

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**“EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA Y SU RELACIÓN CON LAS
CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS EN LA SUBCUENCA DEL
RÍO NUNUAPA, CHALATENANGO, EL SALVADOR. “**

**POR
MAURICIO ALEJANDRO ALVARADO ALVARADO
EDSON WILFREDO REYES MORAN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2017

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**“EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA Y SU RELACIÓN CON LAS
CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS EN LA SUBCUENCA DEL
RÍO NUNUAPA, CHALATENANGO, EL SALVADOR. “**

**POR
MAURICIO ALEJANDRO ALVARADO ALVARADO
EDSON WILFREDO REYES MORAN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



**“EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA Y SU RELACIÓN CON LAS
CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y SOCIOECONÓMICAS EN LA SUBCUENCA DEL
RÍO NUNUAPA, CHALATENANGO, EL SALVADOR. “**

POR
MAURICIO ALEJANDRO ALVARADO ALVARADO
EDSON WILFREDO REYES MORAN

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRONOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. Roger Armando Arias Alvarado

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Cristóbal Hernán Ríos Benítez

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. AGR. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. AGR. MSC. LUÍS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE:**

ING. AGR. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASECIO

DOCENTES DIRECTORES:

ING. AGR. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

LIC. ADA YANIRA ARIAS DE LINARES

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:

ING. AGR. SABAS ALBERTO ARGUETA PALACIOS

RESUMEN

La investigación se realizó en la subcuenca del río Nunuapa, ubicada en los Municipios de San Ignacio y La Palma, departamento de Chalatenango, de abril de 2015 a abril de 2016. El estudio consistió en la evaluación de la calidad y la cantidad de agua durante las épocas seca, lluviosa y sus transiciones, relacionándola con los aspectos biofísicos y socioeconómicos del territorio. Para la medición de los caudales en ríos, se utilizó un molinete hidráulico y una sonda multiparamétrica para evaluar parámetros insitu; también se recolectaron muestras de agua para determinar parámetros físico-químicos y microbiológicos en los laboratorios de Química Agrícola y Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, comparándolos con parámetros de referencia de aguas superficiales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); se realizó una caracterización de la subcuenca utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), complementada con información recolectada en las giras de campo en las comunidades, alcaldías, unidades ambientales, asociaciones de regantes y usuarios de agua en general. Los mayores caudales se registraron durante la época lluviosa en los meses de agosto y octubre, obteniendo valores de 5319 l/s y 3225 l/s, respectivamente, en la desembocadura del río Nunuapa al río Lempa, siendo la microcuenca del Río Talquezalar, la que más aporta con 2562 l/s y 1100 l/s, respectivamente; mientras que el caudal más bajo se obtuvo en marzo de 2016, con un valor de 221.7 l/s, siendo la microcuenca del Río La Palma la que más aporta con un caudal de 120.5 l/s. Es de resaltar que la microcuenca Jupula, no aporta ningún caudal a la subcuenca durante este mes, debido a que en la parte media, se hace una derivación de caudal durante todo el año, hacia los sitios de captación de la Asociación de Regantes El Rosario, encontrándose para este mes un valor de 38 l/s de derivación y solo un valor de 4 l/s en el cauce del río, justo después del punto de la derivación, mientras que en la Comunidad El Carmen, el río estaba completamente seco. Esta situación es la que genera conflictos por el uso del agua entre ambas comunidades durante la época seca. Las aguas de los ríos de la subcuenca se clasifican como regular esto según el análisis de calidad de agua (ICA), sin embargo el agua utilizada para consumo de la población es clasificada como buena debido a los métodos de potabilización que estos mismos utilizan antes de ser consumida

Palabras claves: ICA, Subcuenca, Caudal, Calidad de agua, Conflicto.

AGRADECIMIENTOS

A las personas de las comunidades de El Rosario y El Carmen por brindarnos apoyo en facilitarnos la información y su tiempo para acompañarnos en los recorridos a lo largo del río Jupula.

A los técnicos y los trabajadores de la oficina El Trifinio y la Agencia de Extensión del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal de La Palma, por ayudarnos con información y atención durante las giras de campo.

A nuestros asesores, por dedicarnos el tiempo y la atención necesaria para poder terminar este trabajo de investigación, así como también por los consejos y atenciones brindadas durante todo el proceso.

Al Programa “Bosques y Agua” financiado por la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional (KFW), por apoyarnos financieramente y con el equipo utilizado para realizar la investigación, la cual no habría sido posible sin su ayuda.

A todas aquellas personas que de una u otra contribuyeron a la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

A mi familia, por el apoyo brindado tanto moral, como anímico y económico a lo largo de la carrera y durante el trabajo de tesis.

A la población de las comunidades de la subcuenca Nunuapa: por su amabilidad y gentileza.

A todas las personas y amigos que siempre me brindaron sus consejos y aliento a seguir adelante.

Edson Wilfredo Reyes Moran

DEDICATORIA

- A MI MADRE, Reina de los Ángeles Alvarado de Alvarado, por haberme brindado amor incondicional, educación durante toda mi vida y fomentado los valores morales que me han permitido ser la persona que hoy en día soy.
- A MI PADRE, Mauricio Alvarado Hernández, por todo el apoyo brindado en mi vida pues es un ejemplo para mí y es una de las personas que más me ha motivado para superarme y ser un hombre de bien.
- A MI HERMANA, Jeannyffers Stteffanie Alvarado Alvarado, por haberme apoyado en cualquier circunstancia y ser un pilar en mi vida.
- A MIS ABUELOS José Elio Ramos y Marina Cortez de Ramos por haber sido un apoyo fundamental en mi vida para poder lograr la persona que soy y brindarme su amor y cariño en todo momento.
- A MI COMPAÑERO DE TESIS, Edson Wilfredo Reyes Moran, por haber demostrado voluntad y perseverancia durante todo el desarrollo del trabajo de graduación.
- A MIS MAESTROS Y ASESORES, Luís Fernando Castaneda y Ada Yanira de Linares por haber compartido conmigo sus conocimientos durante mi carrera universitaria y trabajo de graduación.
- A MIS COMPAÑEROS DE CLASES, por brindarme su amistad y su apoyo.

Mauricio Alejandro Alvarado Alvarado

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS DE CONTENIDO.....	xiii
INDICE DE ANEXO DE FIGURA.....	xiii
1. Introducción.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Cuenca Hidrográfica.....	3
2.2 Aforo del agua.....	4
2.2.1. Aforos indirectos.....	5
2.2.2. Aforos indirectos.....	7
2.2.2.1 Escalas limnimetricas.....	7
2.2.2.2. Parshall.....	7
2.3 La contaminación del agua.....	8
2.3.1. Contaminantes químicos.....	8
2.3.2. Contaminantes orgánicos.....	8
2.3.3. Contaminantes microbiológicos.....	9
2.4. Calidad del agua.....	9
2.4.1. Índice de Calidad de Agua.....	10
2.4.2. Estimación del Índice de Calidad de Agua general “ICA”.....	12
2.5. Calidad bacteriológica del agua.....	13
2.5.1. Parámetros microbiológicos.....	13
2.5.1.2. Métodos de Medición de Presencia de Coliformes.....	13
2.6. Algunos estudios realizados en la subcuenca del rio Nunuapa.....	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 Descripción del área de estudio.....	18
3.2 Metodología de gabinete.....	18
3.2.1 Etapa uno: Recolección de información bibliografía.....	18
3.2.2 Etapa dos: Caracterización preliminar de la subcuenca.....	19
3.3 Elección de los sitios de muestreo.....	19
3.4 Medición de caudal.....	21

3.5	Colecta, manejo y transporte de las muestras de agua para determinar calidad.....	22
4.0	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1	Caracterización general de la Subcuenca del río Nunuapa.	25
4.1.1	Estructura política o administrativa.....	25
4.1.2	Fisiografía y relieve.....	25
4.1.3	Red hídrica.....	26
4.1.4	Geomorfología y geología	26
4.1.5	Clases agrologicas.....	27
4.1.6	Conflictos por el uso del suelo.....	28
4.1.7	Uso actual de los recursos hídricos.....	28
4.1.8	Fuentes de contaminación	28
4.1.9	Clima.....	29
4.1.10	Zonas de vida y vegetación.....	30
4.1.11	Áreas Naturales turísticas.....	30
4.2	Características Socioeconómicas	31
4.2.1	Situación Poblacional	31
4.2.2	Vivienda.....	31
4.2.3	Servicio de agua potable	32
4.2.4	Servicio de alcantarillado y letrinas	32
4.2.5	Energía eléctrica	33
4.2.6	Manejo de los desechos sólidos	33
4.2.7	Vías de acceso	33
4.2.8	Servicios de salud	34
4.2.9	Organización social.....	35
4.2.10	Centros escolares	36
4.2.11	Indicadores de desarrollo humano (IDH).....	37
4.3	Comportamiento del caudal en las diferentes épocas y sitios de la subcuenca ..	38
4.3.1.	Análisis de resultados de medición de caudal en la Microcuenca La Palma	41
4.3.2.	Análisis de resultados de medición de caudal en la Microcuenca El Gramal.....	43
4.3.3.	Análisis de resultados de medición de caudal en la Microcuenca Talquezalar ..	44
4.3.4.	Análisis de resultados de medición de caudal en la desembocadura del Nunuapa al río Lempa	45
4.4	Resultados de análisis de la calidad de agua de los ríos de la Subcuenca Nunuapa.....	47

4.4.1 Calidad ambiental del agua de los ríos (índice de calidad de agua ICA).....	47
4.4.2 Evaluación de la aptitud del uso del agua	53
4.5 Aspectos sobre el uso y administración del agua en la subcuenca.....	55
5. CONCLUSIONES.....	59
6. RECOMENDACIONES	60
7. BIBLIOGRAFIA.....	61
8.0 ANEXOS.....	64
8.1. Anexo de contenido	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características asociadas a la calidad del agua	10
Cuadro 2. Ventajas y limitaciones del análisis ICA.....	11
Cuadro 3. Muestreo de calidad de agua en el año 2008.....	11
Cuadro 4 : Sitios de muestreo para determinar caudal y calidad de agua en la subcuenca	20
Cuadro 5 Sitios de muestreo para agua de consumo humano y nacimientos	21
Cuadro 6. Distribución del área de la subcuenca del río Nunuapa, por Municipio.	25
Cuadro 7 Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Nunuapa.....	26
Cuadro 8. Conflictos de uso de suelo de la subcuenca Nunuapa:	28
Cuadro 9. Regiones Climáticas en la subcuenca del río Nunuapa.....	29
Cuadro 10. Densidad población por Municipio	31
Cuadro 11. Resultados de caudal en diferentes épocas y sitios de la subcuenca	38
Cuadro 12. Resumen de análisis de los 9 parámetros del ICA en los ríos de la subcuenca Nunuapa.	47
Cuadro 13. Resumen de análisis ICA por parámetros en tanques y chorros de la subcuenca Nunuapa.....	51
Cuadro 14. Resumen de análisis ICA por parámetros en los nacimientos de la.....	52
Cuadro 15. Resultados de los parámetros de calidad de los ríos (agua cruda superficial) para evaluar la aptitud de uso.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de una cuenca hidrográfica (RIOB. 2009).	3
Figura 2. Caudal de una sección.	5
Figura 3. Profundidad de una sección de un río.....	5
Figura 4. Molinete hidráulico	6
Figura 5. Esquema general de aforador parshall	7
Figura 6. Clasificación del ICA propuesto por Brown	12
Figura 7. División política administrativa en la subcuenca del Río Nunuapa	18
Figura 8. Verificación y selección de sitios de muestreo en gira de campo.	20
Figura 9. Aforo de caudal utilizando molinete hidráulico en sitios seleccionados durante las diferentes épocas.	22
Figura 10. Recolección de muestras de agua para análisis en laboratorio y medición de parámetros físico-químicos in situ en sitios seleccionados en la subcuenca.	23
Figura 11. Recolección de muestras de agua en tanques y hogares para análisis de calidad de agua para consumo humano.....	24
Figura 12. Identificación, procesamiento y análisis de muestras en laboratorio para determinar su calidad	24
Figura 13. Entrevistas y talleres con los principales actores como asociaciones de regantes en la Subcuenca.....	24
Figura 14. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río Jupula, san Ignacio, El Salvador.....	39
figura 15. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río La Palma, La Palma, El Salvador.....	41
Figura 16. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río San Ignacio, San Ignacio, El Salvador.	42
Figura 17. Resultados Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río El Gramal, La Palma, El Salvador.	43
Figura 18. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río Talquezalar, La Palma, El Salvador.....	44
Figura 19. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, desembocadura al río Lempa, San Ignacio, El Salvador.	45

ÍNDICE DE ANEXOS DE CONTENIDO

A-C 1 Encuesta para recopilación de información.....	64
--	----

INDICE DE ANEXO DE FIGURA

A-F 1 Sitios de muestreo.....	67
A-F 2 Mapa de división político-administrativo de la Subcuenca Nunuapa	68
A-F 3 Mapa de red de drenajes de La Subcuenca Del Río Nunuapa.....	69
A-F 4 Mapa Agrologico de la Subcuenca Del Río Nunuapa	70
A-F 5 Mapa de uso actual del suelo de la Subcuenca Del Río Nunuapa	71
A-F 6 Mapa de Conflicto de uso de suelo de la Subcuenca Del Río Nunuapa	72
A-F 7 Zonas de vida y vegetación de la Subcuenca del Rio Nunuapa	73
A-F 8 Mapa de densidad poblacional de la subcuenca del río Nunuapa.....	74

INDICE DE ANEXO DE CUADRO

A-CR 1 Precipitación mensual en un periodo de 11 años en la zona de estudio.....	75
A-CR 2 Requisitos de calidad Microbiológica, límite máximo permisible por norma NSO 13.07.01:08 para agua potable	76
A-CR 3 Norma Salvadoreña de Agua Potable, Parámetros Físicos y Químicos.	76

1. Introducción

En el marco del programa de Protección de Bosques y Cuencas del Trifinio financiado por la Cooperación Alemana y en cooperación con la facultad de ciencias agronómicas de la universidad de el salvador, se realizó esta investigación para determinar la cantidad y calidad de agua durante las diferentes épocas climáticas durante un año en una de las subcuencas de mayor importancia en la parte norte del país como lo es la del río Nunuapa; con el fin de relacionar los resultados obtenidos con las características biofísicas y socioeconómicas de la misma. Esto con el objetivo de analizar los parámetros antes descritos y relacionarlos con sus características para poder identificar o proponer lineamientos que ayuden a mejorar el uso sostenible del recurso hídrico, ya que este tiene una importancia desde el punto de vista social, económico y ambiental en las comunidades que integran o están dentro de la subcuenca, por el hecho que muchas de las actividades productivas como la agricultura o inclusive el agua para consumo se obtiene del río.

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 ésta condiciona la calidad de vida. En este sentido el monitoreo constante de las diferentes fuentes de agua es una estrategia para poder determinar acciones de intervención para proteger las mismas, bajo esta misma lógica en la zona de estudio ha habido diferentes intervenciones para determinar parámetros que indiquen la calidad y cantidad dentro de la subcuenca como ejemplo en el 2005 en la cual el Ministerio de Agricultura y Ganadería determino que la calidad en ciertos puntos fue buena; por su parte, Ponce Meléndez y Romero Paz (2009), realizaron un Diagnóstico Rural Participativo en la microcuenca Jupula, analizando las condiciones ambientales y socioeconómicas de dicha área, lo que sirvió de base

para la formulación de un plan de manejo para la subcuenca. Los resultados obtenidos durante esta investigación detallan que la calidad y cantidad de agua va desmejorando gradualmente con el tiempo, esta determinación se logró a pesar de algunas limitaciones como falta de algunos recursos y es por eso que trabajos como este deberían tener una continuidad año con año y ampliar determinados parámetros para el análisis de calidad e incluso ampliar diferentes sitios de muestreo para determinar la cantidad para poder más elementos de juicio para formular acciones estratégicas que lleven a asegurar una sostenibilidad del recurso en el tiempo dentro de la subcuenca.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cuenca Hidrográfica

Es el territorio o espacio de terreno, que está limitado por cerros, partes elevadas y montañas de los cuales se configura una red de drenaje superficial, que, en presencia de la precipitación o lluvias, forma el escurrimiento de un río, para conducir sus aguas a un río más grande y posteriormente a un lago ó mar (Figura 1) (Castaneda y Villalta.2003).



Figura 1. Esquema general de una cuenca hidrográfica (RIOB. 2009).

La cuenca hidrográfica además de su delimitación incluye diferentes características que dependiendo de las condiciones ambientales, zonas de vida ó ecosistemas, explican y determinan aspectos interesantes para definir su manejo, algunas de estas características son (Faustino. 2007).

- Tamaño: las cuencas pueden ser pequeñas, medianas y grandes.
- Forma: las cuencas pueden tener formas aproximadas a circular, rectangular (alargada), cuadrangular e irregular.
- Drenaje: las cuencas pueden tener diferentes formas en su red de drenaje, obedecen principalmente al tipo de material del suelo, a la cobertura vegetal y al grado de pendiente.

- Pendiente: la pendiente del cauce principal de la cuenca y la pendiente media, suelen indicar la edad y la relación de alturas.
- Bifurcación: existen dos maneras de definir esta relación, desde arriba hacia abajo se identifican los primeros cauces "primarios ó de orden 1", cuando se unen dos de este orden forman el inmediato "secundario ó de orden 2", cuando se unen dos de este orden forman el inmediato "terciario ó de orden 3" y así sucesivamente, hasta llegar a la desembocadura ó curso final del río principal (Universidad de Chile. 2005).

2.2 Aforo del agua

Desde hace varios siglos el ser humano ha tenido la necesidad de medir el comportamiento físico del agua en movimiento o en reposo. Es por ello que ha inventado muchos aparatos que registran la velocidad, la presión, la temperatura y el caudal. Una de las variables que más interesan es esta última, el caudal, puesto que a través de él se cuantifican consumos, se evalúa la disponibilidad del recurso hídrico y se planifica la respectiva gestión de la cuenca. El caudal, Q , se define como el volumen de agua " v ", que pasa por una sección en un determinado tiempo, t . (Universidad de Chile, 2005)

Aforar es medir un caudal. En Hidrología superficial puede ser necesario medir desde pequeños caudales (unos pocos litros/seg.) hasta grandes ríos con caudales de centenares o miles de m^3/seg . Se distinguen dos tipos de aforo:

- Aforos directos: con algún aparato o procedimiento se mide directamente el caudal
- Aforos indirectos o continuos: se mide el nivel del agua en el cauce, y a partir del nivel se estima el caudal.

Para medir el caudal diariamente o de un modo continuo en diversos puntos de una cuenca se utilizan los aforos indirectos, por eso también se les denomina continuos (Rojas Bustamante. 2006).

2.2.1. Aforos indirectos

- Método Área – Velocidad

En este método se utiliza la ecuación de continuidad (Figura 2). El caudal en una sección transversal de área A está dado por:

$$Q = \int \int_A V \cdot dA$$

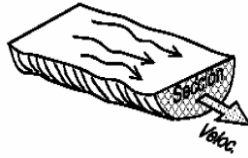


Figura 2. Caudal de una sección.

En donde la integral se aproxima sumando los caudales incrementales calculados para cada medición i , $i = 1, 2, \dots, n$, de velocidad V_i , y profundidad D_i . Las mediciones representan valores promedio a lo largo de un ancho Δw_i del cauce (Figura 3), luego el caudal se calcula como:

$$Q = \sum_{i=1}^n \bar{V}_i D_i \Delta w_i$$

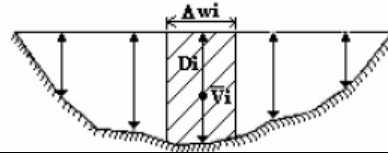


Figura 3. Profundidad de una sección de un río.

Por su parte, la velocidad V_i , en un punto, se puede medir, por ejemplo, con alguno de los siguientes dispositivos: flotador y reloj, molinetes y sensores de inducción magnética (Rojas Bustamante. 2006).

2.2.1.2 Molinete

El molinete es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas, que gira al introducirla en una corriente de agua (Figura 4). El de tipo de taza cónica gira sobre un eje vertical y el de tipo hélice gira sobre un eje horizontal. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado. Antes de ser usados en el campo, deben ser calibrados por el fabricante para determinar la relación entre la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del agua. Para la medición de caudales con este instrumento será necesario que la sección elegida para la medida con el molinete debe estar situada en un tramo recto y de una sección lo más homogénea posible a lo largo de dicho tramo.

Se eligen varios puntos dentro del mismo tramo ya que el molinete solo mide la velocidad en un único punto, luego se calcula la velocidad media en cada vertical o punto y posterior a esto se calcula el área para cada sección entre dos verticales de medida, el área se calculará como el producto del promedio del alto por el ancho, y la velocidad media como el promedio de las velocidades medias en las verticales. El caudal de cada sección resulta directamente como el producto del área y la velocidad media, mientras que el caudal total se calcula como la suma de los caudales entre verticales (Sánchez. 2013).

