

# BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINAMICO EN EL SALVADOR

## COMPONENTE EVALUACION DE RECURSOS HIDRICOS

<b>I. GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Generales .....	3
1.2.2 Específicos .....	3
<b>1.3 JUSTIFICACION .....</b>	<b>3</b>
<b>II. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 CICLO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 MODELO DE BALANCE HÍDRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 PARAMETROS DEL BALANCE HÍDRICO .....</b>	<b>11</b>
2.3.1 Precipitación, variación espacial y temporal.....	11
2.3.2 Importaciones superficiales de otra cuenca .....	11
2.3.3 Retornos de la demanda.....	11
2.3.4 Evaporación y Evapotranspiración .....	12
2.3.4.1 Evapotranspiración de Referencia .....	12
2.3.4.2 Evapotranspiración de Cultivo – Necesidades hídricas de las plantas y su incidencia en la conservación o pérdida de agua en el suelo .....	13
2.3.4.3 Evapotranspiración Real – Capacidad de Agua Disponible en los Suelos .....	16
2.3.4.4 Evaporación de Cuerpos de Agua.....	18
2.3.4.5 Evaporación en áreas urbanas .....	18
2.3.5 Esguerrimiento superficial.....	19
2.3.6 Demanda Interna y Externa.....	19
2.3.7 Cambios de Almacenamiento.....	19
<b>2.4 CALIDAD DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL .....</b>	<b>19</b>
2.4.1 Impacto de los contaminantes en la calidad de las aguas superficiales .....	20
2.4.2 Impacto de la contaminación en la salud humana .....	20
2.4.3 Índice de Calidad del Agua.....	21
<b>III. EL SALVADOR, DESCRIPCION GENERAL .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Ubicación.....	23
3.1.2 Superficie .....	23
<b>3.2 EL RELIEVE.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 EL CLIMA.....</b>	<b>26</b>
Temperatura: .....	26
Precipitación: .....	27
Vientos: .....	27

<i>Regiones Climáticas:</i> .....	28
<b>3.4 EL SUELO</b> .....	30
3.4.1 <i>Clasificación de Suelos</i> .....	30
3.4.2 <i>Usos del Suelo</i> .....	32
3.4.3 <i>Procesos Erosivos</i> .....	32
<b>3.5 EL AGUA</b> .....	34
3.5.1 <i>Recursos Superficiales</i> .....	34
3.5.2 <i>Recursos Subterráneos</i> .....	34
<b>IV. METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN</b> .....	38
4.1.1 <i>Información pluviométrica</i> .....	38
4.1.2 <i>Análisis de Consistencia de las estaciones analizadas</i> .....	39
4.1.3 <i>Relleno de datos en el periodo analizado</i> .....	39
4.1.4 <i>Cálculo de Precipitación Media</i> .....	40
<b>4.2 ANÁLISIS DE LA EVAPORACIÓN Y LA EVAPOTRANSPIRACIÓN</b> .....	40
4.2.1 <i>Información climatológica</i> .....	40
4.2.2 <i>Evapotranspiración de Referencia</i> .....	42
4.2.3 <i>Evapotranspiración de Cultivo</i> .....	42
4.2.4 <i>Evapotranspiración Real</i> .....	44
4.2.5 <i>Evaporación en Cuerpos de Agua</i> .....	46
4.2.6 <i>Evaporación en zonas Urbanas</i> .....	46
<b>4.3 ESCORRENTIA SUPERFICIAL</b> .....	46
4.3.1 <i>Regionalización de Caudales Medios</i> .....	48
4.3.2 <i>Relación Precipitación – Escorrentía</i> .....	49
<b>4.4 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO</b> .....	50
<b>4.5 CALIDAD DE AGUA</b> .....	51
<b>V. RESULTADOS BALANCE HIDRICO</b> .....	<b>68</b>
<b>5.1 RESULTADOS</b> .....	68
5.1.1 <i>Análisis de Precipitación</i> .....	68
5.1.2 <i>Análisis de la Evapotranspiración</i> .....	69
5.1.2.1 <i>Evapotranspiración de Referencia</i> .....	69
5.1.2.2 <i>Evapotranspiración Real</i> .....	70
5.1.2.3 <i>Evaporación en cuerpos de agua</i> .....	70
5.1.3 <i>Análisis de Escorrentía</i> .....	71
5.1.4 <i>CAMBIO DE ALMACENAMIENTO</i> .....	76
<b>VI. RESULTADOS DE CALIDAD DE RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES</b> .....	<b>85</b>
<b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>106</b>
<b>7.1 CONCLUSIONES</b> .....	106
<b>VIII. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>108</b>

## **ANEXOS**

1. TABLAS
2. MAPAS BIOFÍSICOS
  - Mapa de Relieve
  - Mapa de Temperaturas medias anuales
  - Mapa de regiones de sequía.
  - Mapa de Regiones Hidrográficas.
  - Mapa de Unidades Hidrogeológicas.
3. MAPAS DE ISOYETAS
4. MAPAS DE EVAPOTRANSPIRACION
5. MAPA DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y CAMBIO DE ALMACENAMIENTO
6. MAPAS DE APTITUD DE USO POR CALIDAD DE AGUA

## **LISTA DE FIGURAS**

**Figura No. 1** Ciclo Hidrológico

**Figura No. 2** Esquema de Balance Hídrico analizado.

**Figura No. 3** Magnitudes de la  $ET_c$  (cultivo) en comparación de la  $ET_0$  (gramíneas) (Fuente FAO).

**Figura No. 4** Coeficientes de Cultivo para el Maíz, de acuerdo a sus periodos vegetativos (Fuente FAO).

**Figura No. 5** Ubicación de Estaciones Pluviométricas para el cálculo de Precipitación Media.

**Figura No. 6** Ubicación de Estaciones Climatológicas para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia.

**Figura No. 7** Red histórica de monitoreo de aguas superficiales.

**Figura No. 8** Red actual de monitoreo de aguas superficiales.

**Figura No. 9** Regiones Hidrológicamente Homogéneas para determinación de caudales medios.

**Figura No. 10** Mapa para aplicación de relación Precipitación – Escorrentía.

**Figura No. 11** Red de Valoración de Calidad de Aguas a nivel Nacional

**Figura No. 12** Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes fecales

**Figura No. 13** Valoración de la calidad de agua en función del pH

**Figura No. 14** Valoración de la calidad de agua en función de la  $DBO_5$

**Figura No. 15** Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno

**Figura No. 16** Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo

**Figura No. 17** Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura

**Figura No. 18** Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez

**Figura No. 19** Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total

**Figura No. 20** Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del Oxígeno disuelto

**Figura No. 21** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de la región hidrográfica A – cuencas de los ríos Angue, Metapán, Guajoyo, Tahuilapa, Mojaflares, Metayate, Grande de Chalatenango, Sumpul, Torola.

**Figura No. 22** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de las región hidrográfica A – cuencas de los ríos Sucio, Suquiapa, Acelhuate.

**Figura No. 23** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de las región hidrográfica A – cuencas de los ríos Quezalapa, Titihuapa, Obrajuelo, Jiotique.

**Figura No. 24** Escorrentía Superficial registradas sobre el curso del río Lempa .

**Figura No. 25** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de las regiones hidrográficas B y C.

**Figura No. 26** Escorrentía Superficial registradas en cuencas de las regiones hidrográficas D y F.

**Figura No. 27** Escorrentía Superficial registradas en cuencas de las regiones hidrográficas H, I y J.

**Figura No. 28** Resultados de la evaluación del componente de recursos hídricos del Balance Hídrico Integrado y Dinámico por región hidrográfica, unidad milímetros.

**Figura No. 29** Resultados de la evaluación del componente de recursos hídricos del Balance Hídrico Integrado y Dinámico del país, unidad Millones de metros cúbicos.

**Figura No. 30** Resultados de la Valoración de Calidad de Aguas en seis Regiones Hidrográficas

## **LISTA DE TABLAS**

**Tabla No. 1.** Comparación de Coeficientes de Cultivo para diferentes tipos de especies vegetales.

**Tabla No. 2.** Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y Capacidad de Agua Disponible para suelos de varias Texturas – Fuente USDA.

**Tabla No. 3.** Regiones Climáticas según KOPPEN Y SAPPER-LAUER.

**Tabla No. 4.** Datos básicos de las regiones climáticas de El Salvador.

**Tabla No. 5.** Clasificación de Suelos en El Salvador.

**Tabla No. 6.** Usos del Suelo en El Salvador.

**Tabla No. 7.** Regiones Hidrográficas en El Salvador.

**Tabla No. 8.** Ecuaciones de correlación Altitud – Evapotranspiración de Referencia.

**Tabla No. 9** Coeficientes de Cultivo Kc

**Tabla No. 10.** Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Agua Disponible para profundidad del suelo de 60 cm

**Tabla No. 11.** Ecuaciones de Regionalización de Caudales medios anuales y factores de distribución mensual.

**Tabla No. 12.** Factores de relación Precipitación - Escorrentía.

**Tabla No. 13** Parámetros seleccionados para ser medidos en campo y su aplicación

**Tabla No. 14** Parámetros seleccionados para ser medidos en las muestras recolectadas y su aplicación

**Tabla No. 15** Rangos para parámetros de calidad de agua deseables para agua cruda para potabilizar por métodos convencionales.

**Tabla No. 16** Rangos para parámetros de calidad de agua deseables para agua cruda para potabilizar, adicionales a la normativa vigente con tratamientos convencionales

**Tabla No. 17** Rangos para parámetros de calidad de agua recomendables para riego

**Tabla No. 18** Pesos relativos para cada parámetro del ICA

**Tabla No. 19.** Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce

**Tabla No. 20.** Hoja para el calculo del ICA

**Tabla No. 21** Límites permisibles de Calidad de Agua para Contacto Humano

**Tabla No. 22.** Evaluación de Recursos Hídricos por Región Hidrográfica en milímetros (mm)

**Tabla No. 23.** Evaluación de Recursos Hídricos por Región Hidrográfica en Millones de metros cúbicos (Mm3)

**Tabla No. 24.** Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de la Región Hidrográfica Lempa, en Millones de metros cúbicos (Mm3).

**Tabla No. 25.** Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de las Regiones Hidrográficas Paz, Cara Sucia, Grande de Sonsonate – Banderas, y Mandinga – Comalapa, en Millones de metros cúbicos (Mm3).

**Tabla No. 26.** Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de las Regiones Hidrográficas Jiboa – Estero de Jaltepeque, Bahía de Jiquilisco, Grande de San Miguel, y Sirama, en Millones de metros cúbicos (Mm3).

**Tabla No. 27** Composición de la Red Nacional de Calidad de Aguas Superficiales.

**Tabla No. 28** REGION A. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

**Tabla No. 29** REGION A. Resultados de Calidad de Agua para riego

**Tabla No. 30** Interpretación de la Valoración del ICA

**Tabla No.31** REGION A. Resultados de Calidad Ambiental

**Tabla No. 32** REGION A. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

**Tabla No. 33** REGION B. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

**Tabla No. 34** REGION B. Resultados de Calidad de Agua para riego

**Tabla No. 35** REGION B. Resultados de Calidad Ambiental

**Tabla No. 36** REGION B. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

**Tabla No. 37** REGION C. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

**Tabla No. 38** REGION C. Resultados de Calidad de Agua para riego

**Tabla No. 39** REGION C. Resultados de Calidad Ambiental

**Tabla No. 40** REGION C. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

**Tabla No. 41** REGION D. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

**Tabla No. 42** REGION D. Resultados de Calidad de Agua para riego

**Tabla No. 43** REGION D. Resultados de Calidad Ambiental

**Tabla No. 44** REGION D. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

**Tabla No. 45** REGION F. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

**Tabla No. 46** REGION F. Resultados de Calidad de Agua para riego

**Tabla No. 47** REGION F. Resultados de Calidad Ambiental

**Tabla No. 48** REGION F. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

**Tabla No. 49** REGION H. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

**Tabla No. 50** REGION H. Resultados de Calidad de Agua para riego

**Tabla No. 51** REGION H. Resultados de Calidad Ambiental

**Tabla No. 52** REGION H. Resultados de Aptitud para Contacto Humano



# BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINAMICO EN EL SALVADOR COMPONENTE EVALUACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS

## I. GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en El Salvador está siendo altamente afectado por la presión humana sobre el mismo, agravando cada vez más su situación de disponibilidad (cantidad y calidad). Estos factores de presión son principalmente la sobreexplotación de los acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso de suelos tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros. Este decrecimiento en la disponibilidad hídrica aunado a un alto índice de crecimiento poblacional, genera conflictos que han comenzado a sentirse y que tienden a agravarse sino se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación, normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional.

El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), inició en el año 2003 la evaluación del Balance Hídrico Nacional, con el objeto de determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

El Balance Hídrico que se desarrolla actualmente en el país presenta un carácter Integrado y Dinámico: **Integrado** porque involucra aspectos tanto de cantidad y calidad de agua superficiales y subterráneas, así como de la demanda por parte de los sectores de usuarios del recurso, involucrando las restricciones por calidad para establecer la condición actual de disponibilidad de agua. Es **Dinámico** porque se actualizará periódicamente de forma automatizada, para lo cual se han desarrollado diversas aplicaciones, que permitirán calcular anualmente el balance hídrico a partir de la nueva información que se genere en cada uno de los aspectos a través del monitoreo permanente de las variables hidroclimáticas que realiza el SNET. De esta manera podrá determinarse la influencia de fenómenos relacionados con la variabilidad climática tales como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), sequías e inundaciones y permitir generar resultados con escenarios de cambios de uso de suelo, cambios en la demanda hídrica y cambio climático. Esto permitirá que la información resultante en mapas, tablas y gráficos, pueda ser dinámica y actualizada reflejando las condiciones del recurso hídrico a través de índices de escasez y presión del recurso.

El Balance Hídrico Integrado y Dinámico se ha realizando a nivel de cuenca hidrográfica, en el periodo comprendido entre 1971 a 2001.

En este documento, se presenta la información referente a la Oferta y Disponibilidad de Agua. El componente de demanda hídrica, con el cual se completará el Balance Hídrico, estará en proceso de ejecución en el año 2006, por lo que no se presenta en este informe.

El documento se encuentra estructurado de la siguiente manera:

El primer capítulo, presenta los objetivos generales y específicos de la evaluación del Balance Hídrico Dinámico e Integrado en El Salvador, y las razones que han llevado a desarrollarlo.

