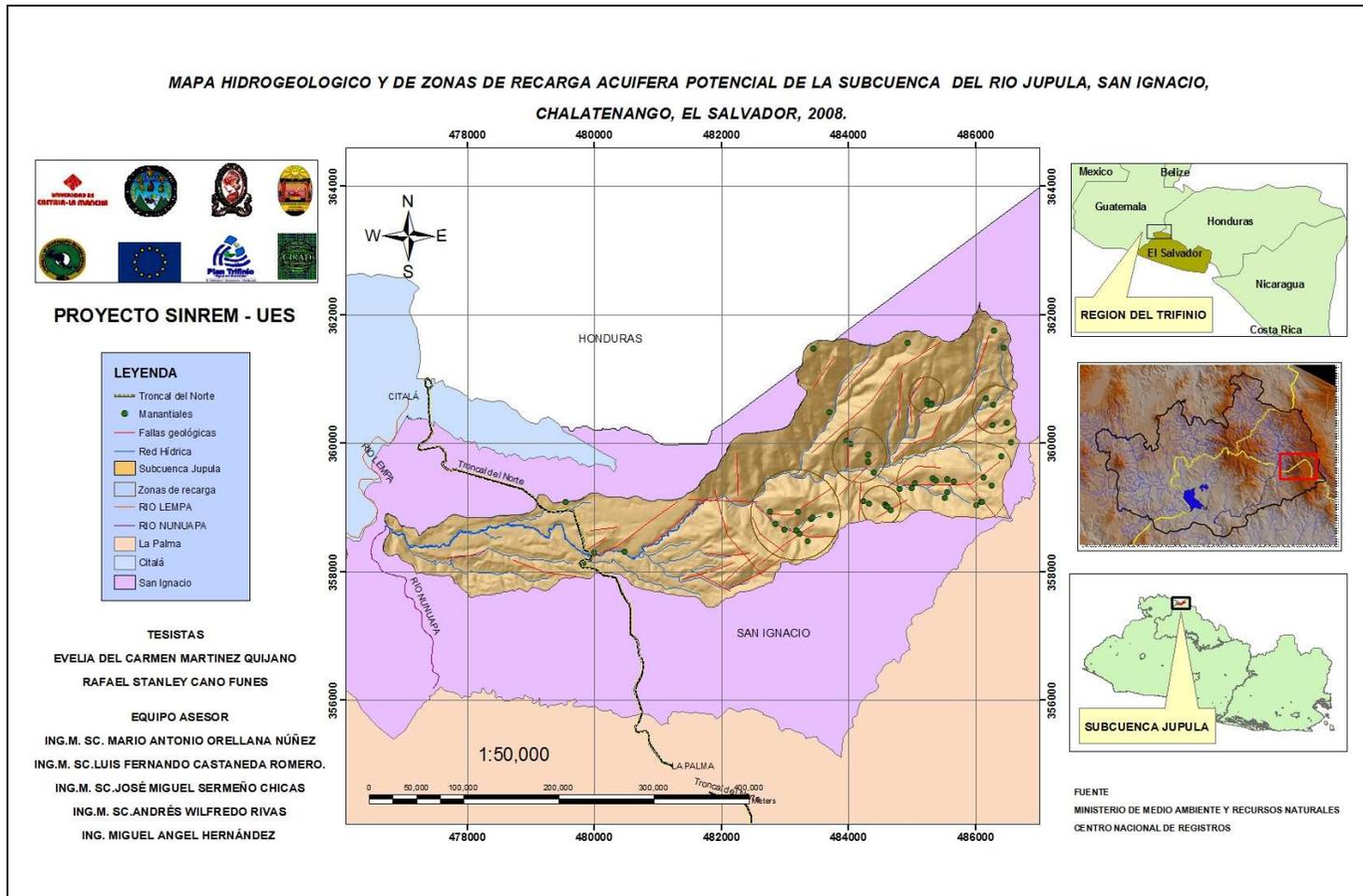
Anexo 6. Mapa de pendientes de zonas de recarga acuífera de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador.



Anexo 7. Mapa de manantiales de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador.



Anexo 8. Mapa hidrogeológico y de zonas de recarga acuífera de la subcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador.



Anexo 9. Mapa de puntos de extracción de agua en el cauce del Río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, EL Salvador.