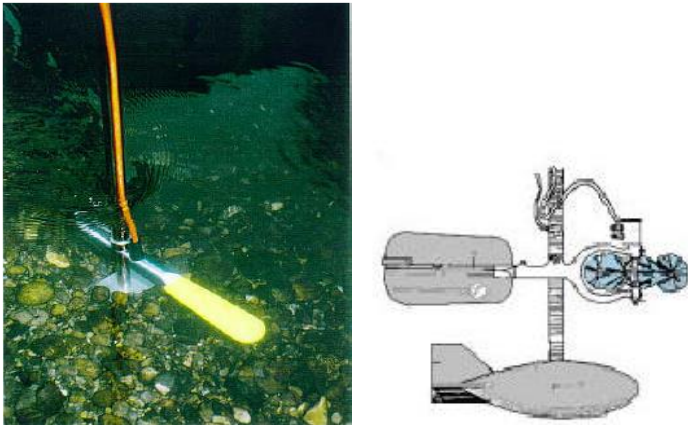


Figura 4. Molinete hidráulico

2.2.1.3. Aforos Químicos

Su fundamento es el siguiente: arrojamos una sustancia de concentración conocida a un cauce, se diluye la corriente, y aguas abajo se toman muestras y se analizan. Cuanto mayor sea el caudal, más diluidas estarán las muestras recogidas. La aplicación concreta de este principio se puede ejecutar con dos procedimientos distintos:

- Aforos de vertido constante: a un cauce de caudal Q (que se quiere medir) se añade un pequeño caudal continuo “ q ” de una disolución de concentración conocida C_1 .
- Aforos de vertido único o de integración: si no se dispone del equipo necesario para el vertido continuo o no es posible por otras razones, el vertido único de una sustancia al cauce es otra alternativa, aunque requiere una corriente turbulenta que asegure la mezcla del vertido con todo el caudal circulante hasta el punto de toma de muestras (Sánchez.2013).

2.2.2. Aforos indirectos

2.2.2.1 Escalas limnimétricas

Se trata de escalas graduadas en centímetros y firmemente sujetas en el suelo, a veces adosadas al pilar de un puente. En cauces muy abiertos puede ser necesario instalar varias escalas de manera que el final de una corresponda al comienzo de las siguientes. Es necesario que un operario acuda cada día a tomar nota de la altura de agua (Villegas, O. 1995).

2.2.2.2. Parshall

El aforador Parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales: i) Transición de entrada. ii) Sección convergente iii) Garganta. iv) Sección divergente (Figura 5). En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente. En cualquier parte del aforador, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección rectangular. Junto a la estructura del aforador se tienen dos pozos laterales o tanques con la misma profundidad, o mayor, que la parte más baja del aforador. El agua que escurre por el aforador pasa a estos tanques por medio de unas perforaciones colocadas en la pared de la sección convergente y en la garganta, fundamentalmente. El aforador es una reducción de la sección que obliga al agua a elevarse, y volver a caer, hasta la elevación que se tenía sin la presencia del aforador. En este proceso se presenta una aceleración del flujo que permite establecer una relación matemática entre la elevación del agua y el gasto (Pedroza González. 2001).

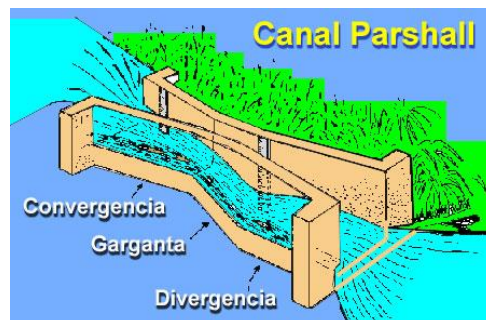


Figura 5. Esquema general de aforador parshall

2.3 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 (Instituto Nacional de Salud. 2011). La contaminación del agua puede ser por contaminantes química, orgánica y microbiológica.

2.3.1. 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 (SNET. 2005).

2.3.2. 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 vivientes en el Agua (microorganismos) y su presencia puede resultar en su crecimiento excesivo y agotamiento del oxígeno en el agua, alterando la vida acuática (Guevara Vera. 1996).

2.3.3. 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. Existen otros tipos de contaminación entre los cuales pueden ser: por derrame de petróleo, vertido de desechos sólidos, aguas con altas temperaturas, sustancias radioactivas, etc. (Gallardo Carpio. .2009).

2.4. 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 (SNET. 2005).

Calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua (Cuadro 1). 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" (USGS. 2010).

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 aguas subterráneas.
· Cloruros	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: SNET 2005.

2.4.1. Índice de Calidad de Agua

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Para simplificar la interpretación de los datos de su monitoreo, existen índices de calidad de agua (ICA), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. La principal diferencia entre unos y otros está en la

forma de evaluar los procesos de contaminación y el número de variables tenidas en cuenta en la formulación del índice respectivo. En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. El cuadro 2 presenta las principales ventajas y limitaciones de los ICA. (SNET. 2005).

Cuadro 2. Ventajas y limitaciones del análisis ICA

Ventajas	Limitaciones
3 Permiten mostrar la variación espacial y temporal de calidad del agua.	11 Proporcionan un resumen de los datos.
4 Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.	12 No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
5 Útiles en la evaluación de calidad del agua para usos generales.	13 No pueden evaluar todos los riegos presentes en el agua.
6 Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.	14 Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
7 Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.	15 No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
8 Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.	16 Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
9 Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua.	17 Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión.
10 Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.	

Fuente: SNET s.f.

El Índice de Calidad de Agua propuesto por Brown, es una versión modificada del "WQI" que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA). Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes, siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través

del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no (SNET. s.f).

2.4.2. Estimación del Índice de Calidad de Agua general "ICA"

En el análisis ICA para la determinación de la calidad de agua intervienen 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L)
- Nitratos (NO_3 en mg/L)
- Fosfatos (PO_4 en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación).

El "ICA" adopta para condiciones óptimas, un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo del índice de calidad de agua de tipo "General", se clasifica la calidad del agua con base en la figura 6:

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Figura 6. Clasificación del ICA propuesto por Brown

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos

humanos y usos posibles y en la cual esta tabla se utiliza para simplificar de manera general el estado ambiental de un agua.

2.5. Calidad bacteriológica del agua

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 ser humano 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. 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 (Guevara Vera. 1996).

2.5.1. Parámetros microbiológicos

2.5.1.1 Coliformes Fecales:

Los coliformes fecales también denominados coliformes termotolerantes, llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal (Torres, *et all.* 2009).

2.5.1.2. Métodos de Medición de Presencia de Coliformes

✓ Método de tubos múltiples

En este método, el estudio se inicia con la prueba presuntiva de la presencia de bacterias coliformes, que consiste en sembrar volúmenes de concentraciones determinadas de la muestra de agua en matraces o tubos de ensayo con un adecuado medio líquido de cultivo específico, que contiene lactosa. Después de la incubación a 35 ó 37°C durante el tiempo necesario, se examina el líquido para detectar la producción de gas o de ácido (Guevara Vera. 1996).

✓ 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 0.45 μm de diámetro que retienen bacterias coliformes y de muchas otras clases presentes en la muestra.

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 (Cordero Rodríguez *et al.* 2011).

2.6. Algunos estudios realizados en la subcuenca del río Nunuapa

En el año 2005, el Ministerio de Agricultura y Ganadería a través de la Dirección General de Ordenamiento Forestal, Cuencas y Riego, realizó un estudio hidrológico en la Subcuenca del río Nunuapa, principalmente en los municipios de La Palma y San Ignacio. En este estudio se llegó a la conclusión que las corrientes superficiales de agua de los ríos afluentes al Nunuapa, presentan incrementos importantes durante la estación lluviosa. Los datos obtenidos en las visitas de campo mediante aforos y el análisis de las huellas del cauce, permitieron asegurar que los caudales en la parte baja, oscilan entre los 0.02 m^3/s hasta un poco más de los 100 m^3/s , bajo condiciones normales de precipitación. No obstante, el caudal de las avenidas máximas excede los 200 m^3/s , los que suceden durante precipitaciones excepcionales.

En cuanto a la calidad del agua, se realizaron análisis físico-químicos que incluían los parámetros de: Oxígeno disuelto (OD), salinidad, pH, turbidez, temperatura del ambiente y del agua, conductividad y análisis microbiológicos, con el propósito de comparar los resultados con la normativa vigente en ese momento; dando como resultado 4 sitios de muestreo con calidad de agua pésima o regular y más de la mitad de los sitios con calidad Microbiológica pésima o regular según la antes mencionada normativa

Así mismo, Cano Funes y Martínez Quijano (2008), durante el periodo de enero de 2007 a marzo de 2008, realizaron un estudio en la microcuenca del río Jupula, uno de los afluentes del río Nunuapa, en el Municipio de San Ignacio, departamento de Chalatenango. La calidad del agua del río Jupula fue evaluada en la época seca y lluviosa del año 2007, tomando muestras en tres puntos de la microcuenca (alta, media y baja). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Fundación PROCAFE. En general,

los resultados evidenciaron que las aguas del río Jupula, no son aptas para el consumo humano, tanto en la época seca como lluviosa. Los valores encontrados tanto de coliformes totales como bacterias heterótrofas, fueron mucho más altos que los permisibles, siendo mayores durante la época lluviosa, debido a que la escorrentía arrastra todo tipo de material, entre los cuales están la materia fecal animal y humana, así como aguas de desecho provenientes de actividades domésticas, principalmente de los habitantes de las comunidades El Rosario y El Carmen, las cuales son vertidas a la calle sin recibir ningún tipo de tratamiento previo.

La presencia de bacterias coliformes en la época seca aunque mínima, es un problema para los pobladores que consumen agua del río en la parte baja sin ningún tratamiento, ya que solo puede ser utilizada para riego u otros fines agrícolas. No se encontró presencia de sólidos suspendidos, nitritos y turbidez, debido a que durante la época seca, no existe arrastre de suelo ni sales fertilizantes por escorrentía, que 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 se encontraron por debajo de los límites permisibles para consumo humano, es decir, de ser ingeridos, no causan un efecto negativo en el organismo no así durante la época de lluvia, que es una situación contraria en la que estos parámetros se encuentran fuera del límite permitido por la norma determinando que no es apta para el consumo humano.

Con respecto a los valores físico-químicos realizados en esta investigación, los valores de pH, OD, DQO se encuentran dentro de lo permitido por la norma, lo cual es en lo que se basó para determinar si el agua del río Jupula era o no apta para el consumo humano desde el punto de vista físico-químico y microbiológico

Por su parte, Ponce Meléndez y Romero Paz (2009), realizaron un Diagnóstico Rural Participativo en la microcuenca Jupula, analizando las condiciones ambientales y socioeconómicas de dicha área, lo que sirvió de base para la formulación de un plan de manejo para la microcuenca. Se determinó que el caudal del río Jupula para el mes de marzo de 2008, fue de 24 lt/seg en la parte alta, 10 lt/seg en la parte media, 3 lt/seg en la parte baja.

Una de las principales causas de la reducción del caudal a lo largo del río, son las derivaciones que se realizan directamente de éste, principalmente para actividades agropecuarias, ya que en la parte media y alta se encuentran asociaciones de regantes, que utilizan grandes cantidades de agua durante la época seca; así mismo en la parte alta se identificaron aproximadamente 35 nacimientos, de los cuales se extrae agua durante la época seca, siendo derivaciones para el abastecimiento de uso domiciliario de poblados.

En cuanto a la calidad del agua, los niveles de contaminación por coliformes fecales y totales para las épocas seca y lluviosa del año 2007, en tres puntos del río Jupula (parte alta, media y baja), no era apta para consumo humano, dado que los niveles son superiores a los límites máximos permitidos al compararlos con la norma. Durante la época lluviosa los valores de coliformes totales encontrados como bacterias heterótrofas, fueron más altos que los permisibles, debido a que la escorrentía arrastra todo tipo de material, entre los cuales están: la materia fecal animal y humana, así como aguas de desecho provenientes de actividades domésticas, las cuales son vertidas a la calle sin recibir ningún tipo de tratamiento previo. Lo que provoca la proliferación de enfermedades en los habitantes, como por ejemplo: las infecciones diarreicas agudas y la Amibiasis.

CATIE (2008), elaboró un plan de manejo integral de la subcuenca del río Nunuapa, para lo cual se realizaron análisis de calidad de agua en cada una de las microcuencas o sitios estratégicos de ésta, obteniéndose los nueve parámetros para la determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA), en el que obtuvieron los siguientes resultados (cuadro 3):

Cuadro 3. Muestreo de calidad de agua en el año 2008

Microcuenca o sitio de muestreo	Valor del ICA	Clasificación
Jupula	82.2	Buena.
San José	76.35	Buena.
La Brea	72.45	Buena.
Las Cuevas	77.55	Buena.
El Chupadero	75	Buena.
Los Pozos	68.1	Regular.
Talquezalar	57.45	Regular.
Gibraltar	69.75	Regular
Los Tecolotes	64.95	Regular
Del Panal	61.8	Regular
El Morrito	69	Regular
El espino	70.5	Buena
San Ignacio	70.2	Buena

En el 2008 durante la investigación que realizó el CATIE determinaron que el caudal requerido para desarrollar las actividades productivas, domésticas entre otras por los pobladores de los municipios de San Ignacio y La Palma fue de 22,229.20 m³/s.

Cordero Rodríguez *et al.* .2011 realizaron una investigación para medir el caudal y determinar la calidad del agua en 3 sitios estratégicos a lo largo de la microcuenca Jupula en la que estos fueron nombrados en base al lugar donde se encontraban ubicados o en base al dueño de la propiedad donde se hizo la medición (a. fuente posada, b. la montaña, c. Vásquez). En dicha investigación en los sitios antes mencionados se midieron los parámetros de: temperatura, conductividad eléctrica, pH, nitratos, oxígeno disuelto, fosfatos, coliformes totales y fecales; dando como resultado que todos los parámetros se encontraron dentro de los límites permitidos por la normativa en ese momento. Por otra parte, con el caudal en los meses de enero a mayo de 2011 los caudales bases para los sitios La Montaña y Posada fue de 0.77l/s, y para Vásquez es de 0.4l/s.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio.

El área de estudio está ubicada en la zona Norte del país, en el Departamento de Chalatenango e incluye una superficie de 112.186 km², pertenecientes mayoritariamente, a los municipios de San Ignacio y La Palma (Figura 7). Se ubica entre las coordenadas geográficas de la proyección Cónica Conformal de Lambert: 488752,676.68 – 362245.68 Latitud Norte: y los 475200,375 – 348881,307 Longitud Oeste. Según cuadrantes del Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán”, hojas cartográficas 2359 II y 2358 I (MAG.2005)

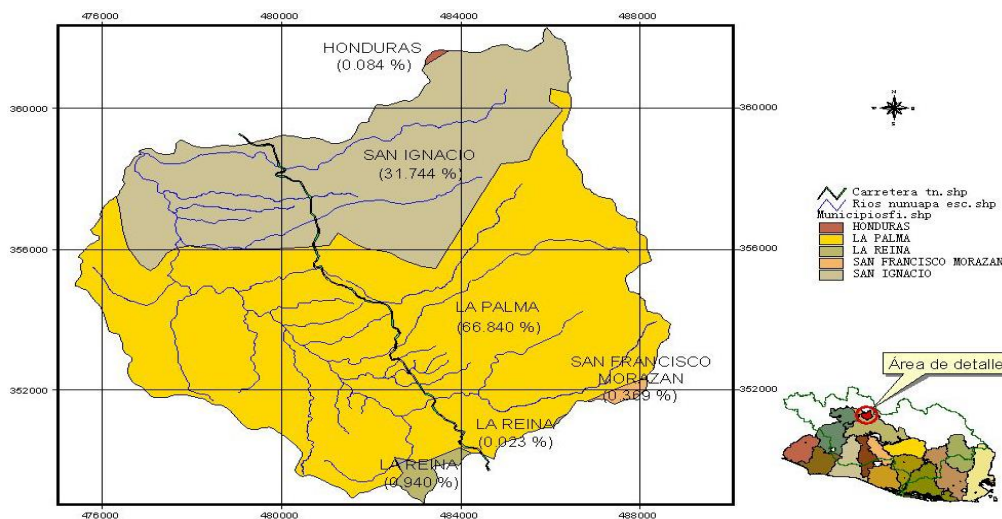


Figura 7. División política administrativa en la subcuenca del Río Nunuapa

3.2 Metodología de gabinete

Esta se realizó en dos etapas:

3.2.1 Etapa uno: Recolección de información bibliografía

Se hizo una recolección de información relacionada con la subcuenca, por medio de investigaciones realizadas por instituciones, ONG u otros proyectos en la zona, con la finalidad de conocer con mayor detalle la situación actual de los habitantes de la subcuenca. También acerca del número de asentamientos urbanos, las actividades económicas de las comunidades, a través de estudios y registros de instituciones gubernamentales y otras organizaciones.

3.2.2 Etapa dos: Caracterización preliminar de la subcuenca

En esta etapa se realizó una caracterización general de la subcuenca y microcuencas, con el fin de tener un panorama general del área de estudio. Esto se realizó con el programa ArcMap versión 10.1, usando datos de la base cartográfica del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), generando los siguientes mapas: Uso de suelo, conflicto de uso, red de drenaje, distribución y densidad poblacional.

La información generada en esta fase fue complementada con recorridos y chequeos de campo, y se utilizó para buscar las posibles relaciones con aspectos de calidad y cantidad de agua en la subcuenca.

3.3 Elección de los sitios de muestreo

Para determinar los sitios de muestreo para la medición de cantidad y calidad de agua en ríos, se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Ubicación: se buscaron sitios en la parte alta, media y baja de las micro cuencas con accesibilidad en época seca y lluviosa
- Sitios en la parte superior y baja de los principales poblados.
- Puntos de unión de los afluentes con el río principal (Nunuapa).
- El punto final del río Nunuapa, previo a la unión con el río Lempa.
- Sitios donde existían antecedentes de estudios o trabajos de monitoreo similares que puedan ser utilizados como referencia.

Con base a estos criterios, fueron seleccionados 11 sitios de muestreo para medir caudal y 8 sitios para determinar calidad, los cuales se muestran en el cuadro 4 y Anexo de figura 1 (A-F1). Previo a esto se realizaron giras de campo para verificar que sitios cumplieran con los criterios antes mencionados (figura 8).



Figura 8. Verificación y selección de sitios de muestreo en gira de campo.

Cuadro 3 : Sitios de muestreo para determinar caudal y calidad de agua en la subcuenca

Caudal		Calidad de agua en ríos	
Microcuenca	Lugar	Microcuenca	Lugar
Jupula	El Carmen	Jupula	El Carmen
	El Rosario		El Rosario
	Derivación Jupula hacia Regantes	La Palma	Parte alta
La Palma	Parte alta	Río San Ignacio	Parte baja
	Parte baja 1		
	Parte baja 2		Parte alta
San Ignacio	Parte alta	El Gramal	Parte baja
	Parte baja		Parte baja
El Gramal	Parte baja	Talquezalar	Parte baja
Talquezalar	Parte baja		

En la colecta de muestras para determinar calidad de agua de uso doméstico y de nacimientos, se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Opinión de los usuarios y gobierno local
- Ubicación: fuentes de origen de agua (nacimientos) de donde es captada y distribuida a los principales poblados de la zona.
- Tanques de almacenamiento donde se aplica algún tratamiento para consumo humano.
- Grifos en las casas de los pobladores abastecidos por tanques.

En base a los criterios anteriores, se definieron siete puntos de muestreo los cuales se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 4 Sitios de muestreo para agua de consumo humano y nacimientos

Nacimientos		Agua de consumo humano	
Lugar	Municipio	Lugar	Municipio
¹ Cantón el Centro	San Ignacio	El Carmen	San Ignacio
¹ Cantón las Pilas		El Rosario	
Cantón R. Chiquito		San Ignacio	
Santa Rosa		Alcaldía San Ignacio	
Tanque La Laguna		Casa en El Rosario	
Cantón El Pinar		Casa En el Carmen	
San Ignacio		Agencia CENTA La Palma	La Palma

¹ Sitios que están fuera del área de la subcuenca pero que fueron tomados por petición de las autoridades locales y porque son sitios donde se abastecen las comunidades de San Ignacio para consumo.

3.4 Medición de caudal

Se midió el caudal de los ríos en los puntos seleccionados, para lo cual se utilizó un molinete hidráulico Marca: RICKLY, Modelo: 6200FD (figura 9). Se realizó en cuatro fechas: época seca (28 de abril), lluviosa (21 de agosto), lluviosa-seca (3 de octubre) del 2015 y época seca (11 de marzo) del 2016.



Figura 9. Aforo de caudal utilizando molinete hidráulico en sitios seleccionados durante las diferentes épocas.