El capítulo II presenta un marco conceptual, con el que se pretende que el lector se familiarice con la terminología que se utiliza en el documento y visualice la importancia de cada uno de los parámetros dentro del Balance Hídrico. Se explica el ciclo hidrológico, el concepto de balance hídrico y los parámetros involucrados en él, así como los aspectos de calidad hídrica referentes a los impactos de los contaminantes en la calidad de las aguas superficiales y en salud humana y el Índice de Calidad de Aguas (ICA).

El capítulo III describe las características generales de El Salvador, en cuanto a ubicación, relieve, clima, suelo, agua las cuales inciden directamente en la respuesta hídrica de las cuencas, y por lo tanto en el balance hídrico nacional.

El capítulo IV, presenta las metodologías utilizadas para el cálculo de cada uno de los parámetros analizados.

En el capítulo V, se presentan los resultados del balance hídrico nacional, tanto por cuenca hidrográfica, como por región hidrográfica y país, así como la discusión de estos resultados.

En el capítulo VI, se presenta el análisis de la calidad hídrica evaluada a través del Índice de Calidad de Agua ICA, para determinar la aptitud de uso de la oferta hídrica para saber si la misma puede estar disponible o no para diversos usos.

En el capítulo VII se presentan las conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos.

Como ultimo capítulo, se presenta la bibliografía, la cual ha sido un apoyo en el desarrollo de este trabajo.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Generales**

El objetivo general del Balance Hídrico Integrado y Dinámico es determinar el estado actual y proyecciones futuras del recurso hídrico en cuanto a cantidad y calidad, estableciendo la presión sobre el mismo al considerar su distribución espacial y temporal de oferta, disponibilidad y demanda, con el fin de ser una herramienta que permita desarrollar lineamientos de protección del recurso, ordenación de usos, ordenamiento territorial, mejorar la calidad de vida de la población y asegurar la inversión.

### **1.2.2 Específicos**

Los objetivos específicos del Proyecto Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador son los siguientes:

- ❑ Evaluar el estado actual de la oferta y disponibilidad de agua a nivel de cuenca hidrográfica, región hidrográfica y país;
- ❑ Realizar un análisis integrado y detallado de la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas actuales y las restricciones de uso debido a su calidad;
- ❑ Cuantificar el efecto de los diferentes tipos de uso del suelo en la producción hídrica del país y su impacto en el agua disponible;
- ❑ Determinar la presión sobre el agua por las demandas de los diferentes sectores de usuarios;
- ❑ Realizar proyecciones para escenarios futuros teniendo en cuenta cambios en el uso del suelo, variabilidad climática y posibles cambios en la demanda;
- ❑ Establecer un carácter dinámico del Balance Hídrico mediante un mecanismo automatizado que permita actualizarlo continuamente;
- ❑ Representar mapas que reflejen las condiciones del recurso hídrico a través de índices de escasez, presión y vulnerabilidad del recurso.

## **1.3 JUSTIFICACION**

El Salvador se encuentra dividido en diez regiones hidrográficas con características geomorfológicas similares de acuerdo a lo establecido en la década de los 70 por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, y posteriormente por el Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos PLAMDARH. La disponibilidad

hídrica en estas regiones, esta en un grado u otro siendo afectada por la interacción de factores sociales, ambientales y climáticos.

Actualmente aunque existen esfuerzos e investigaciones de diferentes entidades encaminadas a la protección y preservación del recurso hídrico, no hay una evaluación de la oferta y disponibilidad hídrica actual y su proyección a futuro integrada a nivel nacional, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

Entre los años 1979 y 1985, se realizó en el país, a través de los Servicios Meteorológico e Hidrológico del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), la evaluación de la cantidad y calidad los recursos hídricos y de su demanda para un horizonte de veinte años, por regiones hidrográficas, como objetivo del Plan Maestro para el Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos (PLAMDARH), el cual fue financiado con fondos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Desde esa época hasta la actual, han habido cambios tanto en la disponibilidad hídrica por las causas mencionadas anteriormente. De acuerdo a los resultados de investigaciones realizadas por el SNET en el año 2002, en los temas de cantidad<sup>1</sup> y calidad hídrica<sup>2</sup>, el caudal de los ríos a nivel nacional ha presentado una reducción gradual y en algunos casos drástica (en las áreas de Chalatenango, Morazán y Suchitoto) en los últimos 30 años, como consecuencia de la interacción fenómenos antrópicos como cambios en el uso del suelo y aumentos de la demanda y de fenómenos naturales como cambios en el patrón de lluvias y de evapotranspiración, agravados por el aumento de los niveles de contaminación de aguas superficiales, especialmente en los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate, que ocasionan disminución de la disponibilidad de agua.

En el aspecto de variación de los patrones de las variables meteorológicas, de acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático IPCC, la temperatura de la superficie terrestre aumentó aproximadamente 0.6 °C en el siglo XX y los modelos de simulación pronostican un aumento entre 1.5 a 4.5 °C para los próximos 100 años<sup>3</sup>. En el Salvador en el año 1998 se desarrolló el estudio Escenarios Climáticos de Referencia para la República de El Salvador<sup>4</sup>, el cual analizó la climatología del país desde 1961 a 1990, y en el que los resultados presentan una tendencia estadísticamente significativa hacia el incremento de los valores de temperatura, con un aumento del orden de 1.2°C para ese

---

<sup>1</sup> SNET. Servicio Hidrológico Nacional. Comportamiento Hídrico en El Salvador, causas y posibles consecuencias. San Salvador. Julio 2002. Pg web: [www.snet.gob.sv/informes.htm](http://www.snet.gob.sv/informes.htm)

<sup>2</sup> SNET. Servicio Hidrológico Nacional. Propuesta de Descontaminación del canal principal de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa. Octubre 2002. Pg web: [www.snet.gob.sv/informes.htm](http://www.snet.gob.sv/informes.htm)

<sup>3</sup> IPCC. Tercer Informe de Evaluación Cambio Climático 2001. La base Científica.

<sup>4</sup> Centella A; Castillo L; Aguilar A. Escenarios Climáticos de referencia para la República de El Salvador. San Salvador. Julio 1998.

periodo. Estos cambios afectan el clima global, modificando los patrones del ciclo hidrológico, generando de una forma mas frecuente y con mayor intensidad eventos extremos de sequías e inundaciones, y afectando la oferta hídrica.

Por otro lado, en el tema de la demanda hídrica, existe un aumento significativo de los consumos de agua con relación a los evaluados en los años 80, debido al crecimiento social y económico del país. En este sentido es de mencionar, que no existe un inventario organizado a nivel nacional del consumo de agua por parte de los sectores doméstico, industrial, agrícola, energético, ni hay información centralizada y organizada en una sola institución, o la información existente se encuentra dispersa en instituciones gubernamentales, ONG's, y sistemas autoabastecidos y sistemas de abastecimiento rurales. Esta información debe ser recopilada y actualizada para los diferentes sectores de usuarios, con el fin de establecer la presión real por el agua. En este aspecto, ya se ha comenzado a sentir la afectación de la explotación de fuentes de aguas por parte de algunos sectores que disminuye la disponibilidad para otros usos.

En el año 2002, el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) contrató la estimación de la demanda sectorial de agua en Centroamérica bajo tres escenarios futuros, uno pesimista, uno optimista y una proyección del Status Quo, para los años 2010, 2030 y 2050<sup>5</sup>. Los resultados de este estudio son una aproximación que los autores consideran que deben ser refinada a nivel de cada país, pues los datos base con los que se trabajaron son de carácter general y se requiere actualizar in situ la demanda estimada. Cabe destacar que los resultados indican que El Salvador podría llegar a tener niveles de estrés hídrico al año 2050 bajo el escenario pesimista, asumiendo que se mantienen las condiciones actuales de oferta hídrica.

Una demanda de agua importante que actualmente no es considerado en la planeación hídrica en el país, es el que se refiere a la demanda ecológica o caudal ambiental, el cual representa el caudal necesario para mantener ecosistemas y sus beneficios donde se dan usos de agua que compiten entre sí y donde los caudales se regulan<sup>6</sup>. A nivel mundial, no existe actualmente una metodología de análisis estandarizada para el cálculo de este valor, sin embargo, discusiones sobre el tema indican que el caudal ambiental no debe ser evaluado como un valor fijo sino como un rango de valores que debe ser analizado para cada río en particular, examinando cada cuenca desde sus fuentes y tomando en cuenta los valores ambientales, económicos, culturales y sociales en relación con el sistema social. Dada la importancia de este valor para la preservación del hábitat acuático, este tema será incluido como demanda, dentro del Balance Hídrico Nacional.

Todos estos cambios tanto en los patrones de oferta como de demanda de agua, han generado nuevas condiciones de la relación demanda / disponibilidad hídrica que debe ser evaluada para establecer la real disponibilidad del recurso y debe ser proyectada al futuro con base en posibles escenarios.

<sup>5</sup> Rojas M; Echeverría J. Estimación de la Demanda Sectorial del Agua en Centroamérica bajo tres escenarios futuros: 2010 – 2030 – 2050. Costa Rica. Enero 2003.

<sup>6</sup> UICN, Unión Mundial para la Naturaleza, "Caudal", 2003.

Para realizar esta nueva evaluación del recurso hídrico en el país es necesario contar con información histórica y actualizada tanto de las condiciones hidrometeorológicas que enmarcan la oferta hídrica, como información de contaminación en las fuentes superficiales, explotación de acuíferos, y demandas por parte de los diferentes tipos de usuarios del agua.

Las variables hidrometeorológicas, fueron monitoreadas por los Servicios Meteorológico e Hidrológico de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (DGRNR) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) hasta el año 2001. Este monitoreo se realizó a través de redes de observación y medición de parámetros, las cuales comenzaron a funcionar alrededor de los años 60, alcanzando su mayor densidad en los años 70; sin embargo debido al conflicto armado en la década de los 80, hubo reducción en el número de estaciones y por lo tanto una gran pérdida de información y desconocimiento de la situación del recurso hídrico en ese momento. A partir de los años 90 se comenzaron a rehabilitar e instalar nuevas estaciones hidrometeorológicas para el monitoreo de estas variables.

En Octubre del año 2002, se crea el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) entidad adscrita al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y las responsabilidades y capacidades de monitoreo de variables hidrometeorológicas, es asumido por esta institución a través de los Servicios Hidrológico y Meteorológico, el SNET realiza el monitoreo e investigación de las condiciones hidroclimáticas del país que permita la producción de información oportuna, con el objeto de prevenir y reducir riesgos ante eventos de carácter hidrometeorológico, dar información actualizada que permita dimensionar el estado real del recurso hídrico en el país, así como proporcionar la información requerida para lineamientos para el desarrollo y planificación territorial y la protección ambiental.

En el caso de las aguas subterráneas, también era el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) el que realizaba un monitoreo constante entre los años 70's y 80's, enfocado principalmente en las zonas costeras del país. Este monitoreo incluía la medición de la fluctuación de los niveles freáticos y la determinación de algunos parámetros físico-químicos de las aguas subterráneas. Por efectos de la guerra, el monitoreo tuvo que ser interrumpido, por lo que desde entonces hasta el año 2003 no existió un programa de monitoreo permanente, solo ANDA ha generado alguna información de este tipo para la utilización de fuentes y pozos en para el abastecimiento urbano y rural.

A partir del año 2004, el SNET ha iniciado el monitoreo de los recursos hídricos subterráneos y se encuentra realizando el monitoreo para diagnósticos actualizados a nivel nacional.

En lo que respecta al monitoreo de calidad de agua, este fue retomado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través de la ejecución del Programa Ambiental de El Salvador (PAES) durante 1997-2001, el cual sentó las bases del monitoreo que se continuó haciendo en el SNET a partir del año 2002.



Dado que las condiciones de oferta y demanda hídrica son parámetros variables y sensibles a los cambios de uso suelo y variabilidad climática, que son una realidad y que se presentan de forma constante, el desarrollo del Balance Hídrico Integrado Dinámico Nacional actual y con proyección al futuro constituye un eje fundamental en el área de investigación, ya que los resultados obtenidos permitirán establecer recomendaciones para el manejo del recurso hídrico que garanticen su sostenibilidad, así como para impulsar la inversión social y económica del país como resultado de la evaluación de las condiciones reales del recurso.

## **II. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 CICLO HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico comprende una serie de procesos continuos e interdependientes, de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano, cuerpos de agua y en la atmósfera.

Por ser un ciclo, no tiene punto de partida, sin embargo para explicarlo, se puede comenzar por la evaporación que se produce en el océano, en lagos, embalses, y todo tipo de cuerpos de agua, y la evapotranspiración de las plantas, la cual es la combinación del agua que se pierde por evaporación en el suelo y transpiración en el material vegetal. Esta evaporación y evapotranspiración, son producidas por la energía suministrada por el sol e influenciadas por las condiciones climáticas e hídricas de temperatura, radiación, viento y humedad. De esta forma, el agua cambia de un estado líquido a un estado gaseoso.

El agua en forma de vapor pasa a la atmósfera, y en este ascenso, pierde calor y se produce el proceso de condensación alrededor de núcleos de condensación (los cuales pueden ser partículas de polvo que flotan en el aire), creando pequeñas gotas de agua. Estas pequeñas gotas de agua, crean nubes, y en su circulación se van uniendo entre ellas, creando gotas más grandes, las cuales por su peso, se precipitan finalmente en forma de lluvia (nieve o granizo).

Parte de la precipitación es interceptada por la vegetación, otra parte cae al suelo y dependiendo de las condiciones de cobertura del suelo, del tipo de suelo y de la pendiente del terreno, esta agua puede quedar encharcada, escurrir superficialmente o infiltrarse.

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



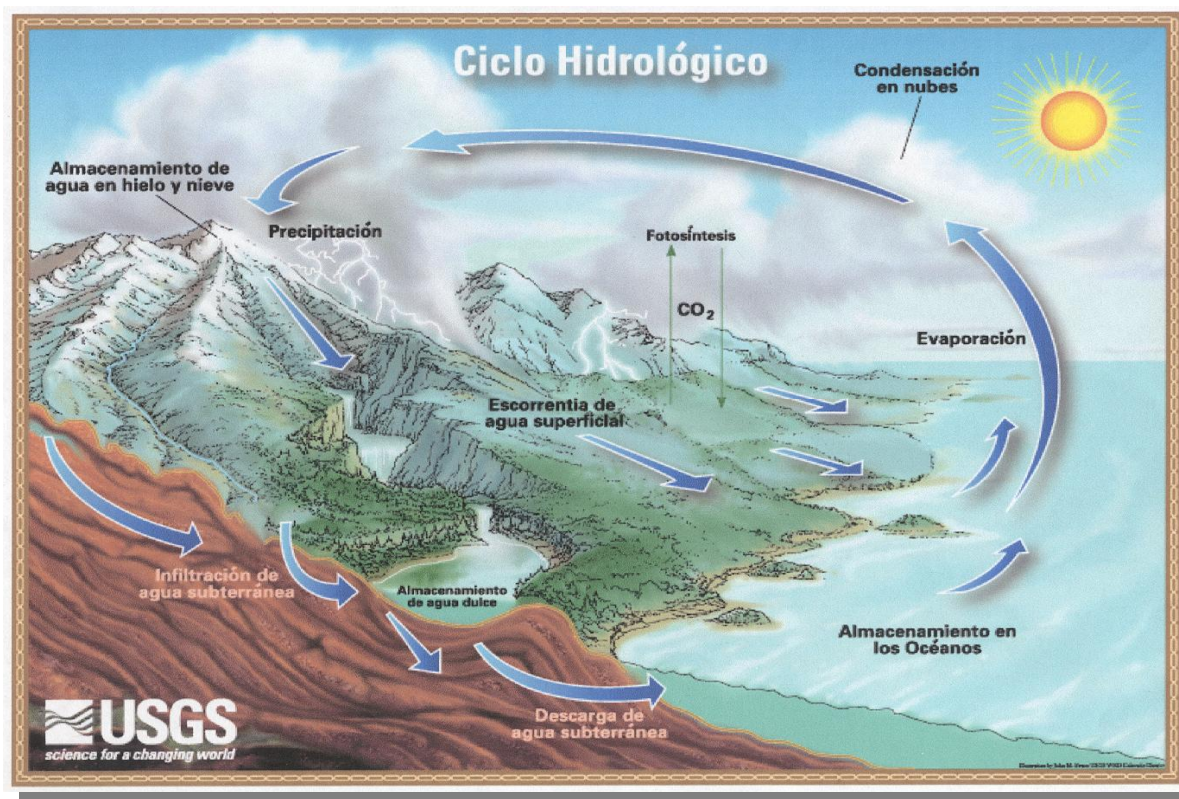


Figura No. 1. Ciclo Hidrológico

## 2.2 MODELO DE BALANCE HÍDRICO

Un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área. Dado que el Balance Hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad.

El modelo de balance hídrico se basa en la ecuación de conservación de masa:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

En el modelo del Balance Hídrico del SNET, considera las siguientes entradas:

- Precipitación,
- Importaciones superficiales de otra cuenca,
- Retornos de la demanda.

Las salidas consideradas son las siguientes:

- Evapotranspiración real,
- Evaporación de cuerpos de agua,
- Evaporación en áreas urbanas
- Escurrimiento superficial,
- Demanda interna en la cuenca,
- Demanda externa de la cuenca

Como Cambio de almacenamiento:

- Recarga de acuíferos,
- Variación de nivel en cuerpos de agua (lagos, lagunas, embalses)

En la Figura No. 2 se presenta el esquema del modelo de Balance Hídrico analizado en el SNET.

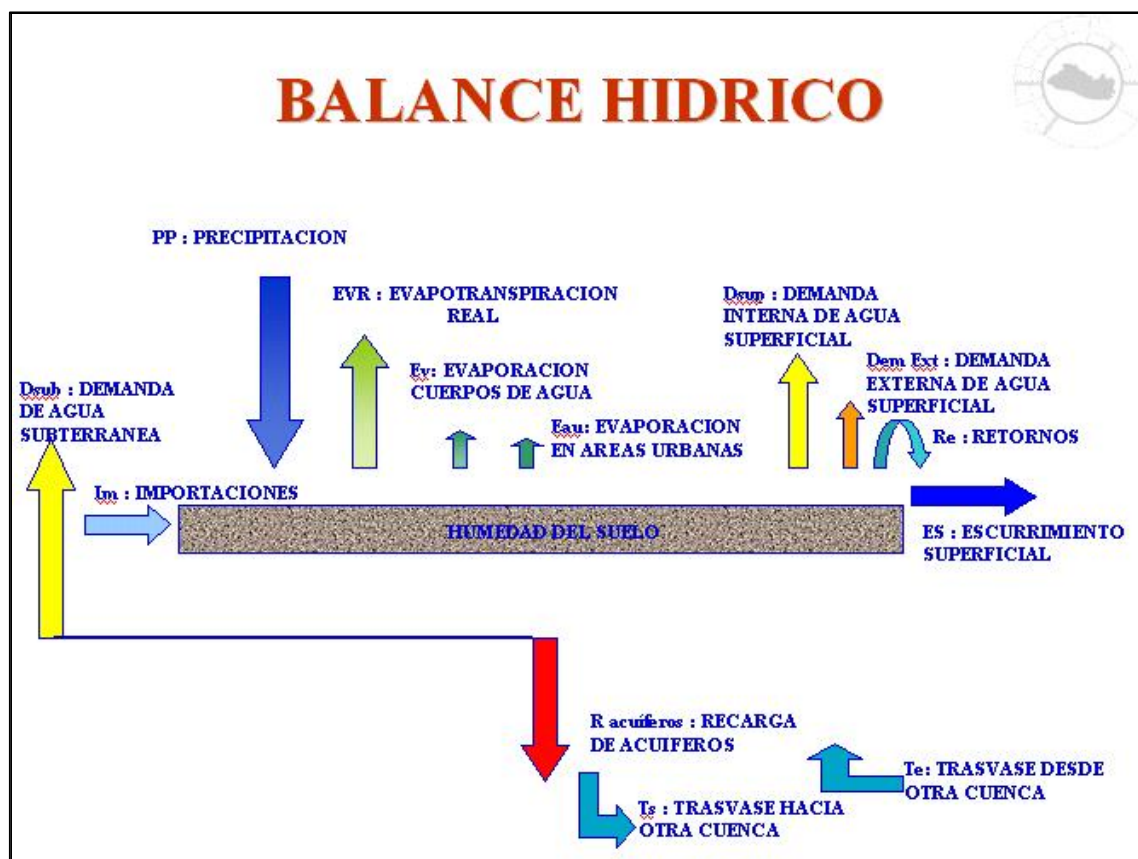


Figura No. 2. Esquema de Balance Hídrico analizado

## **2.3 PARAMETROS DEL BALANCE HÍDRICO**

En este apartado se realiza una breve explicación de los parámetros considerados dentro del modelo del Balance Hídrico que se analiza. Se pretende que el lector se familiarice con la terminología que se utilizará en adelante y visualice la importancia de cada uno de los parámetros dentro del mismo, sin entrar en detalle en las fórmulas de cálculo de cada uno de ellos.

### **2.3.1 Precipitación, variación espacial y temporal**

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca. Su medición se realiza a través de instrumentos llamados pluviómetros. La información recolectada debe ser evaluada, para lo cual pueden ser utilizados una serie de métodos, como por ejemplo las Curvas de Doble Masa, que son gráficas de valores acumulados de lluvia en dos estaciones o entre una estación y un grupo de ellas tomado como parámetro de comparación. Posteriormente la variación espacial de la lluvia se analiza a través del trazado de líneas de igual precipitación (isolíneas de precipitación, las cuales son llamadas **isoyetas**). El trazo de mapas de isoyetas mensuales muestra la variación de la lluvia a nivel temporal.

La información de los mapas de isoyetas mensuales y anuales, permite calcular la precipitación media areal de las cuencas, con lo que se inicia el cálculo de los parámetros del Balance Hídrico.

### **2.3.2 Importaciones superficiales de otra cuenca**

Dentro del modelo de Balance Hídrico, se considerará el aporte de las aguas superficiales que son llevadas como trasvase desde otro sitio (cuenca, lago, embalse, etc) hacia la cuenca de análisis.

### **2.3.3 Retornos de la demanda**

El retorno de la demanda constituye el porcentaje de agua que es devuelta al área de análisis (cuenca) debido a que no representa un uso consuntivo por parte de alguno de los sectores de usuarios, tales como la hidroelectricidad, las pérdidas de agua de los sistemas de abastecimiento de agua (tuberías), la devolución que se hace al final de un sistema de riego, entre otros. Estos retornos representan una entrada al modelo del Balance Hídrico, y aunque actualmente en El Salvador no se cuenta con este tipo de información, dentro de la etapa de cuantificación de la Demanda Hídrica, este valor será considerado.

### 2.3.4 Evaporación y Evapotranspiración

La mayor pérdida de agua en una cuenca, es generalmente debida a la evapotranspiración, la cual es la combinación de pérdida de agua por evaporación en el suelo y la transpiración de las plantas. Otra pérdida importante de agua en la cuenca es debida a la evaporación en cuerpos de agua y evaporación que se produce en áreas urbanas.

El término evapotranspiración involucra los conceptos de Evapotranspiración de Referencia, Evapotranspiración de Cultivo y Evapotranspiración Real, los cuales son explicados a continuación, con el objeto de mostrar la incidencia de la cobertura vegetal en la pérdida o en la retención de agua y la importancia de las condiciones del suelo en cuanto a su porosidad en este mismo aspecto.

#### 2.3.4.1 Evapotranspiración de Referencia

La evapotranspiración de referencia es la pérdida de agua por evaporación y transpiración de un cultivo tomado como referencia (gramíneas o pastos), debido a condiciones climáticas. Es definida como “la evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas de 8 - 15 cm de altura, uniforme, de crecimiento activo, que asombran totalmente el suelo y que no escasean de agua”<sup>7</sup>. Generalmente es simbolizada en los textos como **ET<sub>0</sub>**. Su determinación se realiza a partir de datos climáticos, empleando diferentes fórmulas empíricas, cuya elección para el cálculo depende básicamente del tipo de datos climáticos disponibles en la zona. Las formulas mas utilizadas en diferentes regiones son las de Penman, Penman-Montheith, Hargreaves, Blaney-Criddle, entre otras, las cuales han sido calibradas localmente en algunos sitios.

En El Salvador, aunque no se ha calibrado ninguna de las formulas mencionadas, si se realizó en el año 1980<sup>8</sup> una evaluación de diferentes formulas para el cálculo de la **ET<sub>0</sub>**, con relación a la formula de Penman, la cual fue considerada como patrón de referencia debido a la gran cantidad de parámetros climáticos que involucra. De acuerdo a los resultados obtenidos, la formula de Hargreaves presentó los resultados más cercanos a la formula de referencia. Dado que la formula de Hargreaves utiliza menos parámetros para el cálculo de la **ET<sub>0</sub>**, que la de Penman y por su correlación con los resultados de esta ultima, la evapotranspiración de referencia que se calcula por parte del Servicio Meteorológico Nacional del SNET, se hace a través de la formula de Hargreaves, la cual involucra temperatura, radiación solar y humedad relativa.

---

<sup>7</sup> DOORENBOS J., PRUITT W. O. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. Las necesidades de agua de los cultivos. 1977.

<sup>8</sup> SALAZAR C. H. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Publicación Técnica No. 24. Evapotranspiración Potencial en El Salvador. 1980



#### 2.3.4.2 Evapotranspiración de Cultivo – Necesidades hídricas de las plantas y su incidencia en la conservación o pérdida de agua en el suelo

La evapotranspiración de cultivo es aquella que se produce cuando no existe ninguna restricción de agua en el suelo y depende de las condiciones de los cultivos tales como sus características, el ritmo de desarrollo de las plantas (periodo vegetativo) y las condiciones climáticas de temperatura, viento y humedad relativa.

Para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre las necesidades de agua, se han desarrollado unos Coeficientes de Cultivo  $K_c$ , los cuales relacionan la evapotranspiración de referencia  $ET_0$  con la evapotranspiración de cultivo  $ET_c$ , y representan la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas, que produzca rendimientos óptimos.

La evapotranspiración de cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

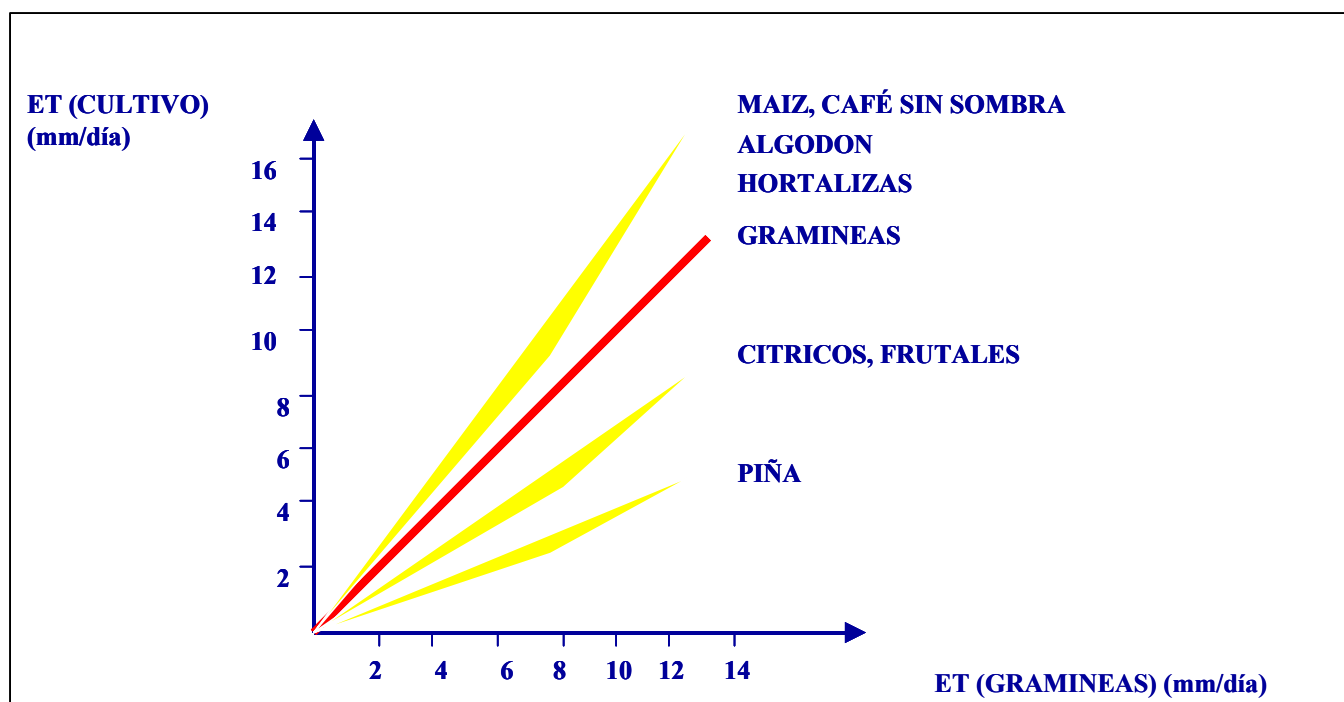
donde:

$ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo en mm/día

$ET_0$  = Evapotranspiración de referencia en mm/día

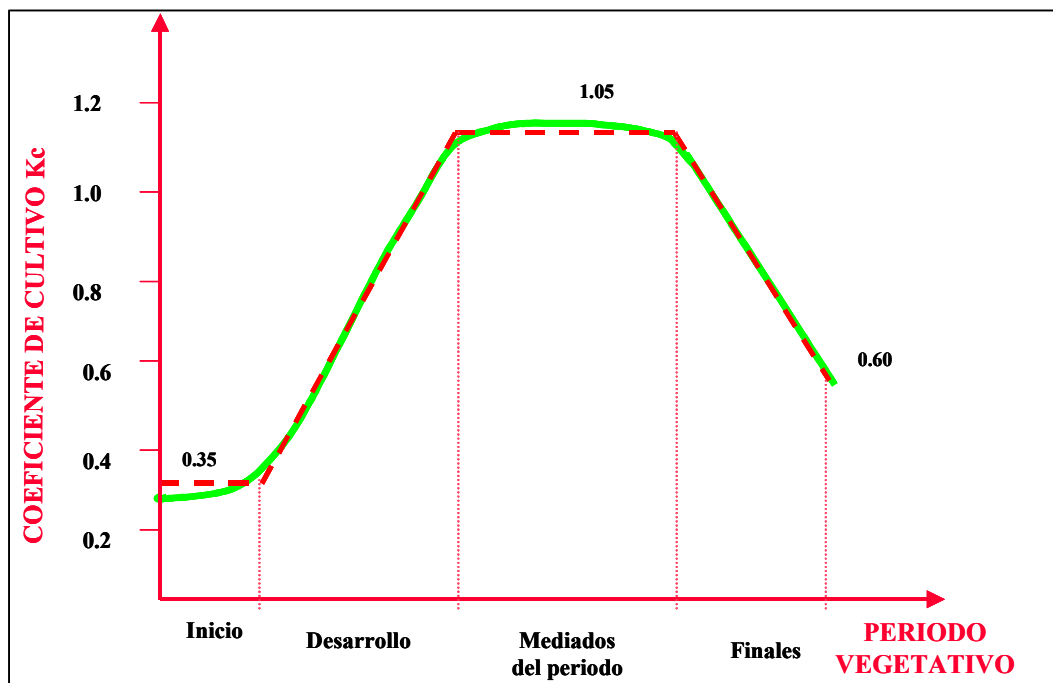
$K_c$  = Coeficiente de cultivo (adimensional)

Las características del cultivo influyen en la pérdida de agua de las plantas a través de la evapotranspiración de acuerdo a la fisiología de las mismas, específicamente del mecanismo a oponer resistencia a la transpiración a través de los estomas de las hojas (los estomas son las células que permiten el intercambio de dióxido de carbono y oxígeno con el exterior). Existen plantas que presentan una buena regulación en la pérdida de agua, a través de mecanismos de cierre de sus estomas durante el día y su apertura en la noche cuando la temperatura es menor, perdiendo menor cantidad de agua que al abrir los estomas en el día (como las xerofíticas y la piña). Otras plantas, como por ejemplo los cítricos, también presentan buena regulación en la pérdida de agua debido a sus hojas cerosas que igualmente evitan una alta pérdida de agua a través de los estomas. Por el contrario plantas como los granos básicos, el algodón, las hortalizas y los mismos pastos que son tomados como el cultivo de referencia, presentan un alto grado de pérdida de agua a través de sus hojas, especialmente en el momento de mayor producción, el cual corresponde al periodo de la elaboración de flores, frutos o granos. En la Figura No. 3 se presenta una comparación realizada por la FAO de evapotranspiración diaria de diferentes tipos de cultivo en comparación con las gramíneas, que es el cultivo que se toma como referencia.



**Figura No. 3.** Magnitudes de la  $ET_c$  (cultivo) en comparación de la  $ET_0$  (gramíneas) (Fuente FAO).

Otro factor importante en la pérdida de agua de las plantas y que se mencionó anteriormente, es el periodo vegetativo, ya que las plantas pierden menor cantidad de agua al inicio de su desarrollo (germinación y crecimiento inicial), que cuando están en su fase de mediados del periodo, que corresponde a la etapa de maduración donde presenta un requerimiento hídrico mayor. En la Figura No. 4 se presenta un ejemplo de los coeficientes de cultivo para el cultivo del maíz, para sus diferentes etapas vegetativas (tomado de la FAO), donde se puede observar que el consumo hídrico en su mayor requerimiento, supera la cantidad de agua del cultivo tomado como referencia (el  $K_c$  del cultivo de referencia es 1, es decir que el maíz en su etapa de mayor consumo de agua, esta 5% por encima que el consumo hídrico de los pastos).



**Figura No. 4.** Coeficientes de Cultivo para el Maíz, de acuerdo a sus periodos vegetativos (Fuente FAO).

Con base en datos de diferentes tipos de cultivo, se presenta en la Tabla No. 1 una comparación de los  $K_c$  para diferentes tipos de vegetación, y se marcan en rojo los mayores valores correspondientes a la etapa de maduración. Estos valores se han ordenado en forma descendente de acuerdo a esta columna de  $K_c$  de mediados de periodo, y de esta forma se puede apreciar, como cultivos como el arroz, la caña de azúcar y granos básicos pueden perder casi el doble de agua que árboles frutales y el cultivo de la piña, asumiendo condiciones similares en cuanto a clima, tipo de suelos y humedad.

**Tabla No. 1.** Comparación de Coeficientes de Cultivo para diferentes tipos de especies vegetales

## COEFICIENTES DE CULTIVO

VEGETACION	Kc Inicio	Kc Desarrollo de Cultivo	Kc Mediados del periodo	Kc final
ARROZ	1.1	1.1 – 1.3	<b>1.3</b>	1.3 – 1
CAÑA DE AZUCAR	0.6	0.6 – 1.15	<b>1.15</b>	1.15 – 0.85
CAFÉ SIN SOMBRA	1.05	1.05 - 1.1	<b>1.1</b>	1.1
MAIZ	0.35	0.35 – 1.05	<b>1.05</b>	1.05 – 0.6
MAIZ DULCE	0.35	0.35 – 1.05	<b>1.05</b>	1.05 – 0.95
TOMATE	0.6	0.6 – 1.05	<b>1.05</b>	1.05 – 0.6
BROCOLI	0.7	0.7 – 0.95	<b>0.95</b>	0.95 – 0.80
PAPAYO			<b>0.8</b>	
AGUACATE	0.25	0.2 – 0.75	<b>0.75</b>	0.6 – 0.30
MANGO			<b>0.7</b>	
CITRICOS			<b>0.60</b>	
ÁRBOLES LATIFOLIARES			<b>0.60</b>	
PIÑA	0.3	0.3 – 0.5	<b>0.5</b>	0.5

Las características climáticas de viento y humedad relativa también inciden en las pérdidas de agua por parte de las plantas. En zonas de mayor viento, se produce mayor pérdida de agua, al igual que en zonas más secas y con temperaturas mas elevadas.

### 2.3.4.3 Evapotranspiración Real – Capacidad de Agua Disponible en los Suelos

El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido<sup>9</sup>. Es esta evapotranspiración que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, la que se denomina Evapotranspiración Real.

<sup>9</sup> VEN TE CHOW. Hidrología Aplicada.



La humedad del suelo esta relacionada con la capacidad de agua disponible en el suelo (llamada también Agua Útil), la cual es función de la textura y estructura del suelo. La propiedad física que incide en la capacidad de agua disponible es la porosidad (cantidad, forma, tamaño y distribución de poros).

Dentro del suelo existen diferentes tamaños de poros, los hay macroporos, mesoporos y microporos. La función de los macroporos es de infiltración, conductividad y aireación; la de los mesoporos es de conducción lenta de agua y la de microporos es de almacenamiento.

Cuando hay una lluvia copiosa, el agua que se infiltra en el suelo llena todos los poros y desaloja la totalidad del aire, llegando el suelo a su capacidad de saturación. Esta situación es temporal en la medida que no haya mas infiltración de agua, ya que los macroporos permiten una rápida circulación descendente del agua y favorecen que el agua se incorpore a las capas freáticas.

Una vez el suelo va perdiendo humedad, la velocidad de flujo disminuye y llega un momento en que se estabiliza y se anula, quedando agua retenida en los microporos. Es el agua de circulación lenta, la que es utilizable por las plantas, ya que en ese momento, hay aireación que permite respirar a las raíces y la fuerza con que el agua es retenida por el suelo es tal que las raíces pueden succionarla.

La fuerza con que las moléculas de agua y de suelo se unen, constituye el “Potencial Matricial del Suelo”. Este Potencial Matricial presenta una relación inversa con la cantidad de humedad en el suelo: entre menor humedad del suelo, el potencial matricial es mayor y entre más húmedo está, su potencial matricial disminuye, esto ultimo debido a que la mayor parte del agua se encuentra muy retirada de la fase sólida del suelo, por lo que la fuerza de unión es menor.

La velocidad lenta de circulación del agua ocurre cuando el potencial matricial esta alrededor de 33 KPa (1/3 de atmósfera). En esta etapa se dice que el suelo esta en Capacidad de Campo.

La pérdida de agua del suelo continúa por evaporación y por succión de las plantas hasta que el potencial matricial del suelo llega a 1500 KPa (15 atmósferas). Esta etapa se llama Punto de Marchitez. Al llegar al Punto de Marchitez la planta no puede absorber mas agua, y si no hay un suministro se produce la muerte (Punto de Marchitez Temporal). Al llegar el Potencial Matricial a 1600 KPa se produce el Punto de Marchitez Permanente en el que la planta muere.

A la diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente se llama Agua Útil (Agua Disponible), la cual es la que puede ser aprovechada por las plantas y la cual puede ser evapotranspirada. El contenido total de esta agua útil constituye la Reserva de Agua del suelo.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)<sup>10</sup>, presenta datos de referencia en cuanto a Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Capacidad de Agua Disponible (Agua Útil) para diferentes texturas de suelo, por pie de profundidad, la cual se presenta en la Tabla No. 2.

**Tabla No. 2.** Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y Capacidad de Agua Disponible para suelos de varias Texturas.

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

Fuente: Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)

#### 2.3.4.4 Evaporación de Cuerpos de Agua

Los cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalses presentan una gran pérdida de agua por evaporación debido a la radiación solar. Esta pérdida de agua puede ser estimada a partir de información de evaporación en tanques evaporímetros, o a través de fórmulas que estimen la pérdida de agua por efectos climáticos.

#### 2.3.4.5 Evaporación en áreas urbanas

Las zonas urbanas presentan una pérdida alta de agua por escorrentía superficial, dado que el agua no puede infiltrarse por la permeabilización que ha sufrido el terreno; sin embargo, parte del agua que cae en estas áreas es evapotranspirada por efectos climáticos y de cobertura vegetal en jardines, arriates y terrazas, y por la misma evaporación que se produce sobre el pavimento. Generalmente este parámetro no es considerado en forma separada, dentro de las pérdidas de agua, incluyéndolo dentro del cálculo de la evapotranspiración real. En la metodología que se está utilizando para el desarrollo del presente balance hídrico, se consideró calcularlo de forma separada para cuantificar esta pérdida en zonas urbanas.

<sup>10</sup> USDA, "Water", Yearbook of Agriculture, 1995.

### **2.3.5 Escurrimiento superficial**

El escurrimiento superficial, es medido en los ríos a través de estaciones hidrométricas las cuales miden el caudal de agua que pasa por un punto determinado. Este caudal depende de la respuesta hídrica de la cuenca a la precipitación que cae en ella, está condicionado por el área de la cuenca, el tipo de cobertura vegetal, tipo de suelos y pendiente del terreno. En las cuencas donde no hay una estación hidrométrica de medición, el caudal puede ser determinar de forma aproximada a través de diversas metodologías las cuales serán explicadas en el capítulo IV.

### **2.3.6 Demanda Interna y Externa**

Las demandas internas se refieren a los consumos de agua por parte de los diferentes sectores de usuarios (consumo humano, agrícola, industrial, comercial, turismo, energético, etc) ubicados dentro de la cuenca.

Las demandas externas se refieren a aquellos consumos de agua por parte de sectores de usuarios ubicados en otras cuencas, y que se abastecen del agua de otro sitio.

### **2.3.7 Cambios de Almacenamiento**

Como resultado del balance hídrico se presenta el cambio de almacenamiento el cual representa por una parte el volumen de agua que recarga los acuíferos y por otra parte, en el caso de existir cuerpos de agua como embalses, lagos y lagunas, el cambio en el nivel de los cuerpos de agua.

## **2.4 CALIDAD DEL RECURSO HIDRICO SUPERFICIAL**

Diversas actividades humanas producen degradación de la calidad en las aguas naturales, por ejemplo, las actividades agrícolas aportan al ambiente sustancias productos de la fertilización agrícola y residuos fitosanitarios provenientes de los plaguicidas; aguas de desecho de establecimientos ganaderos o agroindustriales, vertidos de origen humano como aguas residuales domésticas también, alteraciones por causas naturales como derrumbes, erosión, infiltraciones de agua subterránea, deslizamientos, entre otros..

La importancia de conservar los recursos hídricos superficiales, es estratégica para el desarrollo de un país, por lo cual es una tarea impostergable el manejo sustentable de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos en países como El Salvador, dónde se necesita comprender la magnitud e importancia del estado de degradación ambiental para emprender acciones para su recuperación.

El problema de la contaminación ha alcanzado un nivel crítico en El Salvador, lo que compromete las posibilidades de desarrollo para el país por sus efectos en la disponibilidad de agua y en la salud humana: primero el deterioro mismo del recurso limita sus usos posibles, segundo el impacto negativo que se genera en la salud de los pobladores de las zonas, en especial de los sectores más pobres del país y tercero el impacto negativo que se genera al alimentar a la población del país con productos contaminados.

#### **2.4.1 Impacto de los contaminantes en la calidad de las aguas superficiales**

El origen de la contaminación puede ser puntual o no puntual. Los primeros se refieren a la descarga directa de vertidos industriales y/o domésticos a los ríos, mientras que la contaminación no puntual se origina por fuentes dispersas a lo largo del cauce del río, tales como la erosión, fertilizantes movilizados por la lluvia, entre otros.