3.5 Colecta, manejo y transporte de las muestras de agua para determinar calidad.

Se realizaron tres colectas de muestras: en los ríos de la subcuenca, en tanques de captación y grifos de viviendas (figura 10 y 11). El muestreo en los ríos se realizó en septiembre de 2015, los de agua de consumo humano que fueron dos se realizaron en noviembre 2015 en tanques y grifos, y enero 2016; esta última fue en nacimientos. Se recolectaron tres muestras por cada uno de los sitios, haciendo un total de 18 muestras en el primer muestreo, 21 en la segunda gira y 21 en la última. Las muestras fueron identificadas con un número correlativo por sitio y colocadas en una hielera para su transporte inmediato a los laboratorios de Química Agrícola y de Investigación y Diagnóstico de Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador para su posterior procesamiento (figura 12).

Durante la toma de las muestras, se midieron algunos parámetros in situ: pH, temperatura, DBO, conductividad eléctrica. Para ello se utilizó una Sonda Multiparamétrica WTW Multiline 3420; con sensores: SenTix 940-3/TetraCon 925-3/925-3 FDO,



Figura 10. Recolección de muestras de agua para análisis en laboratorio y medición de parámetros físico-químicos in situ en sitios seleccionados en la subcuenca.

Se utilizaron frascos plásticos con capacidad de un litro, siguiendo el proceso siguiente:

Análisis microbiológicos

- Destapar el frasco de un litro, previamente esterilizado y ambientarlo dos veces consecutivas con el agua del río.
- Para llenar el frasco, este se sostiene por la parte inferior y se sumerge a una profundidad de 20 cm aproximadamente hacia arriba; si existe corriente, la boca del frasco debe orientarse hacia la corriente. Tamaño de muestra: un litro.
- Tiempo entre recolección y análisis: 6 horas.
- Temperatura de conservación: < 10 °C

Análisis físico-químicos

- Los frascos dependen del tipo de análisis (polietileno o vidrio).
- El volumen necesario para realizar los análisis con un 99 % de confianza es de un litro, por muestra.
- La toma de la muestra se hace en la parte del centro de la fuente, no en las orillas.
- Debe tenerse una cadena de vigilancia.
- Los análisis se realizan lo más pronto posible luego de la colecta, para evitar variaciones significativas.

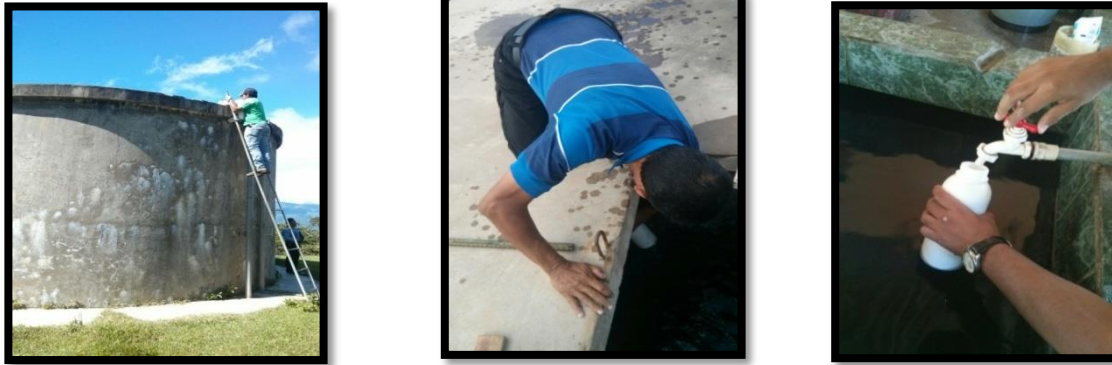


Figura 11. Recolección de muestras de agua en tanques y hogares para análisis de calidad de agua para consumo humano.



Figura 12. Identificación, procesamiento y análisis de muestras en laboratorio para determinar su calidad

3.6 Recopilación de información relacionada al manejo del agua.

Para ello se utilizaron encuestas (Anexo de Contenido 1 A-C1) y entrevistas semiestructuradas con encargados de las unidades ambientales, asociaciones de regantes, administradores y usuarios del agua (figura 13), para obtener información socioeconómica relacionada con el uso, administración y otros aspectos relativos al manejo del agua en la subcuenca.



Figura 13. Entrevistas y talleres con los principales actores como asociaciones de regantes en la Subcuenca

4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización general de la Subcuenca del río Nunuapa.

4.1.1 Estructura política o administrativa.

El área de la subcuenca Nunuapa corresponde a la región fronteriza identificada como la Región del TRIFINIO, la cual tiene su plan estratégico con acciones enfocadas en el manejo de la parte alta de la cuenca del río Lempa. Conjuntamente con las subcuencas de los ríos Shushula y Jupula, conforman la Microrregión La Palma. La subcuenca la comparten mayoritariamente los Municipios San Ignacio y La Palma; existen tres áreas pequeñas de los municipios La Reina y San Francisco Morazán; también hay un pequeño territorio perteneciente a Honduras (cuadro 6, A-F2).

Cuadro 5. Distribución del área de la subcuenca del río Nunuapa, por Municipio.

Municipio	Área en la subcuenca (Km ²)	Observaciones
San Ignacio	31.744	Incluye los ríos San Ignacio, Jupula y la parte baja del Nunuapa.
La Palma	66.840	Incluye los ríos La Palma, El Gramal, San José y la parte alta y media del Nunuapa.
La Reina	0.963	Incluye dos áreas ubicadas al Sur de la subcuenca
San Francisco Morazán	0.369	Incluye una pequeña porción ubicada al Sur y en la parte alta de la subcuenca.
Honduras	0.084	Incluye una pequeña porción territorial ubicada al norte de la micro cuenca del río Jupula
Total	100.0	

Fuente: MAG, 2005.

4.1.2 Fisiografía y relieve.

La fisiografía y relieve en la subcuenca Nunuapa se puede considerar en tres (3) grupos: El primero está referido a la parte alta y está constituido por áreas montañosas, redondeadas y fuertemente diseccionadas con un relieve alto; las pendientes son mayores del 45%. La red de drenaje está formada por quebradas abruptas y son pocas las extensiones con pendientes suaves y altiplanos; el segundo grupo, se encuentra en la parte media constituida por cerros abruptos, accidentados, diseccionados de relieve alto; los picos llegan aproximadamente hasta los 1100 msnm; las pendientes varían entre 15 y

45%. Finalmente, el tercer grupo corresponde a la parte baja de la subcuenca, representada por planicies en valles antiguos diseccionados por cañadas, quebradas y ríos, predominan pendientes menores del 15%, presentando un relieve moderado como se presenta en el cuadro 7 (Reyes.2005).

Cuadro 6 Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Nunuapa

Rango de Pendiente	Área (ha)	Porcentaje
menores del 15 %	1,610.94	14.49
Del 15% - 30%	1,740.60	15.65
del 30% - 45%	2,202.37	19.80
Mayores del 45%	5,566.44	50.06
Total	11,120.35	100.00

Fuente: Sistema de Información Geográfico (CATIE, 2008)

4.1.3 Red hídrica.

La red hídrica principal de la subcuenca está conformada por los ríos y quebradas que descienden desde la zona alta de la misma, alimentando el cauce primario el cual recibe el nombre de río Nunuapa (A-F3), entre los ríos y quebradas de mayor relevancia se encuentran: Jupula, Los Tecomates o Aguacate, La Palma o los Pozos, San Ignacio, Las Cuevas, San José y Talquezalar (DGFCR/MAG *et al.*2005).

4.1.4 Geomorfología y geología

La zona en estudio está ubicada sobre la Región Geomorfológica denominada “La Cordillera Fronteriza”. Abarca principalmente el área norte de los departamentos de Santa Ana, Chalatenango, Cabañas, Morazán y una parte de San Miguel y La Unión. Esta cordillera está constituida geológicamente por rocas extrusivas básicas a medio ácidas de carácter riolítico, como piroclásticas ácidas y epiclásticas volcánicas pertenecientes a las formaciones volcánicas Morazán y Chalatenango (MAG.2005). También se observan tobas ardientes, granito, granodiorita, conglomerados de cuarzo y caliza rojo, areniscas; intercalaciones de Vulcanita fundidas; efusivas ácidas Intercaladas (Enma Reyes.2005).

4.1.5 Clases agrologicas

La clasificación empleada en el análisis agrologico de El Salvador, es el establecido por el Sistema Americano (USDA). Las clases agrológicas definen diferentes niveles de aptitud productiva y de riesgo de deterioro del suelo en un gradiente de mayor a menor potencial (A-F4), siendo las tierras incluidas en la Clase I las que mejores características presentan para una actividad agropecuaria intensiva y, por el contrario, las tierras incluidas en la Clase VIII aquellas de menor potencial agrícola (MAG.2005)

Las clases agrologicas en la subcuenca Nunuapa se describen a continuación:

Clase IV: Son aptos para cultivos intensivos, suelos de difícil manejo especialmente si se quiere desarrollar en ellos una actividad productiva intensiva, ya que los factores limitantes en la subclase actúan de manera crítica limitando la productividad y el rendimiento de los cultivos.

Clase VI: Son suelos de uso limitado, no adecuados para el cultivo intensivo, presentando limitaciones severas, pero que permiten su uso agrícola con cultivos permanentes como café, frutales, bosques y pastizales. La mayoría de estos son fértiles y profundos con pendientes comprendidas entre el 25-55%.

Clase VII: Son suelos de uso limitado, no apropiados para el cultivo intensivo, estos suelos sus tierras se pueden dedicar al mantenimiento de una cubierta vegetal permanente. Solo aquellas tierras de la subclase erosión, presentan posibilidades agronómicas sostenibles que no perjudican la capacidad productiva del suelo y que se relaciona con el cultivo del café en las laderas de los sistemas montañosos.

Clase VIII: Estos suelos al igual que los anteriores, son de uso limitado para cultivos intensivos, se definen como suelos sin ningún valor agronómico principalmente por su excesiva pendiente. Se recomiendan protegerlos con cubierta vegetal permanente, destinándolos a áreas de reserva o con prácticas silvopastoriles (Cordero Rodríguez, *et all.* 2011).

Uso actual del suelo

Los principales usos de la tierra en el área son bosques mixtos y áreas de cultivos anuales asociados con vegetación permanente, mientras que el resto del suelo es utilizado por asentamientos urbanos y rurales, áreas remanentes de vegetación natural, específicamente bosques de coníferas, granos básicos y pastos naturales. (Figura A-4).

4.1.6 Conflictos por el uso del suelo

Tomando como base la clasificación agrológica y el uso actual del suelo, se han obtenido los conflictos de uso de la tierra en la subcuenca (cuadro 8 y figura AF-6).

Cuadro 7. Conflictos de uso de suelo de la subcuenca Nunuapa:

Análisis de conflicto	Área (ha)	Porcentaje
Adecuado	6,906.47	62.11
Cuerpos de agua	142.48	1.28
Sobreuso	3,174.76	28.55
Sub-uso	593.07	5.33
Urbano	303.57	2.73
Total	11,120.35	100.00

Fuente: Elaboración propia con datos cartográficos del MARN.

4.1.7 Uso actual de los recursos hídricos

Una de las características en la subcuenca, es la presencia de mantos acuíferos, que pueden almacenar un volumen importante de agua. El agua para consumo humano no se encuentra directamente como agua potable, sino que se extrae de nacimientos y cada día son más escasos pues no se encuentran dentro de las comunidades, además se ha identificado que hay restricciones para riego, no se tienen pozos ó nacimientos muy cercanos de las áreas de producción que permitan la extracción del recurso (MAG. 2005).

4.1.8 Fuentes de contaminación

Los lugares destinados para la deposición final de los desechos sólidos dentro de la subcuenca, son las zonas cercanas a los drenajes naturales o los mismos drenajes, por lo tanto, gran cantidad de sólidos son arrastrados hacia el curso principal de los ríos, acumulando basura y generando lo que se conocen como botaderos a “cielo abierto” sin ningún tratamiento al suelo. La contaminación del agua se debe a varios factores: Uno de ellos es el desagüe de las aguas servidas sin ningún tratamiento, las comunidades drenan sus aguas servidas en las calles y al aire libre sin tomar en cuenta los daños que se ocasionan, drenándolos en algunos casos a los ríos cercanos, lo cual ocasiona contaminación química, física y bacteriológica con sus consecuentes efectos aguas abajo. Asimismo, el uso de los productos químicos en las actividades agrícolas, principalmente

en la parte media y baja de la subcuenca, inciden en la contaminación por el uso excesivo y mal manejo de plaguicidas. De igual forma la basura producida por las comunidades aledañas a los ríos y el agua utilizada en el proceso de beneficiado del grano de café (CATIE. 2008).

Las viviendas no poseen servicios de alcantarillados ni fosas sépticas, problema que se acentúa más en las áreas rurales y que coadyuva a la contaminación de suelos y ríos, sobre todo porque el 74% de la población reside en ella. La recolección de los desechos sólidos, es un servicio que solo recibe la población urbana y además es muy deficiente. De la totalidad de la población, únicamente del 2% al 5% reciben el servicio, a excepción del municipio de La Palma que cubre el 27%. Las zonas rurales no reciben este servicio, en consecuencia, las personas queman o botan la basura en cualquier lugar, inclusive en las riberas de los ríos, aumentando con ello la contaminación ambiental y por ende el brote de enfermedades. (MAG. 2005).

4.1.9 Clima

En el cuadro 8 se puede observar como el factor orográfico juega un papel clave en la definición de las regiones climáticas de la zona en estudio. En lo que respecta a la climatología, se identifican 3 regiones climáticas, según la clasificación de Köppen y Sapper-Lauer, presentando las siguientes características: precipitación pluvial promedio entre 1167 a 2314 mm y teniendo una temperatura máxima promedio que varía de 20 a 34.8 °C, y una temperatura mínima promedio que oscila entre los 2 a 6.8 °C, datos que son característicos por las condiciones topográficas que presenta la zona, cuya elevación varía de los 700 msnm y 2700 msnm (Reyes.2005).

Cuadro 8. Regiones Climáticas en la subcuenca del río Nunuapa

Altura sobre el nivel del mar	Región Climática	Área (ha)	Porcentaje
700 -1200	Tierra Caliente	6,444.35	57.95
1200-1800	Tierra Templada	3,142.76	28.26
1800-2700	Tierra Fría	1,533.24	13.79
Área Total		11,120.35	100.00

Fuente: CATIE 2008.

4.1.10 Zonas de vida y vegetación

La vegetación es un elemento fundamental en los aspectos de conservación del suelo, y en consecuencia, es de interés para la presente investigación, conocer cuáles son los tipos de vegetación existente dentro de la zona de estudio, por tratarse de un elemento clave en el comportamiento hidrológico de las subcuencas.

Según la clasificación de Holdridge, las zonas de vida representadas en la subcuenca se describen a continuación:

- Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB): Las áreas boscosas de coníferas están comprendidas dentro de esta formación entre las que se pueden incluir La Palma y Montecristo, las partes altas de Ocotepeque y Esquipulas.
- Bosque muy Húmedo Montano (bmh-M): Es la zona que corresponde a la parte más alta del Cerro El Pital y otros puntos de la cordillera fronteriza con Honduras. Tiene entre 2500 y 2700 msnm, una topografía muy accidentada y suelos Latosoles húmicos hidromórficos; la temperatura media, varía de 6-12°C y la precipitación anual de 1000 a 2000 mm. En esta zona hay posibilidad de que sucedan escarchas y heladas, la estación seca se reduce de tres a cuatro meses. (A-F7) (DGFCR/MAG.2005).

4.1.11 Áreas Naturales turísticas

Actualmente solo existen dos áreas con actividad turística que son protegidas: La primera, el Parque Nacional La Amistad; y el área ubicada en las poblaciones de Citalá, San Ignacio y La Palma. En esta zona se encuentra el punto más alto de El Salvador (2,730 msnm), así como áreas naturales y remanentes de edificaciones post-coloniales. La ocupación promedio anual estimada es del 50% y se estima que el área recibe anualmente unos 19,000 turistas, de los cuales unos 1,500 pueden ser personas de la misma zona y el resto lo constituyen turistas procedentes principalmente de San Salvador (Cordero Rodríguez, *et al.*2011).

4.2 Características Socioeconómicas

4.2.1 Situación Poblacional

La densidad poblacional está relacionada directamente con la mayor o menor demanda y presión, que pueda ejercer la población sobre la disponibilidad de recursos naturales en las subcuencas. Dependiendo del número de habitantes por unidad de superficie, estos pueden incidir de distintas formas en la situación ambiental y de desarrollo de la subcuenca (figura AF-8). En el cuadro 10 se muestra la densidad poblacional de los municipios de la subcuenca Nunuapa.

Cuadro 9. Densidad población por Municipio

Municipios	Población	Extensión km ²	Densidad Poblacional
La Palma	10,632	135.5	78.5
San Ignacio	6,650	62.8	105.9
Total	17,282	198.3	87.15

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos reflejados en la tabla anterior, el municipio de San Ignacio es el que representa la mayor densidad poblacional, esto podría generar una mayor demanda de los recursos disponibles dentro de la subcuenca.

4.2.2 Vivienda

Se ha identificado que la mayoría de personas de la zona, viven en casas propias tanto en la área rural y urbana, los tipos de vivienda que predominan son de adobe, algunas son mixtas y otras de madera, concreto y lámina, los techos en su mayoría son de teja y láminas, con pisos de tierra y cemento en algunos casos. Algunas viviendas están ubicadas en zonas de alta pendiente y con infraestructura inadecuada, provocando una mayor vulnerabilidad ante las amenazas de deslizamientos, tal es el caso de la comunidad El Zarzal y San Ramón (Enma Reyes.2005).

Las viviendas urbanas presentan una mejor distribución, pues cuentan con dos o tres habitaciones, sala y comedor y en el tipo de material con el cual están fabricadas predominan paredes de concreto, pisos de loza de cemento y techos de tejas.

En cambio en las zonas rurales, las viviendas se componen de una sola pieza, divididas por cartones y cortinas, lo que no les permite disponer de condiciones de intimidad. El material de construcción empleado predomina principalmente, las fabricadas con adobes y láminas, con techos de tejas y pisos de tierra. Este tipo de viviendas trae consigo el padecimiento de enfermedades de la piel y respiratorias, por el exceso de polvo, lo cual afecta principalmente a la población infantil. (MAG.2005).

4.2.3 Servicio de agua potable

Existen deficiencias evidentes en los servicios, particularmente en las familias rurales, Las viviendas no disponen de agua potable, este servicio es prácticamente un privilegio de las zonas urbanas, ya que entre el 60 y el 65% de las familias reciben este servicio, el resto se abastecen de pozos, manantiales y ríos. En cambio en las zonas rurales casi en su totalidad no cuentan con este servicio.

Se conoce que la mayor fuente de abastecimiento lo constituyen los ríos, nacimientos o manantiales, ya que el 65% de la población hace uso de ellos. El 35% se abastece de pozos, y únicamente el 5% recibe servicios por cañerías. El agua que consumen no recibe ningún tipo de tratamiento lo que incide para que las personas padezcan de enfermedades gastrointestinales y parasitarias (DGFCR/MAG.2005).

4.2.4 Servicio de alcantarillado y letrinas

El uso de inodoros y letrinas es común en las zonas urbanas, aunque su disposición final se destine a cauces de ríos. Pero en el campo es más común el uso de letrinas aunque solo del 30% al 35% de la población hacen uso de ellas. Existen casos en que las carencias de letrinas afectan al 83% de las familias, como es el de Citalá, donde el resto eliminan las excretas al aire libre, lo que incide fuertemente en la contaminación del medio ambiente.

Así mismo otro de los problemas presentes en los municipios es el relacionado con la eliminación de aguas servidas. Las viviendas no poseen servicios de alcantarillados ni fosas sépticas, problema que se acentúa más en las áreas rurales y que coadyuva a la contaminación de suelos y ríos, sobre todo porque el 74% de la población reside en ella (MAG.2005).

4.2.5 Energía eléctrica

Uno de los servicios más completos con que cuenta la población de la subcuenca Nunuapa es el de energía eléctrica, debido a que más del 80% de los caseríos disponen de este servicio, las comunidades que aún no cuentan con energía son aquellas que por lo general están demasiado alejadas de las zonas urbanas, o la población es reducida lo que hace difícil la inversión requerida para estos proyectos, tomando en cuenta el impulso que está teniendo la zona en cuanto al desarrollo del turismo, la mejora de este tipo de servicios incentiva la inversión de la empresa privada y con ello incrementa la generación de empleos y de ingresos para sus habitantes (CATIE.2008).

4.2.6 Manejo de los desechos sólidos

La población de estos municipios enfrenta un problema con la eliminación de los desechos sólidos. Este es un servicio que solo recibe la población urbana y es por añadidura deficiente. De la totalidad de la población, únicamente del 2% al 5% reciben el servicio, a excepción de La Palma que cubre el 27%. Las zonas rurales no reciben este servicio, en consecuencia las personas queman o botan la basura en cualquier lugar, inclusive en las riberas de los ríos, aumentando con ello la contaminación ambiental y por ende el brote de enfermedades (MAG.2005).

4.2.7 Vías de acceso

La red vial está conformada por una carretera primaria y seis caminos rurales tipo B, que juntos suman 112.5 kilómetros de longitud. La carretera primaria es la CA.4, tramo Tejutla-El Poy, con una extensión de 34 kilómetros. Adicionalmente, existen los siguientes caminos rurales, tipo B:

- El Guarda -Los Planes - Volcán Miramundo de 12 kilómetros;
- El Túnel - San José Sacare - La Palma de 10 kilómetros;
- La Palma - La Mula Renca - Colegio Las Monjas 2.5 kilómetros;
- CA.4 El Guarda - El Aguacatal - Miramundo - Las Pilas 15 kilómetros;
- San Ignacio - Río Chiquito - Las Pilas de 17 kilómetros.

Existen zonas de mucho riesgo para el tránsito como en el caso de la calle que conecta el municipio de La Palma con Miramundo, la cual se encuentra cortada a la altura de la

cárcava la zompopera y además presenta diferentes tramos amenazados por zonas de constantes derrumbes, que se incrementan en la época de invierno.

La poca disponibilidad de transporte con que cuentan los habitantes de las subcuencas, limita su facilidad de traslado entre municipios y al interior de los mismos. Además, las malas condiciones de los caminos vecinales reduce la posibilidad de poder acceder a un mejor medio de transporte (Cordero Rodríguez. 2011).

4.2.8 Servicios de salud

En el sector de servicios de salud, el municipio de La Palma cuenta con una Unidad de Salud, mientras que San Ignacio dispone de dos Unidades, distribuidas una para la parte baja del municipio con sede en el casco urbano y una en el cantón Las Pilas que cubre la zona alta del mismo.

La Unidad de Salud de La Palma cuenta con los servicios de FOSALUD, lo cual significa que atienden todo el año sin interrupción de horarios y las 24 horas del día; en caso de pacientes de emergencia que no puedan ser atendidos en la Unidad, estos deben ser trasladados al hospital más cercano ubicado en Nueva Concepción, Chalatenango.

Para apoyar los servicios que se brindan en las diferentes Unidades de Salud, se cuenta con Promotores de Salud que son los responsables de llevar un control de las familias que residen principalmente en las zonas rurales de los municipios, el promotor es el responsable de llevar los registros de nacimientos, control de mujeres embarazadas, planes de vacunación, entre otras cosas. Cada cantón cuenta con un promotor de salud, a excepción de cantones como: Santa Rosa, El Pinar y El Carmen en San Ignacio donde se tienen 2 promotores debido a la dispersión en que se encuentran algunos caseríos y el promotor debe desplazarse por largas distancias, dificultando el trabajo para una sola persona.

Los dispensarios médicos y las casas de salud, son otro tipo de infraestructura de apoyo a los servicios médicos con que cuentan algunas comunidades, en ellos se programan consultas con médicos generales 2 veces al mes en algunos casos y se da atención a planes de vacunación con los niños. Dentro de las comunidades que cuentan con este servicio esta: San José Zacare en La Palma, caserío Jupulón en el cantón El Carmen, cantón El Pinar. Algunos promotores se las ingenian para poder dar una mayor cobertura de sus servicios, para ello se auxilian de vecinos quienes prestan sus casas para dar

consultas, como en el caso del caserío las cruces en el cantón El Aguacatal (Reyes. 2005).

En San Ignacio, en el caserío Pie de la Cuesta, existe también un centro de servicio de Pro Familia donde hay una persona capacitada para dar asesoría a las familias en temas de planificación familiar y prevención de enfermedades de la mujer. Este tipo de apoyo de consultas en los cantones ayuda a mejorar las condiciones de salud de los habitantes de la subcuenca, reduciendo la presencia de enfermedades, mejorando su capacidad productiva en las diferentes labores que realizan a diario (MAG. 2005).

4.2.9 Organización social

Las comunidades tienen algún grado de experiencia en el trabajo por medio de organizaciones comunales ya sea de tipo formal o informal, existiendo organizaciones formales como las ASAGRO (Asociaciones Agropecuarias) y ADESCO (Asociaciones de Desarrollo Comunal), y organizaciones de tipo informal como las ACE, CDE, Comité de Salud, entre otros.

Para la consolidación de organizaciones del sector agropecuario, los productores han contado con el apoyo de proyectos como MAG – PAES y PRODERT. El primero de ellos formó para cada uno de los municipios de San Ignacio y La Palma, dos Asociaciones de Productores que involucran a productores agropecuarios de la zona, son la ASAGRO SAN IGNACIO que tiene un aproximado de 35 socios y ASAGRO LA PALMA que cuenta con 42 asociados, ambas organizaciones han sido creadas con el objetivo de apoyar las actividades agropecuarias bajo un enfoque de asociatividad.

Para apoyar actividades relacionadas a la gestión y ejecución de proyectos comunitarios, existen en los cantones las ADESCO, las cuales son asociaciones constituidas legalmente algunas con mayor o menor experiencia en el manejo de fondos y llevan una relación muy cercana con los gobiernos municipales. La satisfacción de la población hacia el trabajo que realizan es variable, siendo una buena opción de entrada para cualquier iniciativa que quiera llevarse a cabo con las comunidades.

Los promotores de salud tienen también organizados su propio Comité de Salud a nivel de caseríos, y estos se encargan de apoyar todas aquellas actividades que tienen relación al tema de salud, apoyo en las consultas, campañas de vacunación, actividades para recolectar fondos económicos, entre otras.

Los Padres y Madres de familia que envían a sus hijos a estudiar también participan en asociaciones que trabajan a favor de la comunidad estudiantil, siendo estas las Asociación Comunal para la Educación (ACE) y los Consejo Directivo Escolar (CDE), el cual depende del sistema educativo de cada escuela como es EDUCO y las Escuelas Públicas, pero de manera general en ambos casos su función está relacionada a la administrar los fondos que suministra el MINED.

En el tema de prevención de riesgos como son los incendios, inundaciones y deslaves, algunas comunidades están organizadas con un sistema de alerta temprana, para lo cual han sido capacitados por Trifinio/GTZ y están provistos de radio comunicadores para dar aviso en caso de emergencias. En esta red están involucradas las siguientes comunidades: Santa Rosa, Rio Chiquito, El Rosario, Alcaldía de San Ignacio, Mancomunidad de Cayaganca, Los Pozos, todas estas corresponden al municipio de San Ignacio; para La Palma se incluyen Bella Vista, PNC El Refugio, PNC La Palma, Alcaldía de La Palma, El Zarzal y Cumbres del Gramal, en cada una de estas hay un radio comunicador de base o portátil para comunicarse en caso de emergencia (CATIE. 2008).

4.2.10 Centros escolares

El sistema educativo en los municipios de San Ignacio y La Palma se ve limitado en su cobertura, principalmente en las zonas rurales, por la falta de infraestructura adecuada y recursos para poder invertir en la mejora de los mismos. Los niveles educativos que cubren son el de parvularia, básicos y medio. A nivel de los cantones se cubre desde parvularia hasta sexto o noveno grado en algunos casos, debiendo desplazarse a las cabeceras municipales para poder estudiar bachillerato.

En el caso de los caseríos que no cuentan con escuelas porque la población es muy poca, las niñas y niños deben de desplazarse hasta el cantón más próximo donde les brinden el servicio educativo que requieren. En algunas escuelas debido al poco personal disponible y la demanda de alumnos, los maestros deben de trabajar dos o tres grados de forma simultánea lo que reduce la calidad de enseñanza que las niñas y niños reciben. En San Ignacio se encuentran 13 centros escolares educativos distribuidos en los cantones y caseríos del municipio; y solamente un instituto nacional. Para el caso de la Palma cuenta con 16 escuelas, dos colegios y un instituto nacional (CATIE. 2008).

4.2.11 Indicadores de desarrollo humano (IDH).

Los municipios ubicados dentro de la subcuenca del río Nunuapa son: San Ignacio y La Palma; del departamento de Chalatenango localizado en la región norte del país se caracteriza por ser una zona altamente turística, además de ser una región dedicada a la agricultura y ganadería. San Ignacio posee una extensión de 62.8 km² tiene una población aproximada de 6,650 habitantes; la Palma cuenta con 135.5 km² y tiene una población de aproximadamente 10,632 personas.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) el municipio de San Ignacio, se ubica en el puesto 136 a nivel nacional, con un IDH de 0.678, una esperanza de vida de 66.9 y tasa de alfabetismo adulto de 73.1.; en el caso de la Palma está en la posición número 139, con un IDH de 0.678, una esperanza de vida 67.0 y una tasa de alfabetismo adulto de 74.2 (PNUD. 2009).

4.3 Comportamiento del caudal en las diferentes épocas y sitios de la subcuenca

Los resultados de caudales medidos en las diferentes épocas en los ríos que forman la subcuenca Nunuapa, se presentan en el cuadro 11 y el análisis por micro cuenca se presenta a continuación:

Cuadro 10. Resultados de caudal en diferentes épocas y sitios de la subcuenca

Microc	Jupula		La Palma		San Ignacio		El Gramal		Talquezalar		Aporte al Río L.	
Fecha	S.M	L/s	S.M	L/s	S.M	L/s	S.M	L/s	S.M	L/s	S.M.	L/s
28/04/2015	El Carmen	6	Parte alta	82	Parte alta	33	Parte Baja	10	Parte Baja	301	Unión Nunuapa -Lempa	1145
	El Rosario	80	Parte baja 1	18								
	Derivación	----	Parte baja 2	----	Parte baja	10						
21/08/2015	El Carmen	97	Parte alta	200	Parte alta	70	Parte Baja	131	Parte Baja	2562	Unión Nunuapa -Lempa	5319
	El Rosario	434	Parte baja 1	99								
	Derivación	59	Parte baja 2	1,585	Parte baja	25						
03/10/2015	El Carmen	24	Parte alta	290	Parte alta	74	Parte Baja	72	Parte Baja	1100	Unión Nunuapa -Lempa	3225
	El Rosario	292	Parte baja 1	105								
	Derivación	84	Parte baja 2	1,237	Parte baja	20						
11/03/2016	El Carmen	0	Parte alta	0.5	Parte alta	0.125	Parte Baja	23	Parte Baja	36	Unión Nunuapa -Lempa	221.7
	El Rosario	4	Parte baja 1	22								
	Derivación	38	Parte baja 2	98	Parte baja	0.08						

4.3.1 Análisis de resultados de medición de caudal en la Microcuenca Jupula.

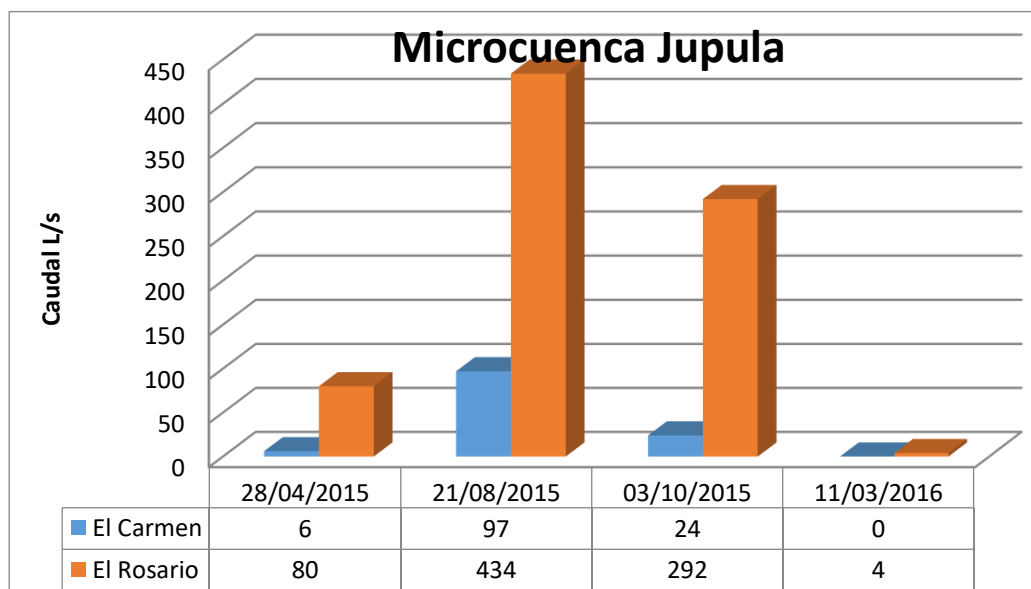


Figura 14. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río Jupula, san Ignacio, El Salvador.

Según la figura de la Microcuenca Jupula se realizaron aforos sobre el río principal a la altura de las comunidades El Rosario (parte media) y El Carmen (parte baja). A la altura de El Rosario, el caudal siempre es más alto que El Carmen, siendo para la época seca 80 L/s, lluviosa 434 L/s, lluviosa-seca 292 L/s y seca-lluviosa 4 L/s. Cabe mencionar que aproximadamente a unos 500 metros arriba del punto de medición de El Rosario, se deriva durante todo el año, un caudal importante hacia los terrenos agrícolas de la Asociación de Regantes El Rosario, que para las épocas evaluadas, lluviosa, de transición lluviosa-seca y seca-lluviosa, fueron de 59 L/s, 84 L/s y 38 L/s respectivamente; lo que significa que el caudal real en estos dos puntos evaluados debería ser más alto que el reportado.

A la altura de la Comunidad El Carmen la situación es muy diferente, ya que durante la época seca se obtuvo un caudal de 6 l/s, (74 l/s de diferencia con El Rosario), debido a las derivaciones que se hacen, especialmente para la Asociación de Regantes en la época seca, volviéndose intermitente en algunos puntos más bajos. Para la época lluviosa en la fecha de muestreo, se encontró un caudal de 97 l/s, en la transición lluviosa-seca

de 24L/s, manteniéndose siempre con una reducción considerable del caudal por las derivaciones mencionadas. Esto demuestra que este río representa una importancia relevante para las comunidades de la microcuenca, ya que el agua es utilizada tanto para actividades agropecuarias como para actividades de los hogares, estas situaciones aunado a la disminución del caudal en los últimos años, dan como resultado una menor disponibilidad de agua en la parte baja (Comunidad El Carmen), generando serios conflictos por el uso del agua con la comunidad de la parte alta (El Rosario) hasta llegar a términos legales en una ocasión por parte de las asociaciones de regantes de los dos cantones, problema que se agudiza durante la época seca ya que es durante este periodo el río en la parte baja está prácticamente seco en la parte baja; los regantes de la comunidad El Carmen atribuyen que los regantes de la parte alta acaparan el agua todo el año ocasionándoles pérdidas por la falta de agua para el riego de sus cultivos, y que a pesar de las reuniones que han tenido entre ambas asociaciones no se respetan los acuerdos que han logrado acordar en reuniones conjuntas con respecto al uso del agua, en su defensa los pobladores de la parte alta (El Rosario) atribuyen que cada año es menos la disponibilidad del agua y que ellos no son culpables de la poca agua que reciben en la parte baja sino que los responsables son los centros turísticos que acaparan el cauce del río.

Martínez Quijano y Cano Funes, 2008 realizaron un estudio en la Microcuenca Jupula, donde se tomaron datos de caudal, obteniendo datos muy bajos que varían entre los 3 lt/s hasta 24 lt/s; y comparando estos datos con los reportes de precipitación para el mes de marzo (0.0 mm) de ese año y así mismo con el promedio anual (2492 mm) permite concluir que la precipitación está directamente relacionada con el caudal existente en el río. De igual manera el Plan Trifinio en conjunto con la GIZ realizaron en enero de 2011 mediciones de caudal, obteniendo datos desde 0.40 lt/s 0.77 lt/s; nuevamente se estima que el caudal es muy bajo por la falta de precipitación en esos meses los cuales fueron de 6.5 mm y en total en ese año fue de 2953.3 mm. Comparado con los resultados obtenidos de los aforos en el que se realizaron cuatro mediciones los meses de abril (140.6 mm), agosto (318.6 mm), octubre (399.7 mm) de 2015 con un total de precipitación de 2153.5 mm y marzo de 2016; obteniendo los mayores valores en el mes de agosto, uno de los meses en el que comenzó a presentarse mayor actividad de precipitación en la zona; por ello existe una relación amplia entre mayor precipitación mayor es el caudal.

4.3.2 Análisis de resultados de medición de caudal en la Microcuenca La Palma

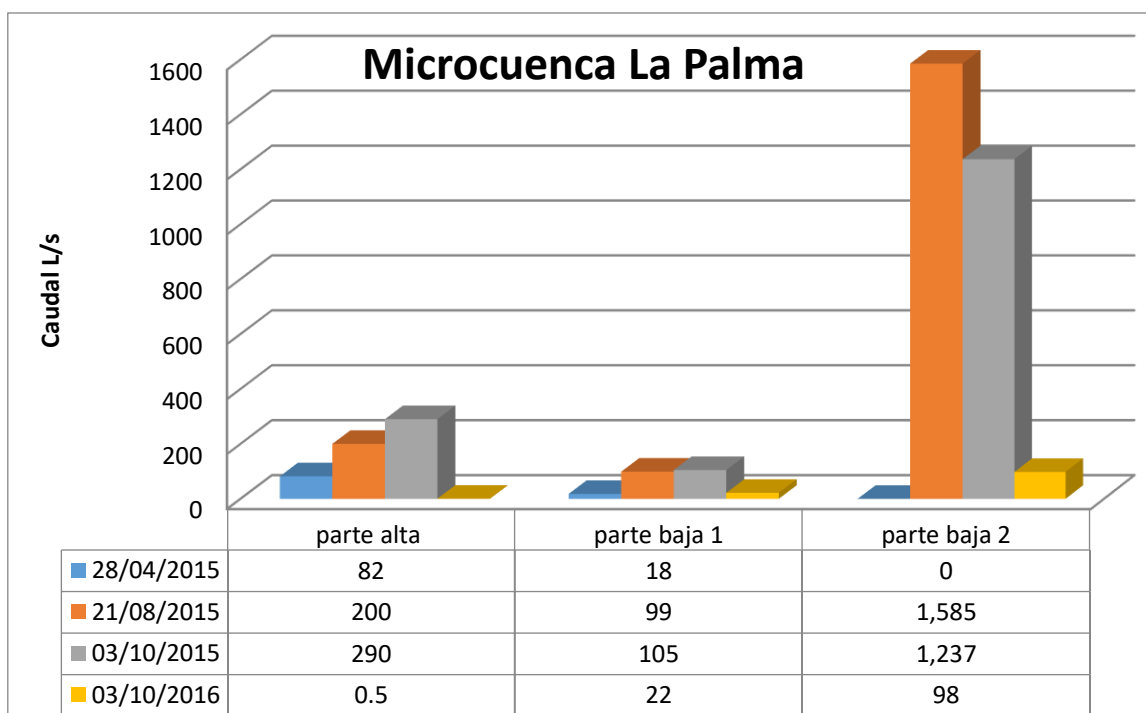


Figura 15. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río La Palma, La Palma, El Salvador.

Como se muestra en la figura 15, se realizaron aforos en tres sitios de la microcuenca, uno en la parte alta y dos más en la parte baja. Durante la época seca se obtuvo un caudal de 82 L/s en la parte alta, mientras que la parte baja el caudal fue de 18 L/s. En la época lluviosa se obtuvieron caudales de 200 L/s en la parte alta, en el primer sitio de la parte baja 99 L/s y en el segundo sitio de la parte baja 1,585 L/s, en transición lluviosa-seca se dio la mayor cantidad de caudal llegando en la parte alta a 290 L/s y 105 L/s en el primer sitio de la parte baja y en el segundo 1,237 L/s. La época de transición seca-lluviosa en la parte alta se obtuvo un caudal de 0.5 L/s, en el primer sitio de la parte baja se obtuvo 22 L/s y en el segundo sitio 98 L/s. En la fecha de muestreo realizada el 3 de octubre, se presentaron lluvias más frecuentes, lo cual se ve reflejado en los caudales, siendo incluso superiores a los de agosto. También en esta micro cuenca, la mayoría de las comunidades aledañas a lo largo del río, derivan agua para diferentes actividades productivas, por ello el caudal disminuye considerablemente en época seca.

La precipitación se relaciona directamente con el caudal obtenido ya que, durante los meses de agosto y septiembre que fueron los meses donde se reportó los máximos caudales la estación meteorológica de La Palma registro la cantidad de 318.6 mm y de 399.7 mm respectivamente; así mismo otro factor determinante de la cantidad de agua es que existen 596.3 Ha de suelo que se encuentran en conflicto de uso provocando que las áreas de recarga acuífera sean afectadas causando que exista un mayor caudal al reportado. Comparando resultados de trabajos anteriores con los resultados actuales en esta micro cuenca en 2005 se llegó a determinar que el caudal en las partes bajas varia en época seca y época lluviosa de 20 hasta 100000 l/s , lo que es mucho mayor con respecto a los obtenidos en la investigación actual que se encuentran entre los 18 a 105 l/s, y esto es debido a la explotación del recurso hídrico por el crecimiento poblacional de la zona entre otros factores.