Por su parte, los ríos cuentan con una capacidad de auto depuración de sus aguas la cual se define como el conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río. Los compuestos que son posibles de ser degradados por los ríos son llamados biodegradables. Pero hay compuestos que son persistentes y que no pueden ser transformados por el curso de agua, estos son denominados no biodegradables o permanentes.

La capacidad de auto-regeneración de un río depende del caudal del mismo, el cual permitirá diluir el vertido y facilitar su posterior degradación; la turbulencia del agua, que aportará oxígeno diluido al medio; y la naturaleza y volumen del vertido. En este sentido, la presencia en el agua de altas concentraciones de contaminantes, tanto biodegradable como elementos no biodegradables, anula el proceso de auto-depuración, se rompe el equilibrio y queda una zona contaminada que resultará difícil recuperar si no es de forma lenta y/o artificial, limitando todos los usos posteriores del agua, o causando efectos negativos al ser usada.

Por otro lado es importante mencionar que muchos compuestos tales como plaguicidas, fertilizantes, metales pesados, entre otros, no desaparecen de los ambientes acuáticos sino que cambian de lugar, acumulándose en el fondo de ríos e incorporándose a las plantas y a las cadenas tróficas produciendo a mediano y largo plazo enfermedades en la población.

#### **2.4.2 Impacto de la contaminación en la salud humana**

El agua contaminada puede producir efectos muy negativos, ya que provoca enfermedades humanas de corto, mediano y largo plazo.

Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) las enfermedades gastrointestinales son una de las primeras diez causas de muerte en el país<sup>11</sup>. Las bacterias más frecuentes en las aguas contaminadas son las Coliformes fecales que se encuentran en las heces humanas. La escorrentía superficial y, por consiguiente, la contaminación por fuentes no localizadas contribuye de forma significativa al alto nivel de agentes patógenos en las masas de agua superficiales, lo cual, aunado a los deficientes servicios rurales de higiene contribuyen a aumentar el riesgo para los pobladores.

Por otro lado es importante tomar en cuenta que la presencia de otros compuestos como metales pesados, compuestos orgánicos persistentes como los plaguicidas generan enfermedades a mediano y largo plazo y puede comprometer la herencia genética de las futuras generaciones del país.

### **2.4.3 Índice de Calidad del Agua**

Conocer el grado de contaminación que posee un determinado curso de agua se logra analizando el resultado de campañas de monitoreo efectuadas para tal fin, lo que implica una selección de lugares de muestreo, parámetros representativos y la definición de una frecuencia adecuada a los fines de la investigación a desarrollar.

Las determinaciones analíticas de laboratorio y las de campo llevadas a cabo durante los muestreos, se utilizan para caracterizar espacial y temporalmente al río respecto a niveles guía para los diferentes usos a preservar.

Este tipo de análisis de información se ve dificultado porque algunos parámetros de calidad de agua cumplen con las normativas establecidas para usos específicos y otros no. Una de las formas para enfrentar este problema es el uso de una escala numérica simple, relacionada con el grado de contaminación, este valor es denominado “Índice de Calidad de Aguas” (ICA) y engloba las características más importantes, asociadas al uso del agua priorizado a nivel nacional. Dicho índice resume el valor de los parámetros respectivos y puede ser usado para cuantificar y definir mejor la calidad de las aguas.

El ICA adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100 unidades, el cual disminuye con el aumento de la contaminación el curso de agua.

El Índice de Calidad de Agua que se utiliza en esta investigación es una modificación al propuesto por Brown, el cual, es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), en un esfuerzo por instalar un sistema para comparar la calidad de agua de los ríos en varios lugares de un mismo país.

---

<sup>11</sup> MSPAS “Salud para un país de futuro”. El Salvador, Julio de 2004

Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

Coliformes fecales (en NMP/100 mL)  
pH (en unidades de pH)  
Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/ L)  
Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/L)  
Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L)  
Cambio de la Temperatura (en °C)  
Turbidez (en UNT)  
Sólidos disueltos totales (en mg/ L)  
Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

### III. EL SALVADOR, DESCRIPCION GENERAL

Se presentan a continuación las características biofísicas generales del país, que inciden directa o indirectamente en el ciclo hidrológico.

La información descrita ha sido tomada de diversos documentos, en su mayoría de los documentos Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y del Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

##### 3.1.1 Ubicación

El Salvador se encuentra ubicado en la región Central de América Latina, entre las coordenadas Norte 13° 09' 24" y 14° 27' 00", y las coordenadas oeste 87° 41' 08" y 90° 07' 50". Limita por el norte y el este con Honduras, por el oeste y nor oeste con Guatemala, y por el sur con el Océano Pacífico.

##### 3.1.2 Superficie

El Salvador presenta una área territorial de 21,040.79 kilómetros cuadrados.

#### 3.2 EL RELIEVE

En el Salvador el relieve actual es producto de los movimientos orogénicos, así como de la actividad volcánica durante su historia geológica. Estos procesos dinámicos naturales han dado origen a la diversidad de unidades geomorfológicas del país. Alrededor del 13 % del total del territorio, está conformado por planicies costeras, el 49% por áreas montañosas, y el 38 % consiste en zonas de relieve bajos, pequeñas lomas y valles.

Entre las principales regiones geomorfológicas del territorio salvadoreño se pueden señalar las siguientes: (Ver Mapa de relieve en Anexo 2)

##### ***Planicie Costera:***

Se extiende entre la Cadena Costera y el Océano Pacífico. Se caracteriza fundamentalmente por su relieve llano con un declive medio del 1%. Dentro de la planicie costera, se distinguen las siguientes fajas aisladas:

- Planicie occidental: comienza en el río Paz, con las cimas de la sierra de Tacuba limitando la parte de la planicie hacia el norte y la sierra del Bálsamo hacia el este. Los principales ríos que transportan material de suspensión a esta planicie son los ríos Paz, Guayabo, Naranjo y Sensunapán.
- Planicie al centro del país: delimitada al este por la Sierra del Bálsamo, al oeste por la Sierra de Jucuarán, al norte por el pie de los volcanes de San Vicente, Taburete,



Usulután y San Miguel. Los ríos Jiboa y Lempa son los principales contribuyentes de sedimentos en suspensión para esa planicie.

- Planicie alrededor de la Bahía de la Unión: se localiza en la desembocadura de los ríos Sirama y Goascorán, delimitada al norte y oriente por relieve alomado, al sur por las faldas del volcán de Conchagua y al este por las aguas de la bahía de la Unión.
- Planicie alrededor de la bahía del golfo de Fonseca: los ríos que surcan el volcán de Conchagua y la sierra de Jucuarán son los que aportan el material para depositarse en esta planicie.

### ***Cadena Costera:***

Conjunto de alineaciones montañosas de origen volcánico, paralelas al litoral, separadas por planicies aluviales y drenados por importantes cursos fluviales de carácter perenne y temporal. Los materiales asociados a esta cadena son piroclastos con coladas de lavas intercaladas de composición andesítica - basáltica predominando las epiclastitas volcánicas pertenecientes a la formación El Bálsamo. Además sobreyacen estos materiales, en menor extensión, piroclastitas ácidas e ignimbritas de la Formación Cuscatlán y Formación San Salvador

La cadena costera esta compuesta por:

- Sierra de Tacuba, en el departamento de Ahuachapán. Presenta elevaciones desde 770 m.s.n.m en Peña Pinta que es prácticamente una cadena montañosa, y que termina hacia el occidente en forma de desfiladero dando origen a un cañón por donde pasa el río Paz.
- Sierra del Bálsamo, en los departamentos de Sonsonate, La Libertad, San Salvador y La Paz. Presenta su máxima altura de 1,123 m.s.n.m cerca de loma larga en el Municipio de San Marcos.
- Sierra de Jucuarán, al sur de los Departamentos de Usulután, San Miguel y la Unión. Formada por una serie de montañas y cerros paralelos al Océano Pacífico. Alcanza alturas hasta de 882 m.s.n.m en el cerro el Mono.

### ***Cadena volcánica Reciente:***

La cordillera volcánica de Centro América, la cual se ubica paralela a la costa del Océano Pacífico, es considerada como una de las cordilleras volcánicas más activas del mundo.

Dentro de esta cadena puede diferenciarse los siguientes complejos volcánicos:

- Complejo Apaneca – Lamatepec: entre los elementos morfológicos que la conforman sobresalen los volcanes de Izalco, Santa Ana, el cono volcánico de Coatepeque, los cerros de los Naranjos, el Águila, San Marcelino, Cerro Verde y Apaneca. Esta zona



presenta pendientes pronunciadas del 40 al 70%. Su máxima altura, es de 2,365 metros en el volcán de Santa Ana.

- Complejo volcánico de San Salvador: posee dos cimas importantes el Boquerón con una elevación de 1839 m.s.n.m y el Picacho con 1959 m.s.n.m.
- Caldera volcánica de Ilopango: depresión alargada en sentido E-W formando el Lago de Ilopango. Caracterizada principalmente por una actividad explosiva de gran intensidad emitiendo grandes volúmenes de piroclastos dacíticos.
- Complejo volcánico de San Vicente: compuesto por el volcán de San Vicente (2,181 m) y una serie de conos, domos, y cráteres de explosión. El volcán cuenta con dos cúspides y una serie de cráteres adventicios sobre las vertientes sur y este del volcán.
- Complejo volcánico Tecapa – Berlín – Usulután – San Miguel: El complejo Tecapa, Berlín y Usulután se cree que se formó sobre la caldera de colapso del antiguo volcán de Berlín. El volcán de San Miguel como su máxima elevación (2,129 m).
- Volcán de Conchagua: tiene dos cimas principales con elevaciones de 1,156 y 1,243 m.s.n.m. En sus cimas las pendientes oscilan entre el 30 y 50%, disminuyendo del 15 al 30% en las vertientes intermedias y bajas. En la vertiente sur se identifican acantilados con pendientes casi verticales.
- Islas del Golfo de Fonseca: todas las islas son de origen volcánico. El complejo de islas esta constituido por las islas Zacatillo, Martín Pérez, Conchaguita, Isla Meanguera e isla Meanguerita o Pirigallo.

### ***Cordillera Fronteriza:***

Situada al norte del país, en la frontera con Honduras. Abarca primordialmente el área norte de los departamentos de Santa Ana, Chalatenango, Cabañas, Morazán, una pequeña extensión al noreste de San Miguel y La Unión. Presenta un rango de elevaciones desde los 300 m hasta más de los 2700 m.s.n.m. Aquí se encuentran las mayores elevaciones del país como son: El Pital (2,730 m) y Montecristo (2,418 m). Es un sistema de montañas y cerros, no continuo, en algunos lugares forman serranías pero en otros se encuentran como bloques aislados, interrumpido por valles intramontanos. Su relieve es muy accidentado presentando un rango de pendientes entre 30 - 50% en las estribaciones montañosas. Pero también se observan pendientes mayores del 70% en las crestas de los macizos montañosos.

Los mayores rasgos morfológicos son: el macizo de Montecristo, los Esesmiles, las montañas de Cabañas, Nahuaterique y Perquín.

### ***Depresión Central:***

Esta gran depresión cruza todo el país de Oeste a Este en forma de mesetas bajas muy diseccionadas (como la tierra blanca alrededor del lago de Ilopango) y valles relativamente

planos (valle de San Andrés, depresión del lago de Olomega) con edificios volcánicos extintos que sobresalen en este relieve.

Su relieve es relativamente plano comparado con las fuertes pendientes de los volcanes que la delimitan. Contrastan dos rangos de pendientes: el primero (de mayor extensión) mucho más llano, donde las pendientes son inferiores al 15 %; el segundo con valores más altos (pendientes entre 30 % - 50%), asociado a los edificios volcánicos extintos.

Esta región puede ser estructurada en los siguientes cuatro componentes geomorfológicos:

- Grandes valles interiores: valle alto del río Lempa y valle del Río Grande de San Miguel.
- Pequeños valles y cuencas adosadas a la cadena volcánica reciente: Meseta de Santa Ana – Ahuachapán, valle del Río Paz, valle de Zapotitán, valle de San Andrés, valle de San Salvador, escalón de Cojutepeque y valle de San Vicente.
- Complejo interior muy erosionado de depresiones y relieves bajos.
- Estructuras volcánicas extintas: volcanes de Sihuatepeque y Cacahuatique, volcán de Guazapa.

### **3.3 EL CLIMA**

El Salvador se localiza entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, en el cinturón climático tropical, caracterizado por presentar condiciones térmicas similares a lo largo del año, con variaciones diurnas y nocturnas que son más importantes que las mensuales. Se producen oscilaciones de las precipitaciones a nivel mensual, existiendo dos épocas climáticas marcadas: la época lluviosa y la época seca.

Los factores que condicionan el régimen climático del país son:

- El relieve del país.
- La Zona de Convergencia Intertropical.
- Los vientos Alisios.
- Las ondas tropicales o del Este.
- La influencia de la brisa marina del océano Pacífico.
- El anticiclón subtropical del Atlántico o de las Islas Bermudas.
- Los frentes fríos desplazados por masas de aire frío y continental de origen polar.
- Los centros térmicos débiles de baja presión atmosférica.
- Los sistemas ciclónicos como tormentas tropicales y huracanes.

#### **3.3.1 Temperatura:**

La temperatura media anual es de 24.8 °C, presentándose la temperatura media más baja en los meses de diciembre (23.8 °C) y enero (23.9 °C) debido a la influencia que ejercen los vientos fríos, por las incursiones de aire frío proveniente del Norte, mientras que el mes más cálido es abril (26.4 °C). (Ver Mapa de Temperaturas en el Anexo 2)

### **3.3.2 Precipitación:**

Se distinguen dos temporadas climáticas en el país, la época seca y la época lluviosa con sus respectivos periodos de transición. La primera, se presenta entre los meses de noviembre a abril y la segunda de mayo a octubre con un intervalo de reducción de las lluvias entre julio y agosto llamado canícula. El mes más lluvioso es septiembre, seguido por el mes de junio.

Los tipos de lluvia que se presentan son de origen: orográfico, convectivo y ciclónico.

La precipitación orográfica se origina en la zona de barlovento de las cadenas montañosas del norte y costera. La precipitación convectiva se genera debido al calentamiento de masa de aire lo que origina precipitaciones fuertes y rápidas generalmente en horas de la tarde, especialmente en los primeros meses de la época lluviosa. Las precipitaciones ciclónicas son originadas por sistemas atmosféricos como ondas tropicales, bajas presiones y vaguadas, así como por la influencia o acercamiento de la zona de convergencia intertropical, que afectan al país especialmente en los últimos meses de la época lluviosa, generando temporales de varios días consecutivos.