4.3.3 Análisis de resultados de medición de caudal en la Micro cuenca San Ignacio

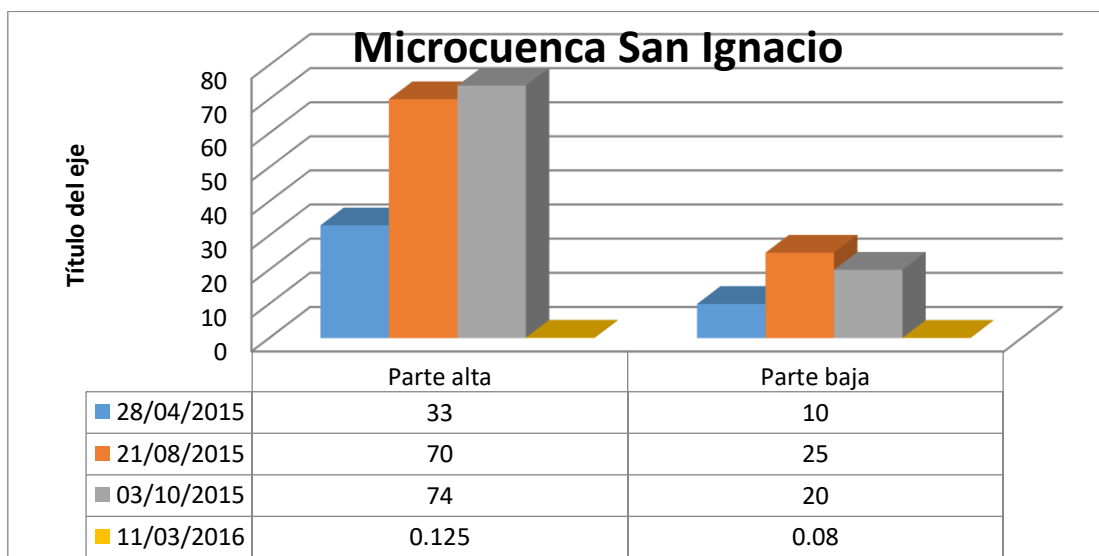


Figura 16. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río San Ignacio, San Ignacio, El Salvador.

De acuerdo a lo presentado en la figura 16, durante el recorrido del agua se va reduciendo, es por esto de las lecturas tan variantes de la parte alta con respecto a la parte baja, estas reducciones de caudal se dan especialmente después que el agua recorre por los cascos urbanos o donde existe actividades productivas y turísticas. El menor caudal reportado fue en el mes de marzo de 2016, aumentando en casi el 50% en

las lecturas de agosto y octubre, y esto se explica por la presencia de lluvias durante estos meses ya que para agosto y octubre, la cantidad de agua reportada por la estación meteorológica fue de 318.6 y 399.7 mm respectivamente

En esta micro cuenca existe 659.2 Ha de suelo en conflicto de uso que en su mayoría es porque existen centros turísticos, hoteles, personas con proyectos privados, actividades productivas de diferentes rubros que explotan el recurso suelo para actividades en las cuales está siendo sub utilizado o sobre utilizado afectando de cierta manera el caudal del río.

4.3.4 Análisis de resultados de medición de caudal en la Microcuenca El Gramal

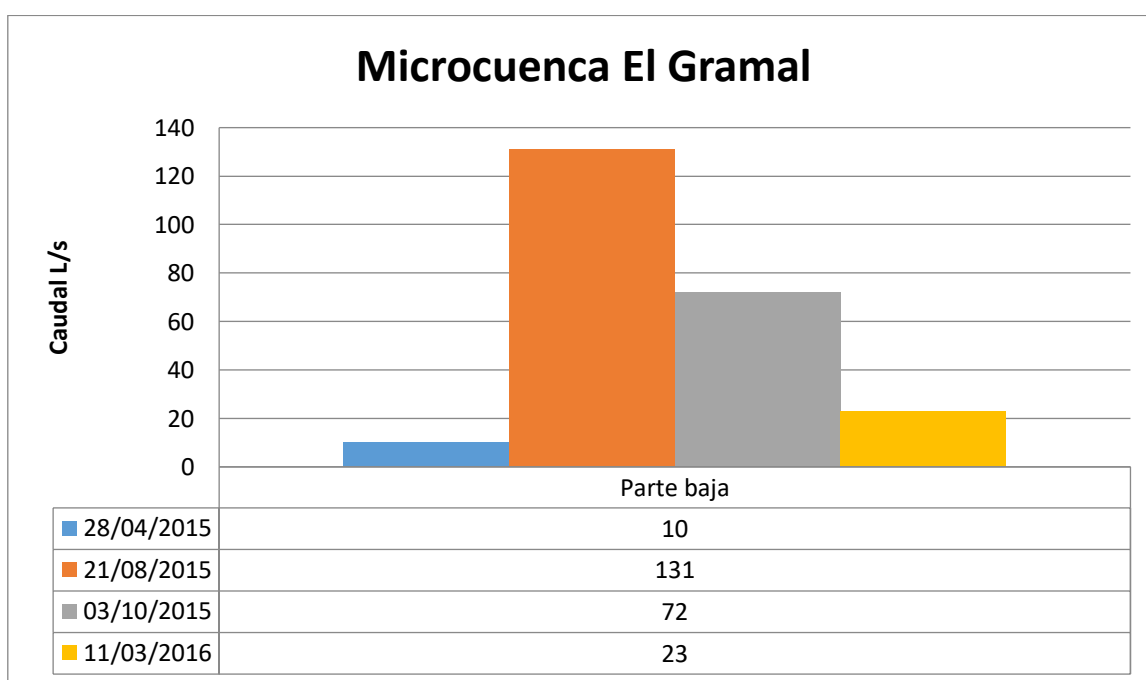


Figura 17. Resultados Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río El Gramal, La Palma, El Salvador.

Según la figura 17 en la Micro cuenca el Gramal, solo fue seleccionado un punto de medición de caudal por limitantes de accesibilidad en la zona así como también porque existe menor cantidad poblacional en los márgenes del río. El comportamiento del caudal es bastante similar a las otras micro cuencas, en cuanto a las épocas de medición, reflejándose el valor más alto (131 l/s) en la medición realizada en agosto, muy diferente a lo obtenido en la Micro cuenca La Palma, en donde el caudal más alto se obtuvo en la lectura de octubre.

En esta micro cuenca existe un área de 1221.23 ha que se encuentran en conflicto de uso de suelo ya que muchos de los recursos existentes están siendo explotados o subutilizados, así mismo otro factor a tomar en cuenta para el análisis del caudal es que en el mes de agosto que es donde se reporta el máximo caudal en este sitio la cantidad de lluvia reportada por la estación meteorológica de La Palma es de 318.6 mm; lo que explica también la relación estrecha que existe entre la cantidad de lluvia precipitada y la disponibilidad de agua en el río

4.3.5 Análisis de resultados de medición de caudal en la Micro cuenca Talquezalar

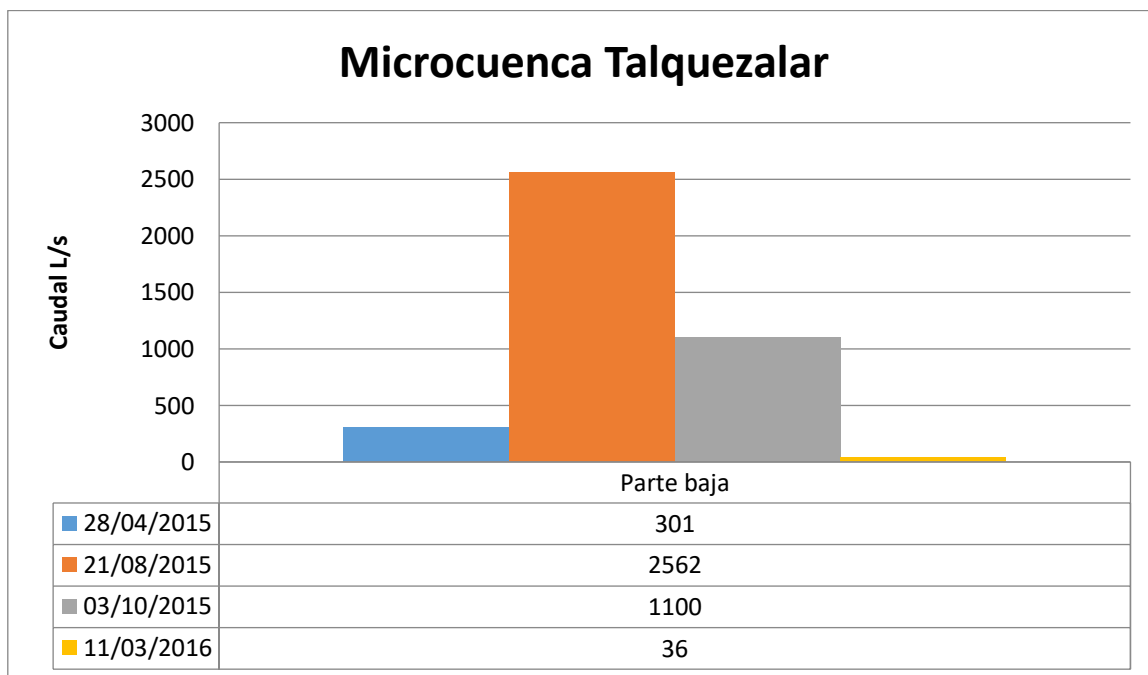


Figura 18. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, río Talquezalar, La Palma, El Salvador.

Al igual que la microcuenca anterior, como se muestra en la figura 18, solo se seleccionó un punto de muestreo por problemas de accesibilidad y además porque existe poca población y el cual fue donde se unen las microcuencas Talquezalar, Los Tecomates, Las Cuevas y El Zarzal. En esta se han obtenido los valores más altos de caudal en las tres épocas de muestreo, en comparación con el resto de microcuencas. El valor más alto de caudal (2,562 L/s) se obtuvo en la época lluviosa, seguido el de la época lluviosa-seca, época seca y por último seca-lluviosa con valores de 1,234, 301 litros/segundo y 36 respectivamente.

Uno de los elementos a destacar en esta microcuenca, es que presenta una buena cobertura vegetal y probablemente existan más fuentes de agua que lo alimentan en la parte alta, además no existen muchas comunidades cercanas al cauce del río que hagan uso extractivo del agua. Durante las giras de campo se observó mucho, la presencia de personas que llegan a bañarse y a disfrutar de la zona, por las características del cauce en cuanto a su caudal y presencia de rápidos y abundante cobertura vegetal. En esta microcuenca existe un área de 537.28 Ha que se encuentra en conflicto de uso de suelo lo que quiere decir que la tierra está siendo subutilizada o sobreexplotada y que esta condición afecta la cantidad de agua disponible en el río; sin embargo hay que destacar que a su vez por la cantidad de agua precipitada durante el mes de agosto (318.6 mm) que es donde se registró el máximo caudal y a su vez también por la poca cantidad de habitantes en las cercanías existe una mayor cantidad de agua disponible con respecto a las otras microcuencas.

4.3.6 Análisis de resultados de medición de caudal en la desembocadura del Nunuapa al río Lempa

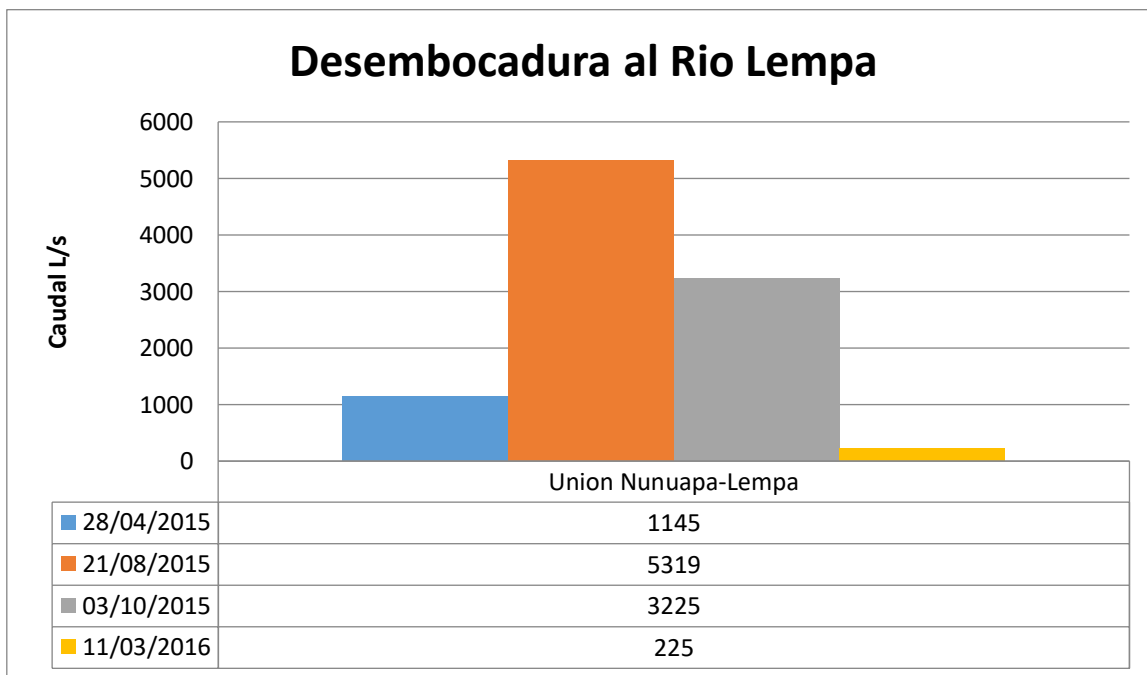


Figura 19. Caudales medidos en diferentes sitios y fechas, desembocadura al río Lempa, San Ignacio, El Salvador.

De acuerdo a la figura 19, en la desembocadura del río Nunuapa a Lempa, los resultados obtenidos durante la época seca (28/04/2015) es un caudal considerable (1,145 l/s). Su mayor caudal es en la época de lluvia (21/08/2015) obteniéndose un valor de 5,319 lt/s, seguido del obtenido en el mes de octubre, con un valor de 3,225 l/s, el caudal más bajo es en época la de transición seca-lluviosa (11/03/16), con un valor de 225 L/s. Estos son valores medidos en el sitio.

Haciendo una comparación de resultados de estudios anteriores como en 2008, el CATIE determino un caudal promedio de 1990 L/s al día, podemos observar que esta cantidad de agua es mucho mayor que lo obtenido actualmente durante todo el mes de abril, con un valor de 1145 L/s; aunque esto cambia para los meses de agosto y octubre con caudales de 5319 L/s y 3225 L/s; esta diferencia de caudales entre las dos investigaciones puede deberse a la cantidad de precipitación en esas fechas, pues según datos de las estaciones meteorológicas más cercanas en la zona de estudio, en los se midieron datos desde 318.6 mm y 399.7 mm (Anexo de cuadro 1 A-CR1), cantidad de agua que fue determinante para aumentar los volúmenes de caudal en cada uno de los muestreos. A diferencia del año 2008, en la actualidad el crecimiento poblacional ha aumentado, factor que demanda mayores cantidades de agua para realizar sus actividades productivas y hogareñas, razón que aumento la sobre explotación de los recursos naturales, así como el incremento de zonas turísticas y negocios que acaparan el recurso agua y disminuye su disponibilidad a la población más necesitada.

4.4 Resultados de análisis de la calidad de agua de los ríos de la Subcuenca Nunuapa.

4.4.1 Calidad ambiental del agua de los ríos (índice de calidad de agua ICA)

Cuadro 11. Resumen de análisis de los 9 parámetros del ICA en los ríos de la subcuenca Nunuapa.

Parámetro	pH	T°	OD	STD	DBO5	Fosfatos (PO ₄)	Nitratos (NO ₃)	Turbidez	Coliformes	ICA Multiplicativo	Clasificación Multiplicativa
Río Jupula-El Carmen	7,1	27	8,22	94,8	1,16	0,6	10,2	5	900	65,36	Regular
Río Jupula-El Rosario	7,8	27	7,97	100,1	0,52	0,5	10,4	6	1600	65,33	Regular
Río San Ignacio	7,6	37,4	6,89	92,3	0,18	0,4	8,3	6	1600	65,94	Regular
La Palma parte baja	7,8	30,9	7,12	105,1	4,96	0,5	8	35	1600	58,31	Regular
Río Nunuapa parte baja	7,6	30,9	7,72	38,8	0,23	0,3	8,5	25	900	67,22	Regular
La palma Parte Alta	8,4	33,9	7,00	123,6	0,04	0,5	1,9	216	500	56,38	Regular
Talquezar	7,7	30,8	7,65	59,7	0,49	1	7,4	13	900	64,76	Regular
El Gramal	7	29,1	7,85	36,4	0,30	0,4	7,6	33	1600	66,38	Regular

Según el cuadro 12, los resultados obtenidos expresan que ninguno presenta calidad EXCELENTE, ya que presentan valores de ICA en un rango de 56.38- 66.38, valor que los clasifica en una categoría REGULAR desde el punto de vista de calidad ambiental, esta categoría caracteriza a las aguas en tener menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de algas. Los parámetros medidos en el agua son pH, temperatura (T°C), oxígeno disuelto (OD mg/l), demanda biológica de oxígeno en cinco días (DBO₅ mg/l), fosfatos (PO₄ mg/l), Nitratos (NO₃ mg/l), turbidez (FAU), sólidos totales disueltos (STD mg/l), coliformes fecales (NMP/100ml) (Cuadro 12).

a) pH

En general, el pH del agua en los ríos de la subcuenca Nunuapa, está dentro de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 de agua potable (A-CR2 Y A-CR3). En todos los sitios donde se obtuvieron muestras se tiene agua relativamente neutra a levemente alcalina, ya que el pH varió desde 7 a 8.4, condición que permite una actividad biológica normal, particularmente de especies acuáticas.

b) T°

Este parámetro, es uno de los indicadores de la capacidad que tiene el recurso para permitir el desarrollo de la vida en una diversidad de especies acuáticas o terrestres, sean vegetales o animales, ya que el proceso de la fotosíntesis tiene como límite los 30° C en medios acuáticos, lo que es muy importante para el establecimiento de una cadena alimenticia muy amplia, en la que intervienen una diversidad de especies. Exceder este límite de temperatura, también aumenta el requerimiento de oxígeno en los peces y disminuye la concentración de OD, por tanto, incrementos en la temperatura del agua tiene simultáneamente dos efectos adversos sobre las especies acuáticas, principalmente: por un lado, incrementa la necesidad de oxígeno; y, por otro, se reduce su abastecimiento disponible. En el estudio solo hay cinco ríos con valores mayor al límite con un rango de 30.9 a 33.9 C°.

c) OD

Todas las muestras dan valores mayores al permitido por las normativas con un rango de 7 a 8.22, esto afecta el desarrollo de formas de vida superiores, lo que incluye una diversidad de especies acuáticas.

d) DBO5

Los ríos medidos en la subcuenca presentan datos desde 0.18- 4.96, donde solo el río la Palma está dentro del rango aceptado por las normas de calidad de agua, este parámetro nos brinda la cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición biológica aeróbica (mediante microorganismos) de la materia orgánica biodegradable de un agua. La mayoría de los ríos no cumplen con los rangos aceptables, y por esa razón siempre se observa cantidades grandes de desechos orgánicos que son arrastrados en el cauce de ríos provocando cantidades contaminaciones.

e) Fosfatos

Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales, y un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de las aguas. Los sitios muestreados no exceden los límites presentando valores de 0.5 a 1.8.

f) Nitratos

El valor óptimo para este parámetro es de 45, en los sitios muestreados se obtuvieron valores entre 1.9 a 10.4, valores muy bajos. Los nitratos existentes en el agua son, habitualmente, consecuencia de una nitrificación del nitrógeno orgánico por contaminación de fertilizantes químicos o procedencia de la disolución de los terrenos atravesados por el agua; lo que indica que en los ríos muestreados no hay presencia de nitrificación por abonos sin embargo otros parámetros hacen que la calidad del agua baje.

g) Turbidez

Este indicador está vinculado con la presencia de partículas coloidales de distinta naturaleza y, por los resultados obtenidos, se puede concluir que es coherente el valor obtenido en los puntos de control considerados, con un rango de 5 a 216.

h) STD

Similarmente a la Turbidez, los Sólidos totales no exceden los valores recomendados.

i) Coliformes

Solamente en dos casos no se excede del rango permitido, sin embargo todos los otros ríos se exceden los límites para aguas destinadas al consumo humano, ya que para este propósito los contenidos de este indicador deben ser menores o iguales a 1000 ml, se obtuvieron valores desde 900 a 1,600. De los resultados se puede inferir que son coherentes con las condiciones de ubicación, uso y accesibilidad, pues en algunos se observó que se usan para depósitos de basura y se vierten todo tipo de desechos, incluyendo aguas servidas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las aguas de los ríos Nunuapa parte baja, Río Jupula-El Carmen, La Palma parte alta y Talquezalar, pueden ser potabilizadas por métodos convencionales como: filtración, sedimentación, desinfección por métodos sencillos como filtración, cloración o ebullición. En general, la calidad físico-química de los ríos de El Salvador, es adecuada para riego, sin embargo su calidad se deteriora principalmente por la alta contaminación bacteriológica. En el 2008 el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) elaboraron un plan de manejo integral en la Subcuenca Nunuapa, donde realizaron un análisis de calidad de agua (ICA) en diferentes microcuencas que conforman la subcuenca; obteniendo datos de calidad clasificada como BUENA, lo que indica que hace siete años la calidad de algunos ríos era

de mejor calidad que la actual, esto debido a diversos factores de contaminación pues no existe ninguna autoridad que intervenga para cuidar los recursos hídricos de la zona.