Por otro lado, el país es afectado periódicamente por el fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS). El fenómeno del Niño genera retraso de la llegada de la estación lluviosa y un periodo mas corto de la misma, así como una disminución en su cantidad, y una prolongación de la canícula. (Ver Mapa de sequía en el Anexo 2)

### **3.3.3 Vientos:**

El Salvador está sometido a la influencia de los vientos alisios del noreste, afectando con mayor intensidad a las zonas de mayores alturas. También se identifican vientos de carácter local, originados por diferencias de temperatura a escala menor: las brisas mar-tierra y las brisas montaña-valles y los Vientos Nortes.

Las brisas mar-tierra poseen dos direcciones, la primera se produce en sentido mar-tierra durante el día, debido al gran calentamiento que se opera en la superficie terrestre, que provoca una zona de menor presión. Mientras, sobre la superficie del océano Pacífico, que se encuentra más fría, se genera una zona de mayor presión, lo que provoca que el aire circule en sentido océano-tierra. Por la noche se produce el fenómeno contrario, debido a la rápida pérdida de calor del continente, y el mayor calentamiento de la masa de agua del océano.

Igualmente los vientos montaña-valle, poseen dos direcciones en función del momento del día. Durante el día las zonas más altas del país se calientan más rápidamente que los valles y mesetas, por lo que se generan vientos locales que soplan desde los valles y mesetas hacia las zonas. Cuando llega la noche las zonas altas del país se enfrían rápidamente, mientras que las zonas bajas (valles y mesetas) pierden lentamente el calor

acumulado durante el día, por lo que las brisas soplan desde las zonas montañosas hacia los fondos de los valles y mesetas, suavizando las temperaturas nocturnas.

En cuanto a los vientos Norte, estadísticamente su aparecimiento ocurre durante el mes de octubre, ocasionados por la incursión de una célula de alta presión, procedente de América del Norte, presentándose con intensidades y características de débiles a moderadas (de 10 a 30 Km/h). Durante los meses de noviembre y diciembre, los vientos Nortes, siempre se manifiestan alcanzando intensidades máximas durante noviembre. Dichos sistemas de alta presión anulan la actividad lluviosa ya que se oponen al desplazamiento de las Ondas del Este, secando el aire e impidiendo los procesos de condensación de vapor de agua y formación de nubes. Sin embargo, en los últimos cinco años se ha observado que la incursión de estas células se ha presentado después de finalizado el mes de octubre.

### **3.3.4 Regiones Climáticas:**

El factor orográfico juega un papel clave en la definición de las regiones climáticas de El Salvador. Según Koppen y Sapper-Lauer se pueden distinguir cuatro regiones climáticas en el país:

**Tabla No. 3.** Regiones Climáticas según KOPPEN Y SAPPER-LAUER.

REGIONES CLIMÁTICAS SEGÚN KOPOEN y SAPPER - LAUER		
Altura sobre el nivel del mar (msnm)	KOPPEN	SAPPER-LAUER
0 - 800	Sabanas Tropicales Calientes	Tierra Caliente
800 - 1.200	Sabanas Tropicales Calurosas	Tierra Templada
1.200 – 1.800	Clima Tropical de las Alturas	
1.800 - 2.700		Tierra Fría

Fuente: Atlas de El Salvador, cuarta edición, Ministerio de Economía)

**Tabla No. 4 .** Datos básicos de las regiones climáticas de El Salvador.

<b>REGION CLIMATICA SABANA TROPICAL CALIENTE (TIERRA CALIENTE O ZONA TROPICAL ARIDA BAJA)</b>	
SUPERFICIE DEL PAIS	90%
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	0 - 800 msnm
TEMPERATURA MEDIA	Oscila entre los 22-27°C y 22-28°C, en función de la elevación, en las planicies interiores. Extremos absolutos de 38°C en la región hidrográfica H y 35°C en la zona costera de las regiones hidrográficas F, e y C.
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	Oscila entre los 150-200 mm (excepto el entorno del lago Guija y sectores del oriente de la República).
HUMEDAD RELATIVA	70% en la estación seca 84% en la estación lluviosa
<b>REGION CLIMATICA SABANA TROPICAL CALUROSA (TIERRA TEMPLADA)</b>	
SUPERFICIE DEL PAIS	6%
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	800 - 1.200 msnm
TEMPERATURA MEDIA	Oscila entre los 17-21°C. Se distinguen dos zonas: Planicie alta y valles: 20-22°C ; Faldas de las montañas: 17-21 °C
<b>REGION CLIMATICA CLIMA TROPICAL DE LAS ALTURAS O TIERRA TEMPLADA</b>	
SUPERFICIE DEL PAIS	3%
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	1.200 - 1.800 msnm
TEMPERATURA MEDIA	Inferior a 22°C en el mes más caluroso. Esta región afecta a: Las planicies altas y valles, en donde son posibles las heladas, fundamentalmente en los meses de diciembre, enero y febrero por la incidencia de los vientos del norte (vientos fríos que pueden llegar a tener una duración de 15 días) y la disminución de la temperatura Faldas de las montañas: sin peligro de heladas.
<b>REGION CLIMATICA CLIMA TROPICAL DE LAS ALTURAS O TIERRA FRIA</b>	
SUPERFICIE DEL PAIS	1.5 %
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	1.800 -2.700 msnm
TEMPERATURA MEDIA	Superficies cacuminales o culminantes de montañas y volcanes. La variación anual de la temperatura oscila entre 10-16°C.

FUENTE: PNUD-OPS/OMS-ANDA-OEDA. Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en El Salvador. San Salvador, El Salvador, febrero de 1989

## 3.4 EL SUELO

### 3.4.1 Clasificación de Suelos

La clasificación de suelos con la cual se trabajó en el presente estudio, corresponde al Mapa de Clasificación General de Suelos – USDA, de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería, año 1985, a escala 1:300.000. En la Tabla No. 5 se presenta dicha clasificación y el Mapa se presenta en el Anexo No. 2.

**Tabla No. 5.** Clasificación de Suelos en El Salvador.

TIPO DE SUELOS	AREA %
Agua	2.43
Alfisoles, algunos Molisoles	21.53
Alfisoles, Molisoles	5.50
Alfisoles, Ultisoles	12.46
Area Urbana	0.36
Entisoles, Inceptisoles	2.91
Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles	13.22
Entisoles, Inceptisoles, Molisoles	6.92
Entisoles, Vertisoles	3.34
Inceptisoles	4.54
Inceptisoles, Alfisoles, Molisoles	7.13
Inceptisoles, Entisoles	6.77
Inceptisoles, Ultisoles, Alfisoles	3.39
No Clasificado	0.66
Vertisoles, Alfisoles, Inceptisoles	8.84
<b>Total General</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Mapa de Clasificación General de Suelos – USDA, Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1985.

Algunas de las características de los diferentes ordenes de suelos se presentan a continuación:

- **Alfisoles:**

Suelos minerales maduros, bien desarrollados, con un horizonte superficial de color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla iluvial (horizonte argílico); El Orden de los Alfisoles se caracteriza por presentar un horizonte subsuperficial de enriquecimiento secundario de arcillas desarrollado en condiciones de acidez o de alcalinidad sódica, y asociado con un horizonte superficial claro, generalmente pobre en materia orgánica o de poco espesor. Los suelos que pertenecen a



este Orden presentan una alta saturación con bases en todo el perfil. El drenaje interno en estos suelos varía de pobre, moderado a bien drenados.

- **Molisoles:**

Los Molisoles son básicamente suelos negros o pardos, ricos en humus, que se han desarrollado a partir de sedimentos minerales. La incorporación sistemática de los residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral genera en el transcurso del tiempo un proceso de oscurecimiento del suelo por la incorporación de materia orgánica, que refleja más profundamente en la parte superficial, la que se denomina epipedón mólico. Otras propiedades que caracterizan a los Molisoles son: la estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua y aire; la dominancia del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico, que favorece la fluctuación de los coloides; la dominancia de arcillas; moderada a alta capacidad de intercambio y la elevada saturación con bases; son suelos de poco profundos a muy profundos; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroclásticas. El drenaje interno del suelo es de muy pobre a bien drenado.

- **Ultisoles:**

Suelos de zonas húmedas templadas a tropicales sobre antiguas superficies intensamente meteorizadas. Se desarrollan de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales. Presentan un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenado. Son suelos profundos a muy profundos, con texturas superficiales franco arcillosa y arcillosa, textura del subsuelo de arcillosa a muy arcillosa; colores pálidos en el suelo superficial, pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento claro, en el subsuelo los colores varían de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, en algunos casos los colores en el subsuelo varían producto del Hidromorfismo de gris parduzco claro a gris claro.

- **Entisoles:**

Son suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos, la mayoría no poseen el horizonte superficial con algún nivel de desarrollo, pero cuando se encuentra tiene colores claros (epipedón ócrico) u oscuros (epipedón úmbrico), la profundidad varía de profundos a muy superficiales. El drenaje interno varía de excesivo, moderadamente bueno, bueno, pobre a muy pobre. Las texturas tanto superficiales como del subsuelo varían de arenosas a arcillosas, con colores que van desde oscuros a pardos.

- **Inceptisoles:**

Son suelos minerales de desarrollo incipiente, con débil desarrollo de horizontes. Muestran horizontes alterados que han sufrido pérdida de bases, hierro y aluminio pero conservan considerables reservas de minerales meteorizables. Son desarrollados de sedimentos

aluviales, fluviales, coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas básicas y ácidas El drenaje natural interno de estos varía de muy pobre a bien drenados La textura superficial varía de arena franca hasta arcillosa, de franco arcilloso a arcilloso.

- **Vertisoles:**

Son suelos minerales de desarrollo reciente, con horizonte superficial de poco espesor, muy arcillosos, que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas y durante la estación lluviosa se expanden, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente. Formados de sedimentos lacustres o lagunares, de tobas, basaltos y otras rocas ricas en bases y fácilmente meteorizables, en pendientes de 0–8%, también se encuentran en pendientes de hasta 15%. El drenaje natural es de imperfecto a moderado, pobre y muy pobre.

### **3.4.2 Usos del Suelo**

De acuerdo al Mapa de Uso del Suelo, del Centro Nacional de Registro, Proyecto SHERPA en el año 2003, se presentan los diferentes Usos del Suelo de la Tabla No. 6.

### **3.4.3 Procesos Erosivos**

En El Salvador, los procesos de degradación del suelo se consideran severos calculándose que se pierden 59 millones de toneladas métricas de suelo anualmente por erosión dentro del 75 % del territorio del país (Perdomo Lino, 1990). Entre las causas de esta degradación, se encuentran procesos naturales como la erosión propia de los relieves jóvenes y de los materiales poco consolidados y la ocurrencia de lluvias torrenciales con gran poder erosivo, acelerados por factores antrópicos como la excesiva explotación de la cobertura forestal, las inadecuadas prácticas agrícolas utilizadas por una agricultura de subsistencia que se desarrolla sobre un elevado porcentaje de las laderas del país y la utilización de suelos con vegetación no acorde a su vocación potencial.



**Tabla No. 6. Usos del Suelo en El Salvador.**

<b>OCUPACION DEL SUELO</b>		<b>AREA (%)</b>
<b>Territorios Artificializados</b>		<b>3.46</b>
	Tejido Urbano Continuo	1.42
	Tejido Urbano Discontinuo	1.52
	Tejido Urbano Precario	0.20
	Tejido Urbano Progresivo	0.05
	Zonas Comerciales o Industriales	0.07
	Zonas Portuarias	0.01
	Aeropuertos	0.02
	Areas Turisticas y Arqueologicas	0.05
	Zonas de Extracción Minera	0.04
	Escombreras, Vertederos y Rellenos Sanitarios	0.00
	Zonas en Construcción	0.04
	Zonas Verdes Urbanas	0.01
	Instalaciones Deportivas y Recreativas	0.01
	Viveros de Plantas Ornamentales y Otras	0.00
<b>Territorios Agrícolas</b>		<b>70.04</b>
	Granos Basicos	18.12
	Hortalizas	0.00
	Pastos Cultivados	2.70
	Pastos Naturales	9.32
	Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	3.87
	Mosaico de Cultivos y Pastos	8.08
	Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	12.20
	Sistemas Agroforestales	0.10
	Otros Cultivos Irrigados	0.54
	Platanales y Bananeras	0.14
	Café	10.55
	Palmeras Oleíferas	0.21
	Arboles Frutales	0.25
	Caña de Azúcar	3.94
	Cultivo de Piña	0.01
<b>Bosques y Medios Semi-Naturales</b>		<b>23.21</b>
	Bosques de Coníferas	2.64
	Bosques Mixto	0.82
	Bosque de Mangle	1.78
	Plantaciones de Bosques Monoespecifico	0.27
	Bosque de Galeria	0.81
	Vegetación herbacea natural	1.24
	Vegetación Arbustiva Baja	4.49
	Vegetación Esclerofila o espinoso	0.38
	Morrales en potreros	0.10
	Vegetación arbustiva de playa	0.01
	Zonas Ecotonales	0.16
	Playas, dunas y arenales	0.15
	Roqueda,lavas	0.31
	Espacios con Vegetación Escasa	0.47
	Zonas Quemadas	0.18
	Bosque Caducifolio	3.23
	Bosque Siempre Verdes	1.43
	Bosques mixtos semi caducifoleos	4.75
<b>Zonas Húmedas</b>		<b>0.66</b>
	Marismas interiores	0.08
	Praderas Pantanosas	0.40
	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	0.05
	Marismas marítimas	0.00
	Salinas	0.11
	Perimetro acuicola	0.02
<b>Cuerpos de Agua</b>		<b>2.63</b>
	Ríos	0.50
	Lagos,lagunas y lagunetas	1.41
	Lagunas costeras y esteros	0.71
	Estuarios	0.02
	Mares y océano	0.00
<b>Total General</b>		<b>100.00</b>

Fuente: Mapa de Uso del Suelo, del Centro Nacional de Registro, Proyecto SHERPA, año 2003.