La mayor fuente de abastecimiento de agua lo constituyen los ríos, nacimientos o manantiales, ya que el 65% de la población hace uso de ellos. El 35% se abastece de pozos, y únicamente el 5% recibe servicios por cañerías. El agua que consumen no recibe ningún tipo de tratamiento lo que incide para que las personas padezcan de enfermedades gastrointestinales y parasitarias. En La subcuenca se realizaron toma de muestras en nacimientos para comprobar la calidad del agua que tienen estos y determinar si pueden ser consumidos por los pobladores sin que perjudique su salud.

Cuadro 12. Resumen de análisis ICA por parámetros en tanques y chorros de la subcuenca Nunuapa.

Parámetro	pH	T°	OD	OD%	STD	DBO5	Fosfatos (PO ₄)	Nitratos (NO ₃)	Turbidez	Coliformes	ICA Multiplicativo	Clasificación Multiplicativa.
El Carmen Tanque 1	7,31	25.56	8,99	103,50	92,5	0,05	1,6	0,9	1	0	85,36	BUENA
El Rosario Tanque 2	6,93	26.30	9,08	105,06	38,8	0,72	0,6	8,6	2	6	81,28	BUENA
San Ignacio Tanque 3	7,35	27.5	9,00	109,60	92,8	0,31	1,8	0,8	1	0	84,54	BUENA
Centa Cisterna PALMA	7,85	24.5	8,99	77,60	84,2	0,25	0,8	0,1	1	0	86,79	BUENA
San Ignacio chorro Alcaldía	7,43	25.9	9,08	88,50	85,9	0,23	0,5	0,4	1	35	83,43	BUENA
Casa T-2 El Rosario	7,34	22.5	9,00	61,50	39,8	0,32	1,4	2,4	2	6	75,66	BUENA
Casa T1 El Carmen	7,83	22.89	8,50	81,30	94	0,05	0,6	0-4	2	0	88,29	BUENA

Para el caso de los análisis realizados a los tanques de captación y en algunos chorros de los hogares de la Subcuenca, como se muestra en el cuadro 13, se determinó que desde el punto de vista ambiental la calidad de estas aguas es buena, lo que quiere decir que son aptas para potabilizar por métodos sencillos como cloración entre otros y que los valores de cada uno de los parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos.

De acuerdo a la clasificación de calidad de agua en tanques, los datos obtenidos están en el rango de valoración de 75.66-88.29 que los clasifica como un agua **BUENA**. Las aguas con un ICA de categoría BUENA tienen generalmente mayor diversidad de organismos acuáticos y es posible beber directamente, pero se recomienda realizar tratamientos antes de hacerlo.

La Razón por la cual los resultados es que la población de San Ignacio, capta el agua directamente de nacimientos de agua a los tanques en algunas ocasiones como por ejemplo en la comunidad El Carmen, ellos en los tanques la mayoría de veces practican métodos como aplicar pastillas de cloración por semana para tener una mejor agua de

consumo y en otras como El Rosario ellos directamente captan y utilizan sin ningún tratamiento el agua para el consumo a pesar de esto la calidad desde el punto de vista ambiental es buena; así mismo en el municipio de la Palma por ser administrada y distribuida por ANDA el agua es de una calidad buena

Cuadro 13. Resumen de análisis ICA por parámetros en los nacimientos de la Subcuenca Nunuapa.

Parámetro	pH	T°	OD	OD%	STD	DBO 5	Fofatos (PO ₄)	Nitratos (NO ₃)	Turbidez	Coliformes	ICA Multiplicativo	Clasifica. Multiplica.
Cantón El Centro	6,32	14.60	6,78	71,90	16,27	1,09	0,9	0,1	1	0	80,60	BUENA
Cantón Las pilas Las Aradas	6,65	14.65	7,82	83,20	15,65	0,18	0,4	0,1	1	0	89,11	BUENA
Cantón R. Chiquito El Pital	6,79	16.70	7,29	81,20	12,48	0,82	0,2	0,1	5	0	90,92	BUENA
Santa Rosa Nacimiento	6,94	15.30	7,00	71,70	52,9	0,85	0,7	0,1	0,9	0	85,24	BUENA
Tanque La Laguna sin Tx	6,04	20.60	5,36	64,60	60,2	0,60	0,7	0,1	0,9	0	78,64	BUENA
Cantón El Pinar	7,74	24.60	8,64	98,50	66,2	1.0	0,5	0,36	0,96	0	90,91	BUENA
San Ignacio	7,32	24.70	5,72	74,70	105,4	0,51	0,3	0,29	0,9	0	90,80	BUENA

Los resultados de calidad obtenidos en los nacimientos que fueron muestreados y como lo presenta el cuadro 14, desde un punto de vista ambiental y según el ICA cumplen una calidad de agua buena lo que quiere decir que es apto para el desarrollo de la vida acuática además de ser apta para potabilizar mediante métodos de purificación. Ya que los parámetros al analizarlos uno por uno se encuentran dentro de lo que establece la norma NSO 13.07.01:08 (cuadro A-CR2). Estos resultados son debido a que los nacimientos se encuentran en zonas

altas y alejadas al acceso de la población, lo que permite que permanezcan con una calidad buena; los parámetros que más determinan esta condición son los de coliformes fecales y que en esta ocasión están por debajo del límite permisible que establece la norma.

4.4.2 Evaluación de la aptitud del uso del agua

Para evaluar la aptitud de uso del agua cruda para potabilizar por métodos convencionales en las aguas superficiales de los ríos, se utiliza la normativa emitida en el Decreto 51 del diario oficial del país. En vista que esos ríos son fuentes de aguas orientadas para el uso doméstico se clasifico el uso para potabilizarla por métodos convencionales aplicando el decreto 51 Reglamento sobre la Calidad del Agua, el control de vertidos y las zonas de protección (Cuadro 15).

El parámetro de la calidad de agua encontrada fuera de la Norma (Decreto 51, Reglamento de la Calidad de agua, el control de vertidos, y las zonas de protección) que causo que el 50% de los ríos evaluados no cumplieran con la calidad requerida para potabilizar, se debe a los valores fuera de la Norma de bacterias coliformes fecales, encontrándose valores mayores a los 1000 NMP/100ml que es el máximo permitido. Los valores correspondientes a los ríos Jupula El Rosario, rio San Ignacio, La Palma parte baja y rio el Gramal son valores de 1600 NMP/100ml por lo que no se le puede dar un tratamiento de desinfección al agua superficial. La principal causa de esta contaminación se debe a que aguas residuales de tipo domestico son descargadas a los ríos en todo el trayecto, basureros a la orilla de los ríos y muchos defecan a la orilla de estos ya que existe en la cuenca un crecimiento tipo rural de residentes

Cuadro 14. Resultados de los parámetros de calidad de los ríos (agua cruda superficial) para evaluar la aptitud de uso.

	DBO ₅	Oxígeno Disuelto	pH	Turbidez	Nitratos	Coliformes fecales	Sólidos totales disueltos	Apta para potabilizar
Valores permisibles decreto 51	3-4 mg/l	4-6.5 mg/l	6.5-9.2	10-250 FAU	≤ 45mg/l	≤ 1000 NMP/100ml	300-600mg/l	
Rio Jupula El Carmen	1.16	8.22	7.1	5	10.2	900	98.4	SI
R. Jupula El Rosario	0.52	7.97	7.8	6	10.4	1600	100.1	NO
R. San Ignacio	0.18	6.89	7.6	6	8.3	1600	92.3	NO
R. La Palma parte baja	4.96	7.12	7.8	35	8	1600	105.1	NO
R. Nunuapa parte baja	0.23	7.72	7.6	25	8.5	900	38.8	SI
R. La Palma parte Alta	0.04	7.0	8.4	216	1.9	500	123.6	SI
R. Talquezalar	0.49	7.65	7.7	13	7.4	900	59.7	SI
R. el Gramal	0.30	7.85	7.0	33	7.6	1600	36.4	NO

En el cuadro 15 describe los resultados de los parámetros de calidad de los ríos para evaluar la aptitud de uso esto según el decreto 51 que determina que de los sitios muestreados cuatro no son aptos para potabilizar los cuales son: el río Jupula en la comunidad El Rosario, río San Ignacio, río La Palma en la parte baja, y el río El Gramal. Los parámetros que se encuentran fuera de los límites permitidos son los de oxígeno disuelto y coliformes fecales, que determinan en mayor proporción que los de demás parámetros del análisis si un agua es apta o no para potabilizar, lo que indica que en estos lugares hay que hacer una mayor labor para poder potabilizar y utilizar el agua para el consumo humano; estos resultados son debidos a factores como que en las zonas no se cuenta con una buena red de drenaje de aguas residuales, como también no existe un buen servicio o manejo adecuado de desechos sólidos que van a terminar a las riveras de los ríos o sitios en mención.

4.5 Aspectos sobre el uso y administración del agua en la subcuenca

Los encargados de la distribución del agua en la Subcuenca Nunuapa son las alcaldías para el agua de consumo, también algunas ADESCO o juntas de aguas se encargan de esta labor. Para el agua de riego existen asociaciones de regantes en las que se debe ser socio para poder ser beneficiado con el servicio.

A continuación se describe cada uno de los distribuidores mencionados anteriormente para conocer algunos aspectos de su funcionamiento:

Asociación de regantes, comunidad el Rosario:

La asociación está ubicada en la parte alta de la microcuenca del río Jupula, fue fundada hace más de 80 años y actualmente cuenta con un aproximado de 85 afiliados, posee personería jurídica desde hace 25 años y como asociación cancelan dos cuotas, la primera de \$79.00 cada año en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y la segunda de \$47.00 en la alcaldía de San Ignacio, con esto certifican su legalidad.

Actualmente cuentan con aproximadamente 80 miembros activos y 5 tanques para abastecer a sus usuarios, cada uno cancela una cuota entre \$15.00 y \$20.00 anuales para poder ser beneficiado con el servicio. La fuente que alimenta los tanques es tomada en la parte alta del río Jupula y utilizan un sistema de riego por goteo en su mayoría, con una frecuencia de riego diaria sin ningún tiempo límite para ejecutar el riego; la capacidad de los tanques es para regar hasta 80 manzanas.

Según la percepción de los regantes, el agua de los ríos cada año va disminuyendo, en gran parte debido a la extracción descontrolada del agua por hoteles, generando consecuencias en la parte baja (comunidad el Carmen) y provocando conflictos entre las comunidades. Como asociación de regantes están en la disponibilidad de contribuir con el cuidado de los ríos pues sin el recurso hídrico, ninguna actividad agrícola se podría realizar, pues el 95% de las actividades diarias dependen de la agricultura.

Asociación de regantes, comunidad el Carmen:

La asociación está ubicada en la parte baja de la microcuenca del río Jupula, fue fundada hace más de 30 años y cuentan con personería jurídica, 60 miembros activos y 2 tanques para abastecer el servicio, la capacidad de riego es de 60 mz y actualmente siembran granos básicos, hortalizas, café, zacateras, frutales, entre otros. Como asociación se cancela en el Ministerio de Agricultura y Ganadería una cuota de \$35.00 al año y como miembro se cancela \$10.00 anuales a la Alcaldía de San Ignacio.

Con respecto al uso del agua cada socio puede regar una manzana de terreno, pero no existe ningún control ni vigilancia, solamente es un acuerdo entre miembros y se riega un día sí y otro no; el agua para riego se raciona por sectores y poseen 3 vigilantes encargados de revisar las válvulas y tuberías cada 3 meses.

Los meses de febrero, marzo y abril son los más difíciles con respecto a la disponibilidad del agua, porque el río prácticamente se encuentra seco y en muchas ocasiones se pierden los cultivos por la falta de la misma, esto ha empeorado en los últimos años. Esto es debido principalmente por la falta de regulación y extracción en la parte alta (El Rosario). Uno de los mayores problemas dentro de la asociación, es la falta de convocatoria y el desinterés de los miembros, generando conflictos internos.

Alcaldía municipal de San Ignacio:

El agua de consumo en la comunidad El Rosario es distribuida por la alcaldía de San Ignacio, abasteciendo el servicio de cuatro nacimientos, mayoritariamente de uno llamado "El Polvon" ubicado arriba del peñón de Cayaguanca. El agua es captada en un tanque y tratada con cloro donde una persona asignada por la alcaldía se encarga de abrir y cerrar las válvulas que brindan el paso del agua hacia la población, así como también dar el mantenimiento y reparación de las tuberías.

Son alrededor de 250 familias que cuentan con el servicio del agua para consumo y realizan un pago por el servicio de \$16.00 en la alcaldía al año, aunque la cuota del servicio es baja, existen personas que tienen años de no pagar la cuota y siempre cuentan con el servicio. Por lo general el servicio es diario de 6:00 am a 6:00 pm, exceptuando en la época seca que hay una racionalización y la reciben un día sí y otro no. En el casco urbano de este municipio, la administración y distribución del servicio de agua de consumo es por la alcaldía, quien tiene sus fuentes de abastecimiento de nacimientos de los cantones de la parte alta del municipio como lo son Río Chiquito, las pilas y cerro el Pital; se realiza un cobro por la alcaldía de \$12.00 al año, lo que se considera bajo y aceptable por los mismos usuarios con una distribución por tres horas diarias, exceptuando en la época seca que el servicio lo brindan cada dos días.

ADESCO, Comunidad el Carmen:

Esta ADESCO administra dos tanques de abastecimiento de agua para consumo en la comunidad el primero ubicado sobre la carretera troncal del norte y el segundo en la comunidad, estos abastecen a 160 familias aproximadamente. El agua proviene de nacimientos ubicados en la zona alta de la Subcuenca Nunuapa, es traída y captada por medio de tuberías hasta los tanques donde es tratada con cloro. Es distribuida todos los días durante aproximadamente 6 horas diarias, a excepción de la época seca en la cual el agua es racionada un día sí y otro no, porque las fuentes de agua disminuyen.

Los usuarios pagan por este servicio \$12.00 al año por hogar a la ADESCO, que lo utiliza para el mantenimiento de tuberías y tanques y esta misma organiza a la población para realizar labores de reparación así como también en algunas ocasiones de protección como cercado de las mismas.

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA):

En el casco urbano y en las comunidades que conforman el municipio de La Palma, quien se encarga de la distribución del agua es ANDA por más 24 años; las viviendas no cuentan con un contador en cada hogar, pero se ha asignado una tarifa que ronda entre los \$10.00 a \$20.00 a cada usuario que es cancelada en los bancos del pueblo.

El servicio de agua es irregular, cada dos días ya sea 4 o 6 horas y ha sido el mismo en los últimos años, después de ser usada el agua es depositada en las calles, estas son llevadas a una planta tratadora que es manejada de parte de la alcaldía de La Palma.

Problemas entre Comunidades por el uso del agua

Los problemas encontrados en la microcuenca del río Jupula, son los conflictos entre las comunidades El Carmen y El Rosario, generados por el uso del agua del río Jupula, pues durante la época seca no hay agua suficiente para los cultivos de la comunidad El Carmen porque el río en esa parte está prácticamente seco; los habitantes manifiestan que la asociación de regantes de El Rosario acapara toda el agua y no deja que llegue agua suficiente.

En la comunidad El Rosario se midió el caudal siendo para la época seca un valor de 80 L/s, para la época lluviosa fue de 434 L/s, en la época lluviosa-seca 292 L/s y seca-lluviosa 4 L/s. A la altura de la Comunidad El Carmen la situación es muy diferente, ya que durante la época seca se obtuvo un caudal de 6 l/s, (74 l/s de diferencia con El Rosario), para la época se encontró un caudal de 97 l/s, en la transición lluviosa-seca de 24L/s, manteniéndose siempre con una reducción considerable del caudal por las derivaciones mencionadas. Esto demuestra que este río representa una importancia relevante en las comunidades de esta Microcuenca y lo observado por los pobladores está sustentado con mediciones de caudal.

Por su parte, los miembros de la asociación El Rosario manifiestan que el agua actualmente no es suficiente pues ellos mismos no alcanzan a regar todas sus parcelas durante la época seca; los problemas por el uso del agua han llegado a niveles jurídicos, ya que la comunidad El Carmen los demandó hace años, pero no ha habido resultados satisfactorios.

En los últimos años, ambas asociaciones han tenido acercamientos para tratar de llegar a acuerdos para mejorar la situación con respecto al agua, pero año con año manifiestan que el recurso ha disminuido y la demanda por su uso se incrementa, pues más familias desean regar sus parcelas por ser la agricultura el medio de vida más importante en la zona; además que existen lugares turísticos y de otros rubros similares que también utilizan el agua sin solicitar ningún permiso, lo cual influye directamente en disminución de los caudales de los ríos.

5. CONCLUSIONES

1. En general, la calidad del agua de los ríos que forman la subcuenca Nunuapa, según el análisis ICA, es de categoría regular, principalmente por las cargas altas de bacterias coliformes, producto de las descargas de desechos sólidos y líquidos a lo largo de su recorrido, provenientes de las comunidades aledañas al cauce.
2. La calidad del agua para el consumo humano de las diferentes comunidades de la subcuenca, que proviene de nacimientos ubicados en la parte alta, se clasifica como buena, esto se debe principalmente a que son fuentes poco accesibles y con buena protección, además por los tratamientos de purificación que se aplica en los tanques de captación antes de ser tomada por los usuarios.
3. La calidad de agua de los ríos de la subcuenca durante los últimos 8 años ha cambiado de BUENA a REGULAR, comparando los resultados de investigaciones realizadas en el pasado, esto posiblemente es debido al crecimiento poblacional y urbano en la zona, que también aumenta las cantidades de desechos sólidos y líquidos, por la falta de programas sólidos de saneamiento básico en la zona.
4. Los caudales de los ríos de la subcuenca, han disminuido significativamente con el paso de los años, afectando directamente los caudales ecológicos en algunos de ellos, mientras que la demanda de agua para diferentes usos se ha incrementado, así como los conflictos entre los diferentes usuarios; finalmente se reducen también los aportes a la cuenca del río Lempa.
5. Los conflictos más evidentes por el uso del agua se presentan en la Microcuenca Jupula, entre las comunidades de El Rosario y El Carmen; producto de la falta de la aplicación de las normativas existentes, y de una gobernanza que contribuya a la búsqueda de acuerdos entre usuarios, para lo cual debería tomarse la cuenca como unidad básica para la planificación y gestión integrada de los recursos hídricos.
6. En un lapso de 10 años se han realizado diversos estudios sobre calidad y cantidad de agua en la subcuenca, obteniendo resultados que reflejan una tendencia negativa; lo que indica que se deben mejorar las acciones y esfuerzos que se vienen desarrollando, involucrando más a las poblaciones y comunidades, si se quiere revertir esa tendencia.

6. RECOMENDACIONES

1. Tomando en consideración que esta zona es estratégica por ser parte de la Región Trifinio de El Salvador y de la parte alta de la cuenca del Río Lempa, se recomienda a los organismos nacionales e internacionales que trabajan en la zona, que promuevan mecanismos de participación entre los diferentes actores y usuarios del agua de la zona, con el propósito de aumentar los niveles de gobernanza para hacer una gestión integrada de los recursos hídricos y reducir los conflictos por el uso del agua entre los diferentes usuarios.
2. Se recomienda a las instituciones nacionales e internacionales que laboran en la zona, promover el enfoque de cuenca hidrográfica como unidad básica para la gestión del territorio y de los recursos naturales en general, involucrando a los diferentes actores de la parte alta, media y baja, bajo un enfoque adaptativo e integrado.
3. Las organizaciones responsables de la administración del agua en la cuenca, como ANDA, alcaldías, Juntas de Agua y Asociaciones de Regantes, deben implementar programas permanentes de monitoreo de la calidad y cantidad del recurso, buscando apoyo en Universidades, Ministerio de Salud, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, entre otros.
4. Se recomienda a las Unidades Ambientales Municipales, realizar monitoreo permanente de los sitios que son fuentes importantes de contaminación en el cauce de los ríos La Palma y San Ignacio, especialmente los botaderos a cielo abierto de desechos sólidos de hogares, aserraderos, carpinterías, entre otros.
5. Las unidades ambientales de las alcaldías de la zona, deben hacer un monitoreo permanente para la mejora de infraestructura de acueductos, alcantarillado, almacenamiento y sistemas de tratamiento del agua de consumo humano, para mejorar también su calidad.
6. Incluir en futuras investigaciones en el análisis de calidad de agua potable o de consumo, los parámetros que rigen la *norma salvadoreña obligatoria* NSO 13.07.01:08 en la que se incluyen parámetros de metales pesados, sustancias inorgánicas para poder determinar la calidad de agua de consumo de la población de la zona.

7. Implementar programas de protección y restauración de zonas de recarga hídrica, para mejorar los niveles de infiltración hacia los mantos acuíferos y mejorar los caudales de estiaje en la época seca.

7. BIBLIOGRAFIA

- **Castaneda Romero, L. F; Villalta Rodríguez, C. A. 2003.** Manual de manejo de cuencas hidrográficas. Programa de postgrado en agronomía tropical sostenible, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. San Salvador. SV. 170 p.
- **CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2008.** Plan de Manejo Integral de la subcuenca del Río Nunuapa, Departamento de Chalatenango. Consultoría “diseño, elaboración y validación en forma participativa del plan de manejo integral de las subcuencas de los ríos Nunuapa y shushula. Chalatenango, SV. 157 pag.
- **Cordero Rodríguez, O.J; Marinero Cerritos, I.I y Zelada Alarcón, R.N. 2011.** Análisis del impacto del cambio en el uso de suelo sobre procesos hidrológicos en seis microcuencas de la región trífino el salvador, Guatemala y honduras, con el apoyo del programa bosques y agua y la cooperación internacional Alemana (GTZ). Tesis Ing. Civil. Santa Ana, SV. Universidad de El Salvador. 251 pag.
- **DGFCR/MAG – Alcaldía de La Palma, Alcaldía de San Ignacio y PASOLAC. 2005.** Estudio hidrológico de la subcuenca del rio nunuapa. El Salvador. 26 pag.
- **Faustino, J. 2007.** Curso de especialización gestión integral de cuencas hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, C. R. 150 p.
- **Gallardo Carpio, C.H. 2009.** Determinación de la calidad del agua que abastece a cuatro comunidades del cantón el almendro del municipio de jucuaran, usulután. Tesis Msc. San Salvador, SV. Universidad de El Salvador. 120 pag.
- **Guevara Vera, A. 1996.** Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua. Perú. 50 p.

- **Instituto Nacional de Salud. 2011.** Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Bogota, Col. 95 pag.
- **MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería), PAES. 2005.** Diagnóstico de la microregión La Palma. San Ignacio, SV. 76 pag.
- **MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2005.** plan de manejo de la subcuenca del río nunuapa. San Ignacio, SV. 84 pag.
- **Martínez Quijano, E del C, Cano Funes, R.S. 2008.** Evaluación de los medios de vida y la calidad y cantidad del agua de la microcuenca del río Jupula, Chalatenango, El salvador. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV. Universidad de El Salvador. 138 pag.
- **Martínez Quijano,E., Escamilla, K.E., Cano Funes,R., Romero Paz, B.N., Ponce Meléndez, U.N., Parada Flores, H.M., Cabrera Avelar,J.E., Rivas Saravia, E.R., Orellana Nuñez, M. A., Castaneda Romero, L.F. , Sermeño Chicas, J.M; Rivas, A.W., Hernández Martínez, M.A. 2009.** PROYECTO SINREM “Sincronización de la Información para la Participación Local-Nacional en el Manejo de los Recursos Naturales”.MICROCUENCA JUPULA, SAN IGNACIO, CHALATENANGO, EL SALVADOR, INFORME TECNICO FINAL. San Salvador, SV. 280 pag.
- **Ministerio de Salud. 2009.** Norma salvadoreña obligatoria. Agua, agua potable (segunda actualización). El Salvador.20 pag.
- **Pedroza González, E. 2001.** Canal Parshall. México. p. 2-6.
- **PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).2009.** Almanaque 262 estado del desarrollo humano en los municipios de El Salvador 2009. El Salvador. 314 pag.
- **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>.
- **Reyes, E. 2005.** Caracterización de Subcuencas Shushula, Jupula y Nunuapa. Chalatenango. Proyecto Gestión Participativa del Riesgo en la cuenca alta del río Lempa Trifinio/GTZ. La Palma, SV. 60 pag.
- **RIOB. 2009.** Gestión Integrada de Cuencas Asociadas al Complejo Hidrográfico El Imposible-Barra de Santiago, El Salvador, Centroamérica, (en línea). IUCN.

Consultado 20 de marzo de 2015. Disponible en:
http://www.riob.org/ag2004/documents/comm/BASIM_INBO_MARTINICA.pdf

- **Rojas Bustamante, O. 2006.** Manual básico para medir caudales. Ecuador. 29 p.
- **Romero Paz, B.N y Ponce Meléndez, U.N. 2009.** Formulación de un plan de manejo de la microcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV. Universidad de El Salvador.193 pag-
- **Sánchez, FJ. 2013.** Hidrología. Salamanca, ES. 30 p
- **SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2005.** Diagnóstico nacional de calidad de aguas superficiales (en línea). Consultado 26 de mayo de 2016. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/Documentos/Hidrologia/DIAGNOSTICOCALIDADAGUA.pdf>
- **SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). sf.** Índice de calidad de agua general “ICA”. San Salvador, SV.14 pag.
- **Torres P, Cruz Hernán C, Patiño P.J. 2009.** Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Medellín, CO. 16 p.
- **United States Geological Survey (USGS). 2010.** (En línea) Fecha de consulta 18 de febrero de 2015. Disponible en: <http://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>
- **Universidad de Chile. 2005.** Aforo en un cauce natural. Chile. 15 p.
- **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. 120 p.

8.0 ANEXOS

8.1. Anexo de contenido

A-C 1 Encuesta para recopilación de información

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

PROYECTO: Evaluación de la cantidad y calidad del agua y su relación con las características biofísicas y socioeconómicas en la Subcuenca del río Nunuapa, Chalatenango, El Salvador

Objetivo de la encuesta: Recopilar información básica en las **Asociaciones de regantes, usuarios, Alcaldías**, para analizar los problemas del recurso hídrico de la zona.

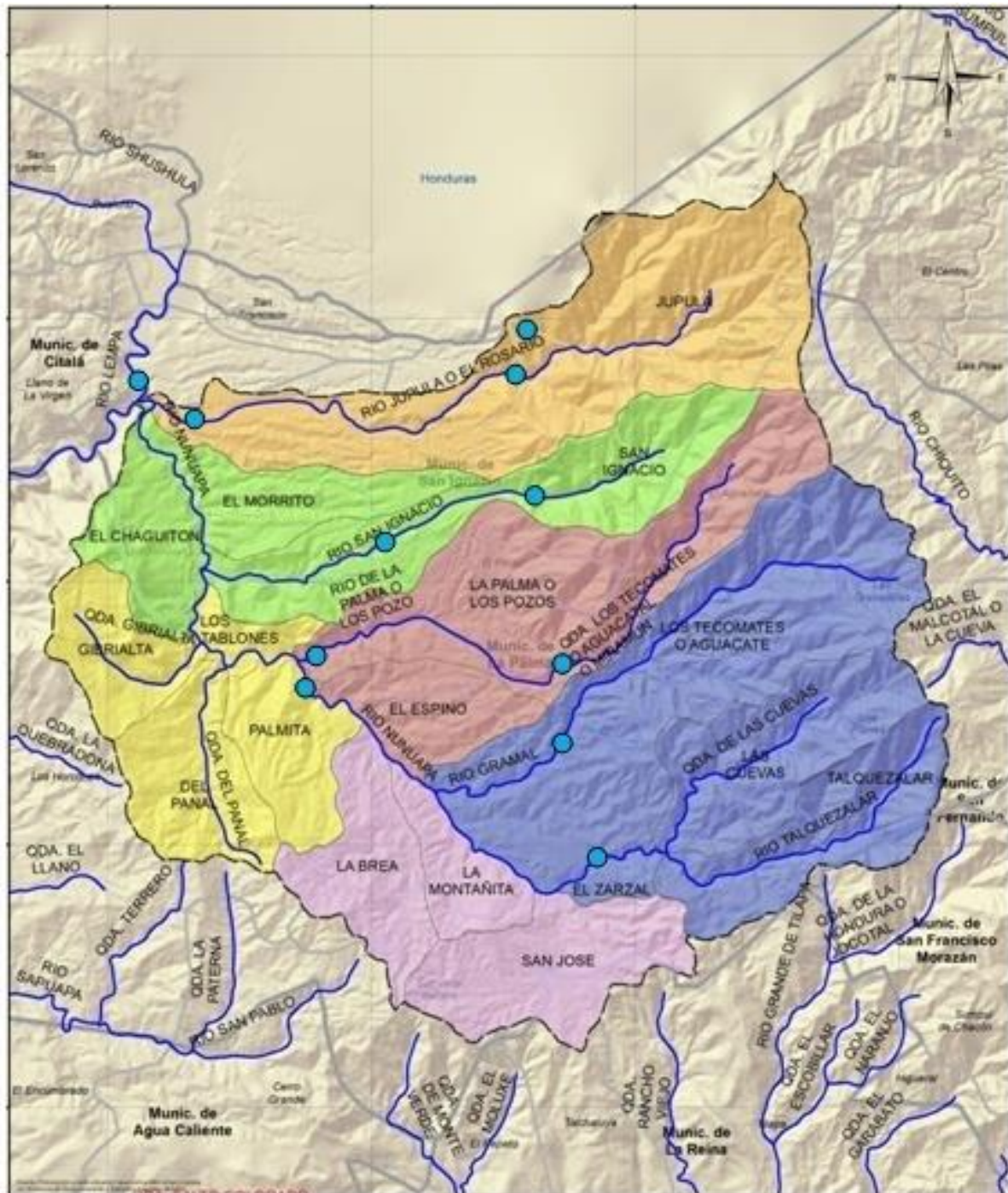
Encuestador:		Nº de encuesta	
Fecha:		Hora de inicio	
Zona de residencia del entrevistado			
1.	Municipio		
2.	Cantón		
3.	Caserío		
Datos generales del entrevistado			
4.	Sexo	Hombre <input type="checkbox"/> Mujer <input type="checkbox"/>	
5.	Edad	_____ Años	
6.	Nivel de escolaridad	a) Áreabásica <input type="checkbox"/> b) Tercer ciclo <input type="checkbox"/> c) Bachillerato <input type="checkbox"/> d) Educación superior <input type="checkbox"/> e) Ninguno <input type="checkbox"/>	
Condiciones actuales de la asociación de regantes			
7.	Número de integrantes activos que forman la asociación	Nº _____	
8.	¿De dónde proviene el agua que utilizan para riego?	a) Pozo <input type="checkbox"/> b) Manantial <input type="checkbox"/> c) Río <input type="checkbox"/> d) Cual: _____	
9.	¿Qué sistema de riego utilizan?	a) Goteo <input type="checkbox"/> b) Aspersión <input type="checkbox"/> c) Inundación <input type="checkbox"/>	
10.	¿Cuánto es el área que está bajo riego por la asociación?	a) 0.5-5 mz <input type="checkbox"/> b) 5.5-10 mz <input type="checkbox"/> c) 10.5-15 mz <input type="checkbox"/> d) 15.5-25 mz <input type="checkbox"/> e) 25.5-50 mz <input type="checkbox"/> f) > de 50 mz <input type="checkbox"/> g) Otra _____	

11.	¿Qué tipo de cultivos riegan?	a) Granos básicos <input type="checkbox"/> b) Hortalizas <input type="checkbox"/> c) Frutales <input type="checkbox"/> d) Pastos <input type="checkbox"/> e) Forestales <input type="checkbox"/> f) Todos <input type="checkbox"/>
12.	Frecuencia de riego	a) Diariamente <input type="checkbox"/> b) Cada dos días <input type="checkbox"/> c) Cada cuatro días <input type="checkbox"/> d) Cada seis días <input type="checkbox"/> e) Cada ocho días <input type="checkbox"/>
13.	Horas diarias de riego	a) 1-2 hrs. <input type="checkbox"/> b) 2-3 hrs. <input type="checkbox"/> c) 4-6 hrs. <input type="checkbox"/> d) > de 6 hrs. <input type="checkbox"/> e) Todo el día. <input type="checkbox"/>
14.	¿Se tiene algún dato de caudal utilizado para riego diariamente?	_____
15.	¿Cuál es el sistema de conducción del agua hacia las parcelas?	a) Canales de mampostería <input type="checkbox"/> b) Tubos de PVC <input type="checkbox"/> c) Poliducto <input type="checkbox"/>
16.	¿Reciben capacitaciones sobre manejo del agua?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
17.	Las capacitaciones recibidas son impartidas por:	a) Institución pública <input type="checkbox"/> b) Institución privada <input type="checkbox"/> c) ONG's <input type="checkbox"/> d) Otro _____
18.	¿En qué área les gustaría recibir capacitaciones?	a) Conservación de suelo y agua <input type="checkbox"/> b) Riego y drenajes <input type="checkbox"/> c) Manejo de cultivos <input type="checkbox"/> d) Manejo de plaguicidas <input type="checkbox"/> e) Otros _____
19.	Principales factores que afectan el desarrollo del riego	a) Naturales <input type="checkbox"/> c) Legales <input type="checkbox"/> e) Institucionales <input type="checkbox"/> f) Otros _____
20.	¿Cuáles son las principales limitantes que afectan el riego?	a) Falta de agua <input type="checkbox"/> b) Falta de equipo <input type="checkbox"/> c) Capacitaciones <input type="checkbox"/> d) Falta de tierra <input type="checkbox"/> e) Otros _____
21.	¿Realizan inspecciones en las áreas de riego? ¿Quién las realiza? ¿Cada cuanto se realizan?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> _____ _____
22.	¿Pagan tarifa por el uso del agua?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
23.	¿Cuánto pagan? ¿Y donde se realiza el pago?	_____

24.	Modalidad de pago	a) Mensual <input type="checkbox"/> b) Anual <input type="checkbox"/> c) Por temporada <input type="checkbox"/> d) Otro _____
25.	¿Están registrados en el MAG?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Conflictos		
26.	¿Existen conflictos entre la asociación de regantes?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
27.	¿Como los resuelve?	a) Diálogos <input type="checkbox"/> b) Acuerdos <input type="checkbox"/> c) Otros _____
28.	¿Existen conflictos entre asociaciones de regantes/administradores y usuarios?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
29.	¿Qué tipo de conflictos?	a) Judicial <input type="checkbox"/> b) Verbal <input type="checkbox"/> c) Físico <input type="checkbox"/> d) Otro _____ e) Especifique _____
30.	¿Por qué se dan estos conflictos?	a) Poco agua <input type="checkbox"/> b) Mala organización <input type="checkbox"/> c) Ambas <input type="checkbox"/> d) Otros _____
31.	¿Qué medidas toman para solventar estos conflictos?	a) Discusión en asamblea <input type="checkbox"/> b) Dialogo/negociación directa <input type="checkbox"/> c) No se solucionan <input type="checkbox"/>
32.	¿Ha notado algún cambio en la cantidad de agua en los nacimientos, ríos y quebradas, en esta zona, en los últimos 10 años? Si ha disminuido, ¿Cuáles cree que son las causas de ello?	a) Aumentado <input type="checkbox"/> b) Disminuido <input type="checkbox"/> c) Sigue igual <input type="checkbox"/>

8.2. Anexo de figuras

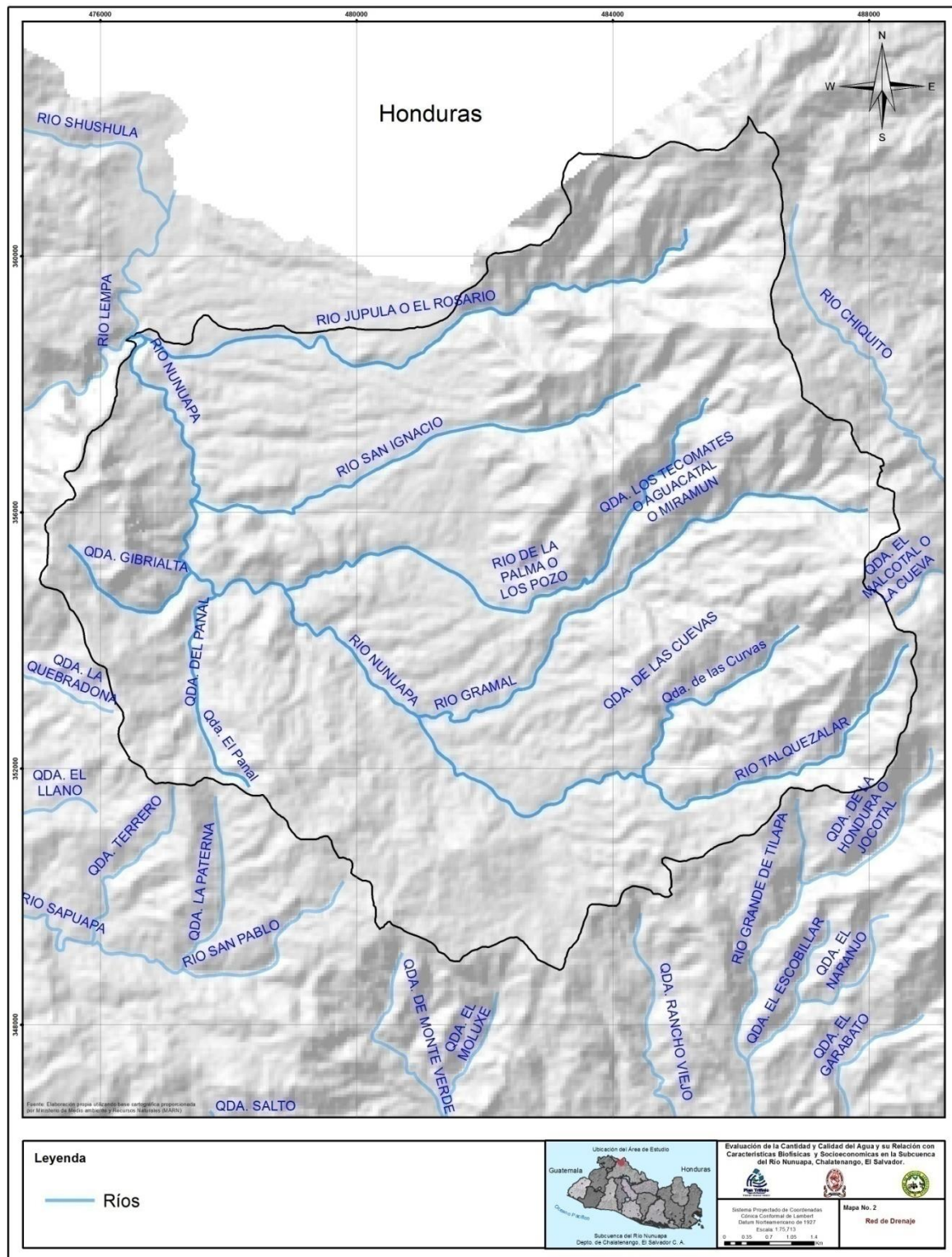
A-F 1 Sitios de muestreo



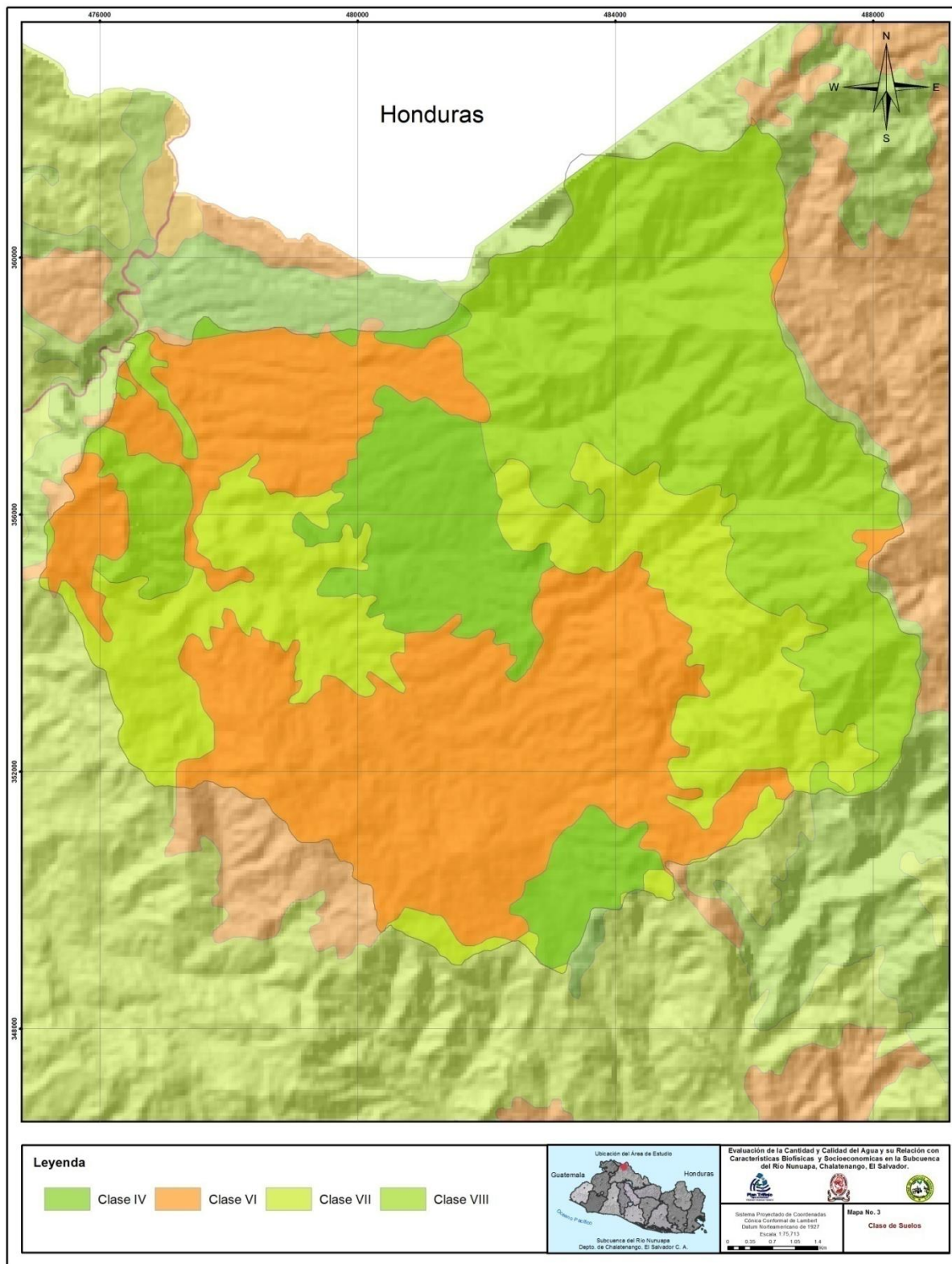
A-F 2 Mapa de división político-administrativo de la Subcuenca Nunuapa