## 3.5 EL AGUA

### 3.5.1 Recursos Superficiales

El Salvador se encuentra dividido en diez regiones hidrográficas con características geomorfológicas similares de acuerdo a lo establecido en la década de los 70 por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, y posteriormente por el Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos PLAMDARH las cuales se presentan en la Tabla No. 7. (Ver Mapa de Regiones Hidrográficas en el Anexo 2)

**Tabla No. 7.** Regiones Hidrográficas en El Salvador.

REGION HIDROGRAFICA		AREA (Km2)
A	LEMPA	10.167,56
B	PAZ	919,93
C	CARA SUCIA – SAN PEDRO	768,85
D	GRANDE DE SONSONATE - BANDERAS	778,43
E	MANDINGA - COMALAPA	1.294,55
F	JIBOA – ESTERO DE JALTEPEQUE	1.638,62
G	BAHIA DE JIQUILISCO	779,01
H	GRANDE DE SAN MIGUEL	2.389,27
I	SIRAMA	1.294,55
J	GOASCORAN	1.044,44

El principal río del país por su longitud, caudal y área de recogimiento es el río Lempa, seguido por los ríos Grande de San Miguel, Paz y Goascorán.

Los principales lagos y lagunas del país son: Lagos de Ilopango, Coatepeque y Guija, entre otros; Lagunas de Guija, Olomega, Metapán, San Juan, Chnmico, San Diego, del Llano, de los Negritos, entre otras.

Existen también embalses de regulación hidroeléctrica: Cerrón Grande, 15 de Septiembre, 5 de Noviembre, Guajoyo (Lago de Guija).

### 3.5.2 Recursos Subterráneos<sup>12</sup>

Los principales acuíferos del país son, (Ver mapa de Unidades Hidrogeológicas en el Anexo 2):

- **Acuífero del Valle de San Salvador:**

Ubicado bajo la ciudad de San Salvador, y constituido por el área de recarga del volcán de San Salvador. Su área descarga es el río Acelhuate y sus afluentes. Constituido por

<sup>12</sup> Información del Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial.

materiales de lava de alta permeabilidad, intercaladas con materiales piroclásticos. La profundidad del agua subterránea varía entre 30 y 90 metros.

- **Acuífero del Valle de Zapotitán:**

Se localiza entre los volcanes de San Salvador y Santa Ana. Actualmente se aprovecha para abastecer de agua al proyecto de riego del Valle de Zapotitán. También en las zonas de los alrededores del autódromo El Jabalí, se localiza el campo de pozos de Opico, el cual se utiliza para abastecer de agua potable a la ciudad de San Salvador por medio del proyecto Zona Norte. El agua puede encontrarse entre los 10 y los 40 metros de profundidad.

- **Acuíferos en los Valles de Ahuachapán, Santa Ana, San Vicente y Usulután:**

Se localizan en los valles a los pies de los volcanes jóvenes del mismo nombre. Se utilizan para abastecer de agua a ciudades y poblaciones cercanas.

- **Acuífero del Valle de San Miguel:**

Se localiza en torno al volcán de San Miguel, desde los alrededores de la ciudad de San Miguel, a lo largo de la carretera San Miguel El Delirio y en el valle bajo de la cuenca del río Grande de San Miguel, entre el Delirio y Usulután, a ambos lados de la carretera del litoral. Es uno de los acuíferos más ricos del país y es aprovechado para abastecer de agua potable a la ciudad de San Miguel. La profundidad del agua puede variar entre 10 a 50 metros.

- **Acuífero de la Planicie Costera Occidental**

Comprende desde los alrededores de Acajutla hasta el río Paz. Se utiliza para abastecer de agua potable a la población de Acajutla y a las industrias vecinas y para pequeños proyectos de riego en la planicie aluvional. Por ser su área de recarga la cadena del Bálsamo, que está constituida por materiales de baja a nula permeabilidad, el potencial de este acuífero es bajo con excepción de la zona de Acajutla. La profundidad del agua subterránea varía entre 1 y 30 metros.

- **Acuífero de Sonsonate**

Se origina en el área de recarga de los volcanes de Santa e Izalco, es de mayor potencial que el de la planicie costera occidental y es usado para abastecer de agua potable a la ciudad de Sonsonate, pequeños proyectos de riego y zona industrial de Acajutla. La profundidad del agua subterránea varía de 5 a 50 metros.

- **Acuífero de la Planicie Costera Central**

Se extiende desde San Diego en La Libertad hasta el río Lempa. Su área de recarga principal es el volcán de San Vicente. Actualmente abastece de agua a la ciudad de Zacatecoluca y a pequeños proyectos de riego en la costa. La profundidad del agua subterránea puede variar entre 5 y 60 metros.

- **Acuífero costero Río Lempa – Usulután**

Tiene su área de recarga en la cadena volcánica de Usulután. Es de un elevado potencial hídrico, la profundidad del agua varia entre 10 y 80 metros. Actualmente se usa para abastecer de agua de riego y potable a poblaciones localizadas en su área de influencia.



## **IV. METODOLOGIA**

A continuación se presenta la metodología utilizada para la determinación de los parámetros del Balance Hídrico en cuanto a oferta y disponibilidad hídrica.

Para el Balance Hídrico, componente de Evaluación de Recursos Hídricos, el periodo analizado corresponde a 1971 – 2001, dado que el procesamiento y el análisis de la información comenzó a realizarse a principios del año 2003, por lo que la información del año 2002 no se tenía completa. Los análisis que se presentan en este documento se refieren a dicho periodo, sin embargo con la sistematización que se ha realizado del Balance Hídrico se pretende actualizar anualmente los resultados, los cuales podrán ser consultados vía electrónica en la pagina web del SNET.

El análisis de la información de calidad hídrica corresponde a los resultados del monitoreo realizado desde el año 1998 hasta la fecha, inicialmente por el Programa Ambiental de El Salvador (PAES) y después con el SNET; el cual involucra la mayoría de las regiones hidrográficas del país, excepto las regiones Mandinga – Comalapa, Bahía de Jiquilisco, Sirama y Goascorán, las cuales hasta la fecha se encuentran en proceso de análisis, por lo que de dichas regiones no se presentan en este documento.

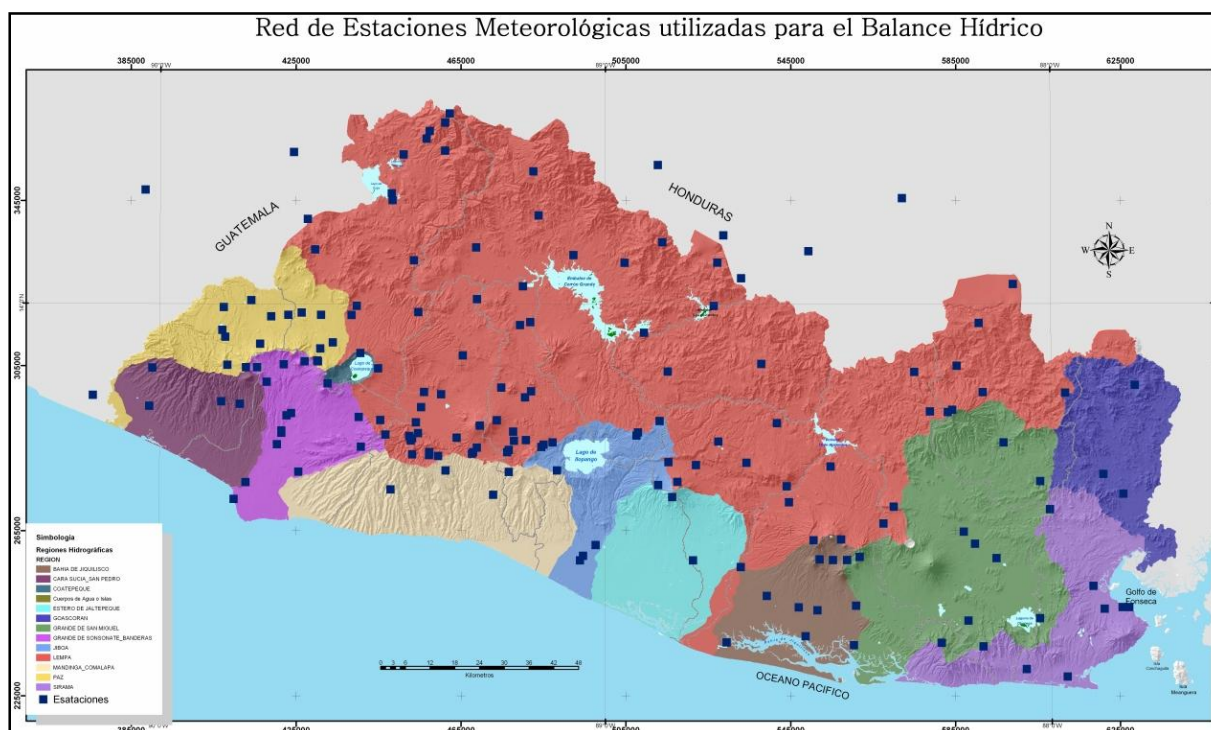
### **4.1 Análisis de la Precipitación**

Para la evaluación de la precipitación media en el país, a nivel de cuenca y de región hidrográfica, se analizaron las estaciones pluviométricas y climatológicas existentes, a las cuales se les realizó un análisis de consistencia y de confiabilidad a través de la elaboración de Curvas Doble Masa. Posteriormente fue completada la información faltante para el periodo mencionado. Una vez completada la información se trazaron las líneas isoyetas a nivel mensual y anual y se calculó la precipitación media a nivel de cuenca y región hidrográfica.

#### **4.1.1 Información pluviométrica**

El cálculo de la precipitación media se realizó a partir de la información de 173 estaciones de lluvia, entre las cuales 164 corresponden a El Salvador, 4 a Guatemala y 5 a Honduras, de estos dos últimos países en las cuencas compartidas de Río Paz, Goascorán y Lempa. En la Tabla No. A1 del Anexo No. 1, se presenta el listado de las estaciones a partir de las cuales se calculó la precipitación media, y su periodo de registro y en la Figura No.5 se presenta la ubicación de dichas estaciones.

**Figura No. 5.** Ubicación de Estaciones Pluviométricas para el cálculo de Precipitación Media.



#### 4.1.2 Análisis de Consistencia de las estaciones analizadas

A las estaciones meteorológicas se les analizó la confiabilidad de la información a través de curvas de doubles masas, con el programa CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas) desarrollado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas del Ministerio de Fomento (España).

Para la aplicación del programa las estaciones fueron agrupadas de acuerdo a los siguientes criterios: cota topográfica, cercanía de estaciones, precipitaciones medias similares, datos suficientes para completar datos faltantes.

Para cada grupo seleccionado se realizó el análisis de consistencia, eliminando aquellas estaciones que presentaron insuficiencia de datos o errores sistemáticos.

#### 4.1.3 Relleno de datos en el periodo analizado

Los datos faltantes fueron completados igualmente a través del modelo CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas), el cual utiliza un modelo de regresión bivariada con estacionarización previa mensual de la serie de datos.



#### **4.1.4 Cálculo de Precipitación Media**

A partir de la información completa se trazaron los mapas de Isoyetas a nivel Mensual y Anual a través de interpolación Krigging con el programa SURFER, y con Sistemas de Información Geográfica se determinó la Precipitación media por cuenca.

Para efectos de facilitar el cálculo de los parámetros siguientes del proceso, (evaporación y evapotranspiración), se tuvo en cuenta la separación de precipitación media total de la cuenca y las precipitaciones caídas en zona rural, en zona urbana y en cuerpos de agua.

#### **4.2 Análisis de la Evaporación y la Evapotranspiración**

Para la evaluación de la evapotranspiración media en el país, se analizó la Evapotranspiración de Referencia, la Evapotranspiración de Cultivo y la Evapotranspiración Real, a nivel de cuenca y de región hidrográfica. De manera similar que en el caso de la precipitación, se analizó la consistencia de la información de la evapotranspiración de Referencia, se completaron los datos faltantes y se trazaron líneas de evapotranspiración de Referencia mensual y anual. El cálculo de la Evapotranspiración de Cultivo se llevó a cabo con la información existente de usos del suelo, y el cálculo de la Evapotranspiración Real teniendo en cuenta la humedad del suelo dependiendo de los diferentes tipos de suelo existentes en el país.

Se realizó adicionalmente el calculo de la evaporación en los cuerpos de agua y en las zonas urbanas.

##### **4.2.1 Información climatológica**

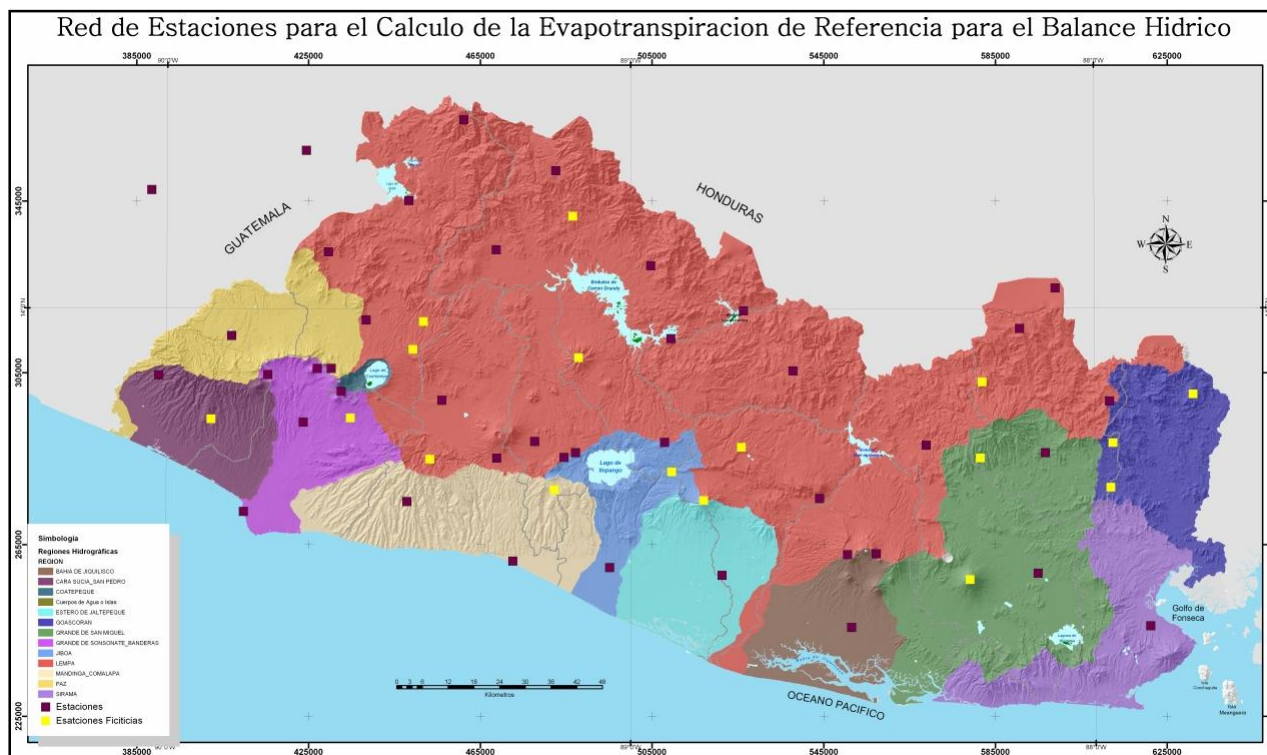
El número de estaciones con que se contaba para el cálculo de la evapotranspiración de Referencia era de 43, de las cuales 40 están ubicadas en el Salvador y 3 en Guatemala. Este número es considerablemente menor que el número de estaciones de precipitación, esta falta de densidad de la red no reflejaba las condiciones especialmente de evapotranspiración en altura, por lo que se decidió crear estaciones ficticias que permitieran estimar en mas detalle el parámetro de evapotranspiración.