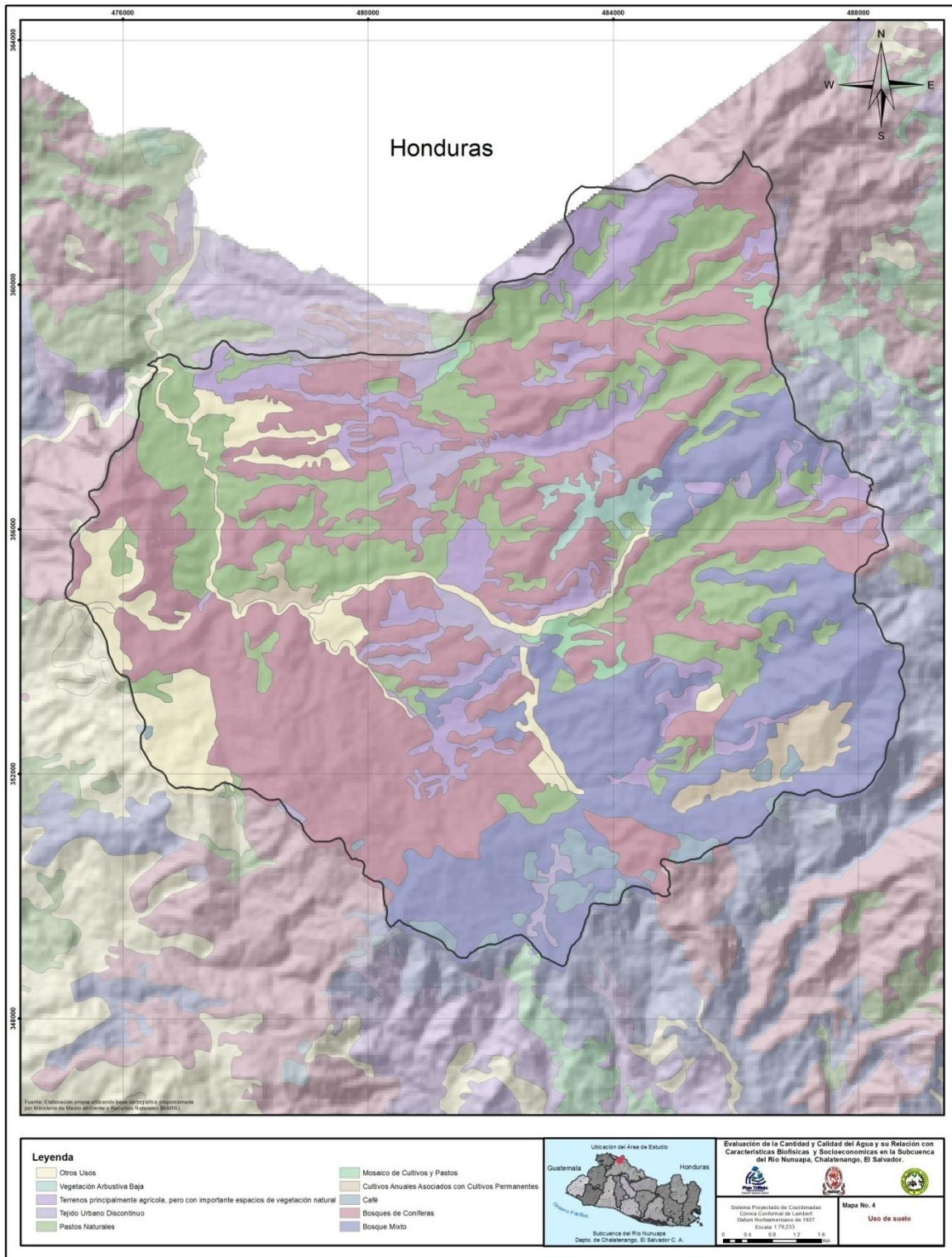
A-F 3 Mapa de red de drenajes de La Subcuenca Del Río Nunuapa



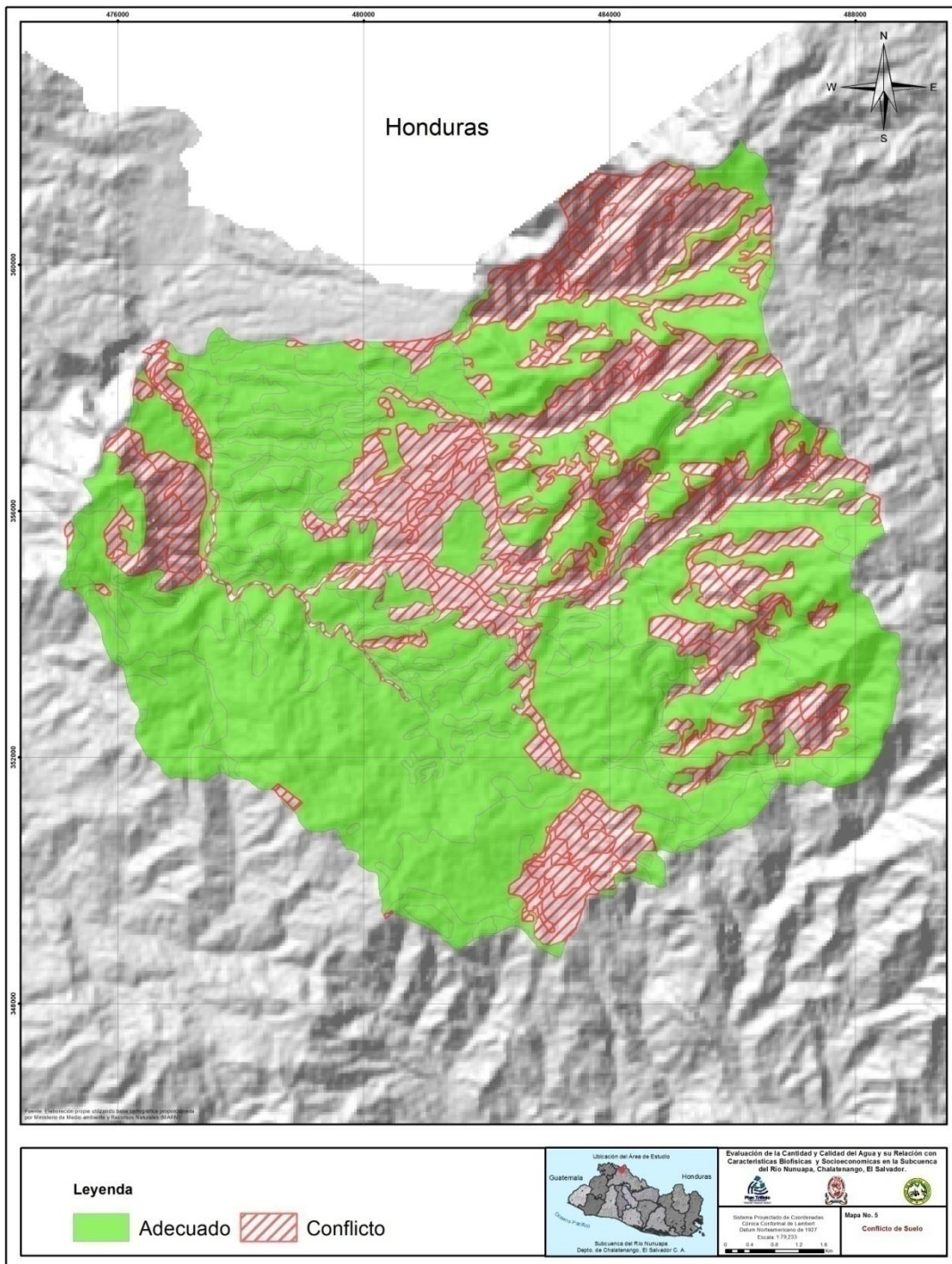
A-F 4 Mapa Agrológico de la Subcuenca Del Río Nunuapa



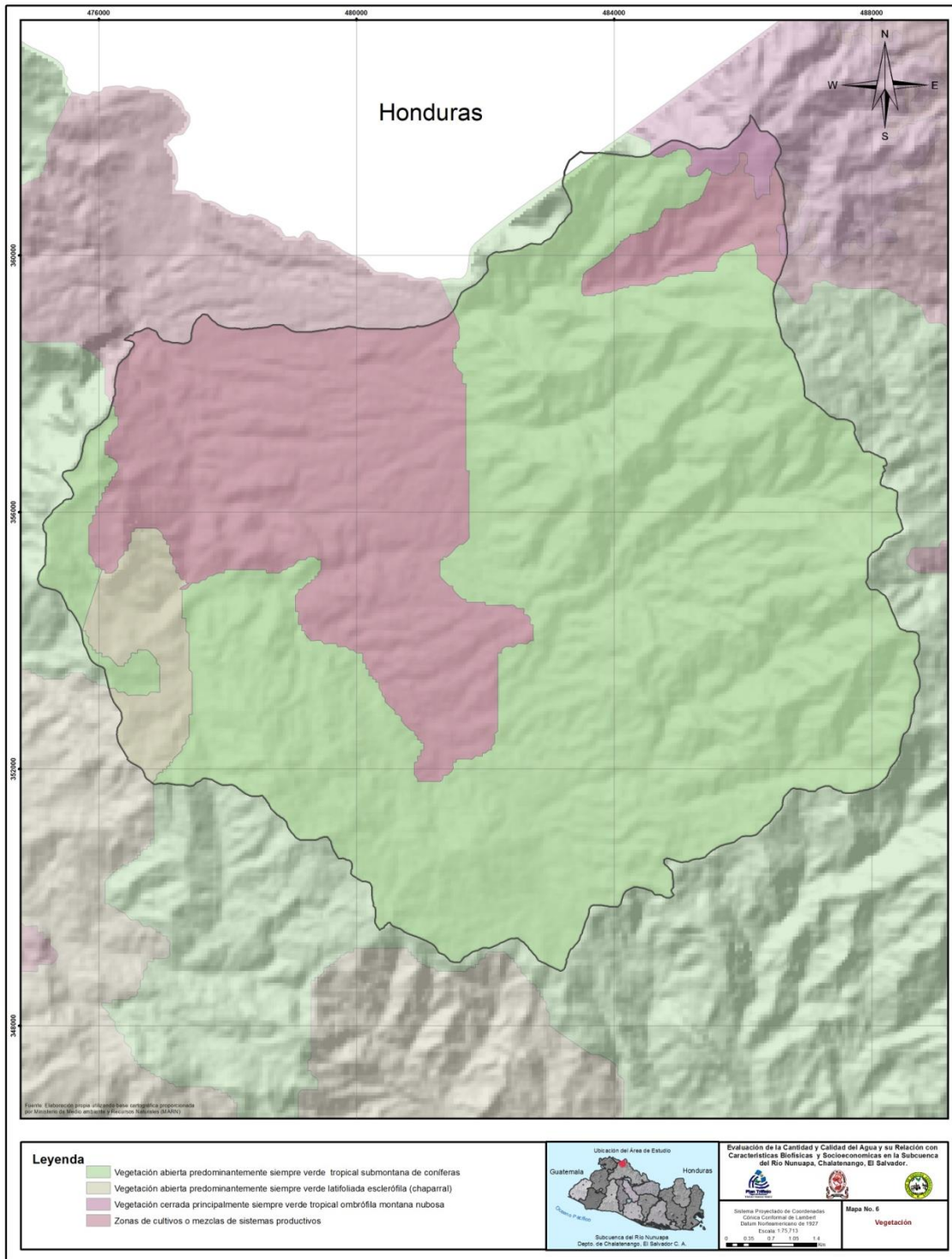
A-F 5 Mapa de uso actual del suelo de la Subcuenca Del Río Nunuapa



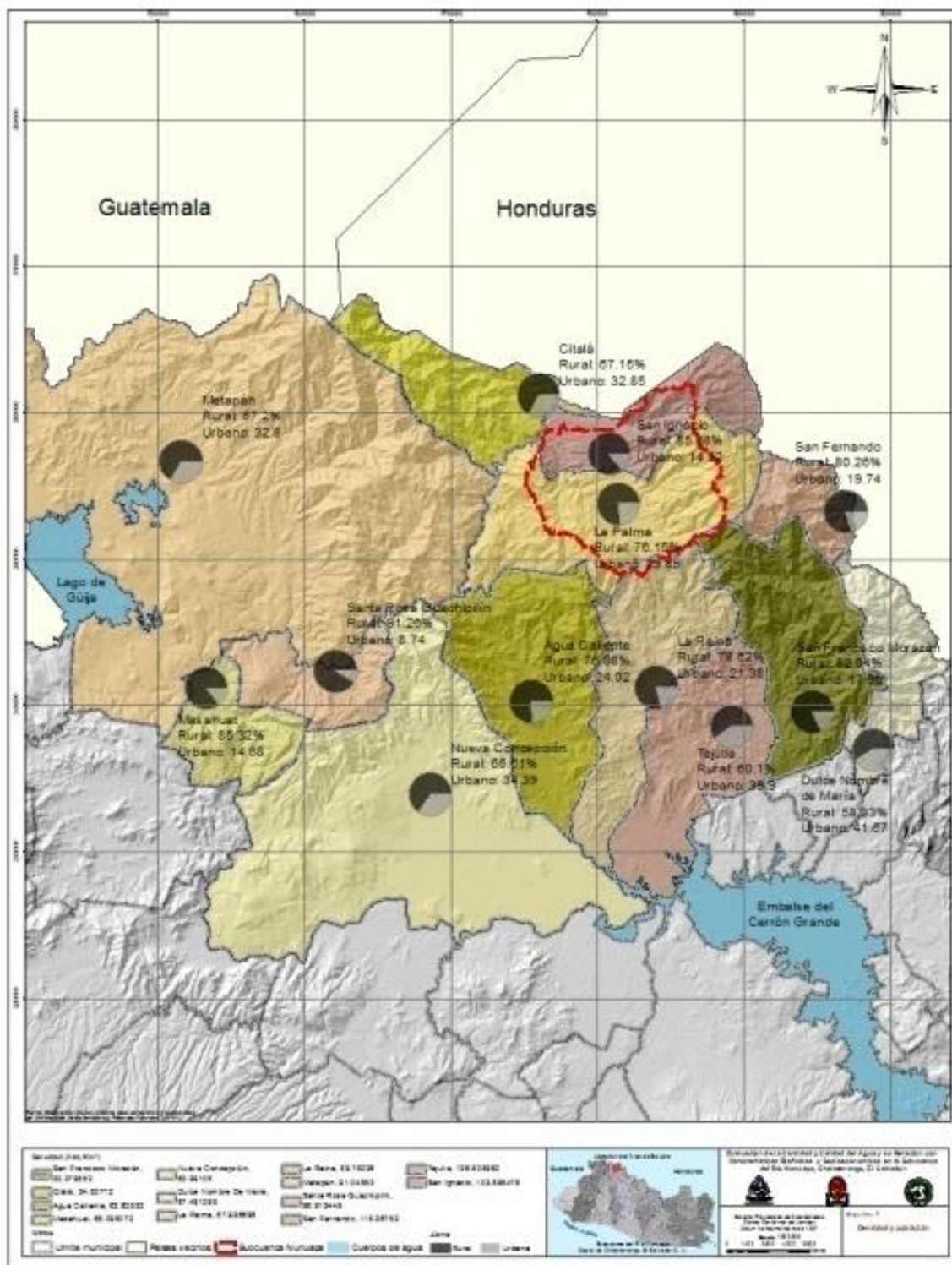
A-F 6 Mapa de Conflicto de uso de suelo de la Subcuenca Del Río Nunuapa



A-F 7 Zonas de vida y vegetación de la Subcuenca del Rio Nunuapa



A-F 8 Mapa de densidad poblacional de la subcuenca del río Nunuapa



8.3 anexo de cuadro

A-CR 1 Precipitación mensual en un periodo de 11 años en la zona de estudio.

Estación La Palma													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2005	0.0	0.3	41.5	1.6	179.2	525.4	477.0	373.8	497.0	342.7	21.7	6.1	2,466.3
2006	3.9	5.4	0.7	42.2	200.0	804.0	397.8	312.5	565.7	317.0	117.7	13.4	2,780.3
2007	0.0	0.0	0.0	194.4	51.4	412.0	368.6	463.5	565.4	433.9	2.8	0.0	2,492
2008	9.5	52.4	7.4	104.3	260.7	370.0	566.5	556.0	571.0	402.8	0.0	0.0	2,900.6
2009	0.0	2.7	0.4	8.1	599.0	257.5	320.3	359.2	343.6	229.5	186.6	13.1	2,320
2010	0.0	0.0	0.0	192.9	681.5	438.1	402.3	748.1	484.4	74.9	4.0	0.0	3,026.2
2011	6.5	144.4	10.4	123.0	188.3	516.0	597.2	455.0	436.2	412.2	64.1	0.0	2,953.3
2012	0.0	12.0	11.1	103.6	280.8	229.1	352.6	452.4	474.4	277.9	0.0	5.5	2,199.4
2013	0.0	1.8	31.8	24.4	287.2	515.6	405.3	461.3	478.0	462.0	78.0	1.0	2,746.4
2014	0.0	7.0	75.3	83.6	498.9	469.5	117.2	414.1	736.2	280.2	32.8	0.0	2,714.8
2015	0.0	0.0	27.9	140.6	168.0	184.4	165.8	318.6	549.4	399.7	198.7	0.4	2,153.5
X	19.9	226	206.5	1018.7	3395	4721.6	4170.6	4914.5	5701.3	3632.8	706.4	39.5	28752.8

A-CR 2 Requisitos de calidad Microbiológica, límite máximo permisible por norma NSO 13.07.01:08 para agua potable

Parámetros	Valor Maximo Admisible	
	Filtración por membranas	Tubos múltiples
Bacterias coliformes totales Unidad Formadora de Colonia/100 ml	Bacterias coliformes fecales 0 UFC/100 ml Negativo	Escherichia coli 0 UFC/100 ml Negativo
Conteo bacterias 100 UFC/ml máx.	heterótrofas, aerobias y	mesófitas
Bacterias coliformes totales Unidad Formadora de Colonia/100 ml	Bacterias coliformes fecales 0 UFC/100 ml Negativo	Escherichia coli 0 UFC/100 ml Negativo

A-CR 3 Norma Salvadoreña de Agua Potable, Parámetros Físicos y Químicos.

Parámetros	Unidad	Valor recomendado	Valor máximo admisible
pH	-	6.0 -8.5	
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	300	600
Temperatura	°C	18-30	NR
Turbidez	UNT	1	5.00
Calcio	--		75.00
Cobre	Mg/l	0.10	1.00
Dureza total (CaCO ₃)	Mg/l	30.00	350.00
Hierro total	Mg/l	0.05	0.30
Manganeso	Mg/l	0.05	0.10
Potasio	Mg/l	---	10.00
Sodio	Mg/l	25.00	150.00
Sulfatos	Mg/l	25.00	250.00
Aluminio	Mg/l	---	0.05
Arsenico	Mg/l	---	0.01
Cadmio	Mg/l	----	0.003
Nitrato (NO ₃)	Mg/l	---	45.00
Plomo	Mg/l	---	0.01
Zinc	Mg/l	----	0.05