Se analizó la relación existente entre Altitud y Evapotranspiración de Referencia (la cual fue calculada por el método de Hargreaves) y se determinaron ecuaciones de correlación mensual entre las dos variables, obteniéndose muy buenos coeficientes de correlación. De esta forma se crearon 17 estaciones ficticias y se aumentó la red de estaciones para el cálculo de la evapotranspiración de referencia a 60 estaciones

En la Tabla No. A2 del Anexo No. 1 se presenta el listado de las estaciones a partir de las cuales se calculó la evapotranspiración de Referencia media, y en la Figura No. 6 se

presenta la ubicación de dichas estaciones. La Tabla No.8 presenta las ecuaciones de correlación a partir de las cuales se crearon las estaciones ficticias.

**Figura No. 6.** Ubicación de Estaciones Climatológicas para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia.



**Tabla No. 8.** Ecuaciones de correlación Altitud – Evapotranspiración de Referencia.

MES	ECUACION DE CORRELACION	R <sup>2</sup>
ENERO	$y = -7E-06x^2 - 0.017x + 152.95$	R2 = 0.8791
FEBRERO	$y = -8E-06x^2 - 0.0164x + 156.04$	R2 = 0.8707
MARZO	$y = -1E-05x^2 - 0.0171x + 190.42$	R2 = 0.8206
ABRIL	$y = -9E-06x^2 - 0.0202x + 194.52$	R2 = 0.8298
MAYO	$y = -7E-06x^2 - 0.0237x + 186.89$	R2 = 0.8378
JUNIO	$y = -7E-06x^2 - 0.0181x + 165.79$	R2 = 0.8871
JULIO	$y = -9E-06x^2 - 0.0127x + 175.28$	R2 = 0.8311
AGOSTO	$y = -8E-06x^2 - 0.0122x + 170.12$	R2 = 0.8481
SEPTIEMBRE	$y = -8E-06x^2 - 0.0126x + 150.42$	R2 = 0.8832
OCTUBRE	$y = -1E-05x^2 - 0.0094x + 149.56$	R2 = 0.8791
NOVIEMBRE	$y = -9E-06x^2 - 0.0119x + 142.18$	R2 = 0.8836
DICIEMBRE	$y = -7E-06x^2 - 0.0168x + 144.91$	R2 = 0.8928

Donde:

y = Evapotranspiración de Referencia (mm/mes)

x = Altitud (msnm)

#### **4.2.2 Evapotranspiración de Referencia**

A partir de la información de Evapotranspiración de Referencia calculada por Hargreaves en las 43 estaciones reales y 17 ficticias, se trazaron isolíneas de Evapotranspiración de Referencia a nivel mensual y anual, las cuales fueron cruzadas con los mapas de cuencas del país, y se calcularon las Evapotranspiración de Referencia media por cuenca y por región hidrográfica.

#### **4.2.3 Evapotranspiración de Cultivo**

Para la evapotranspiración de cultivo, se tuvieron en cuenta los Coeficientes de cultivos Kc de la FAO, para los diferentes tipos de usos de suelo del país, de acuerdo a condiciones de desarrollo vegetativo y condiciones climáticas, con lo que se asignaron valores a nivel mensual para cada tipo de uso de suelo.

El mapa de Usos de Suelos utilizado para el análisis corresponde al del año 2003, asumiendo una estacionalidad en el uso del suelo en los 30 años de análisis del balance hídrico. Esta es una simplificación realizada con el objeto de tomarlo como punto de referencia. Con la sistematización del Balance se podrá realizar el cálculo de acuerdo a la información actualizada con que se vaya contando, o por el contrario con mapas de uso de suelo de años anteriores. En la Tabla No. 9 se presentan los Coeficientes de Cultivo Kc utilizados en el análisis.

Para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo mensual a nivel de cuenca, se determinó un Coeficiente de Cultivo ponderado a nivel mensual de acuerdo a los tipos de uso del suelo en la cuenca y los coeficientes de cultivo mensuales correspondientes a dichos usos, y esos valores fueron multiplicados por la evapotranspiración de referencia mensual.

**Tabla No. 9** Coeficientes de Cultivo Kc.

OCUPACION DEL SUELO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AG.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Agricultura limpia anual	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Arboles Frutales	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque Caducifolio	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque de coníferas denso	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de coníferas ralo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de Galería	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque de Mangle	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque latifoliado	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque mixto	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque Secundario (Arbustal)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque Siempre Verdes	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosques de Coníferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosques Mixto	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosques mixtos semi caducifoleos	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Caña de Azúcar	0,6	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1,05	1,15	1,15	0,85
Café	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Charral o Matorral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coníferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cultivo de Piña	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Espacios con Vegetación Escasa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estuarios	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Granos Básicos	1	1	1	1	0,35	1	1,05	1,05	0,6	1	1	1
Hortalizas	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	0,95	1	1	1
Humedal con cobertura boscosa	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Lagos, Lagunas y otros (Lenticos)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Lagos, lagunas y lagunetas	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Lagunas costeras y esteros	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Latifoliadas	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Mares y océano	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Marismas interiores	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Mixto	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Morrales en potreros	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos y Pastos	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Otros Cultivos	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1	1	1	1
Otros Cultivos Irrigados	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1
Otros Humedales	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Palmeras Oleíferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pastos Cultivados	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Pastos naturales	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Perímetro acuícola	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Plantaciones de Bosques Monoespecífico	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Platanales y Bananeras	0,55	0,55	0,55	0,65	0,7	0,85	0,95	1	1	1	1	0,95
Playas, dunas y arenales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Praderas Pantanosas	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15
Rocas Expuestas (incluye áreas erosionadas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roqueda, lavas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ríos	1,15	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Salinas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistemas Agroforestales	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Tierras sin bosque	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
vacías	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Vegetación Arbustiva Baja	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Vegetación arbustiva de playa	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Vegetación Esclerófila o espinoso	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Vegetación herbácea natural	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Viveros de Plantas Ornamentales y Otras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas de Extracción Minera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas Ecotónicas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Quemadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Verdes Urbanas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

#### **4.2.4 Evapotranspiración Real**

La evapotranspiración real se calculó teniendo en cuenta la Capacidad de agua disponible en el suelo, a partir de datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), de acuerdo a texturas asociadas al mapa Clasificación de Suelos USDA-MAG, 1985. Dado que la información de Capacidad de agua disponible en el suelo de acuerdo a la textura, esta en función de la profundidad del suelo, se tomó como profundidad base un suelo de 60 cm, teniendo en cuenta que es una profundidad promedio radicular. En la Tabla No.10 se presentan los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y capacidad de agua disponible calculadas para esta profundidad con base en información de USDA y las texturas asociadas de acuerdo al Orden de los Suelos, según el mapa de Clasificación de Suelos mencionado.

El paso inicial para el cálculo de la evapotranspiración real fue la determinación de la capacidad de agua disponible en el suelo a nivel de cuenca, para lo cual, a la información de tipos de suelo del mapa de clasificación de suelo se les asignó la textura predominante a cada tipo de suelo y con los datos de la Tabla No.10 se calculó el ponderado a nivel de cuenca.

El proceso de cálculo para la evapotranspiración real se inició en el mes de noviembre donde el suelo esta saturado debido a que es la etapa de finalización de la época lluviosa. De esta forma, la evapotranspiración real para el mes de noviembre se calculó teniendo en cuenta la humedad del suelo para el final del mes de octubre (tomándola como la capacidad de agua disponible ponderada en la cuenca), la precipitación sobre zona rural del mes de noviembre y la evapotranspiración de cultivo ponderada para el mes de noviembre. Si la humedad del mes anterior (en este caso octubre) mas la precipitación en zona rural (de noviembre) era mayor o igual a la evapotranspiración de cultivo (de noviembre), la evapotranspiración real correspondía a la evapotranspiración de cultivo, en caso contrario la evapotranspiración real correspondía a la humedad disponible que es la suma de la humedad del mes anterior mas la precipitación en zona rural. La humedad del mes calculado se calculaba de nuevo como la diferencia entre la humedad disponible y la evapotranspiración real. El mismo proceso se continuó para los meses siguientes.

**Tabla No. 10.** Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Agua Disponible para profundidad del suelo de 60 cm.

Clasificación del Suelo	Capacidad de Retención (mm)	Capacidad de Campo (mm)	Punto de Marchitez Permanente (mm)	Textura Asociada
Alfisoles, algunos Molisoles	100	190	90	franco arcilloso
Alfisoles, Molisoles	100	190	90	franco arcilloso
Alfisoles, Ultisoles	100	190	90	franco arcilloso
Aluviales	100	160	60	franco
Andosoles	105	175	70	franco limoso
Aquepts Aquepts	100	160	60	franco
Aquepts	100	160	60	franco
Aquepts Ustepts	100	160	60	franco
Aquepts Ustolls	100	190	90	franco arcilloso
Aquepts Aquepts Orthents	70	200	130	arcillas
Basalt	100	160	60	franco
Entisoles, Inceptisoles	100	160	60	franco
Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles	100	160	60	franco
Entisoles, Inceptisoles, Molisoles	100	160	60	franco
Entisoles, Vertisoles	100	190	90	franco arcilloso
Inceptisoles	100	160	60	franco
Inceptisoles, Alfisoles, Molisoles	100	190	90	franco arcilloso
Inceptisoles, Entisoles	100	160	60	franco
Inceptisoles, Ultisoles, Alfisoles	100	190	90	franco arcilloso
Litosoles	70	200	130	arcillas
No Clasificado	100	160	60	franco
Non-calcic	100	160	60	franco
Orthents	100	160	60	franco
Orthents Aquepts	100	160	60	franco
Orthents Psamments Aquepts	100	160	60	franco
Orthents Ustepts	100	160	60	franco
Orthents Ustepts Ustalfs	100	160	60	franco
Orthents Usterts	100	160	60	franco
Orthents Usterts Ustepts	100	160	60	franco
Psamments	100	160	60	franco
Psamments Orthents	100	160	60	franco
Psamments Ustolls	100	160	60	franco
Suelo de valles	100	160	60	franco
Ustalfs Ustepts	100	190	90	franco arcilloso
Ustalfs Ustult	100	160	60	franco
Ustalfs Orthents	100	160	60	franco
Ustalfs Orthents Ustepts	100	190	90	franco arcilloso
Ustalfs Psamments	100	190	90	franco arcilloso
Ustalfs Ustalfs Orthents	100	190	90	franco arcilloso
Ustalfs Ustepts	100	190	90	franco arcilloso
Ustepts	100	160	60	franco
Ustepts Orthents	100	160	60	franco
Ustepts Ustalfs	100	190	90	franco arcilloso
Ustepts Ustalfs Orthents	100	160	60	franco
Ustepts Usterts	70	200	130	arcillas
Ustepts Usterts Orthents	70	200	130	arcillas
Usterts	70	200	130	arcillas
Usterts Orthents	70	200	130	arcillas
Usterts Ustepts Orthents	70	200	130	arcillas
Usterts Ustolls	70	200	130	arcillas
Usterts Ustolls Ustepts	70	200	130	arcillas
Ustolls	100	190	90	franco arcilloso
Vertisoles, Alfisoles, Inceptisole	70	200	130	arcillas
Vitrands Psamments	100	190	90	franco arcilloso



#### **4.2.5 Evaporación en Cuerpos de Agua**

Debido a la poca información de evaporación en tanques evaporímetros con la que se cuenta, de la densidad de los sitios y de la longitud limitada de los registros, se tomó como información base, la evapotranspiración de referencia sobre los cuerpos de agua afectándolos por un Coeficiente de Evaporación, el cual varió de época lluviosa a época seca. De esta manera, se aplicó un factor de 1.15 de noviembre a abril y de 1.10 de mayo a octubre, de acuerdo a coeficientes para cuerpos de agua sugeridos por la FAO. Los resultados fueron comparados con los datos de los tanques evaporímetros existentes para validar los resultados, obteniéndose valores muy cercanos a los medidos.

#### **4.2.6 Evaporación en zonas Urbanas**

Este parámetro se tomó en cuenta con el fin de poder observar la pérdida de agua por evaporación en zonas urbanas dadas tanto por el pavimento, jardines, separadores y arriates, la cual aunque es baja y representa un porcentaje mínimo en las pérdidas de agua permite la estimación en el proceso de cálculo, de las escorrentías generadas sobre zonas urbanas como la diferencia entre la precipitación que cae y la evaporación en dichas zonas.

Aunque no existe información sobre este tema, dentro de los cálculos realizados se tomó un factor al que se le ha denominado Ku Coeficiente Urbano (equivalente al Kc de Coeficiente de Cultivo) al cual se le asignó un valor de 0.10, el cual puede entenderse como que el 10% del agua que cae en zona urbana puede evaporarse. El proceso de cálculo fue similar al de la evapotranspiración real, al asumir que si la lluvia que cae sobre la zona urbana era menor o igual que la evapotranspiración de referencia en zona urbana por el Ku, entonces la evaporación en zona urbana es igual a dicha precipitación, en caso contrario sería la evapotranspiración de referencia en zona urbana por el Ku.

### **4.3 ESCORRENTIA SUPERFICIAL**

Referente a la disponibilidad de información para la determinación de la escorrentía superficial se tuvo dos escenarios:

- Cuencas con información hidrométrica registrada
- Cuencas sin información hidrométrica

Dado que la evaluación de los recursos hídricos se realizaría por cuenca hidrográfica, se utilizó la información de las cuencas con registro de caudal, como

Información base para generación de dos metodologías para determinación de escorrentías superficiales en las cuencas sin registro. Estas metodologías fueron: Regionalización de Caudales medios y Relación Precipitación – Escorrentías.

En las Figuras Nos 7 y 8 se presentan las redes de monitoreo de histórica y actual de aguas superficiales, a partir de las cuales se analizó la información de escorrentías



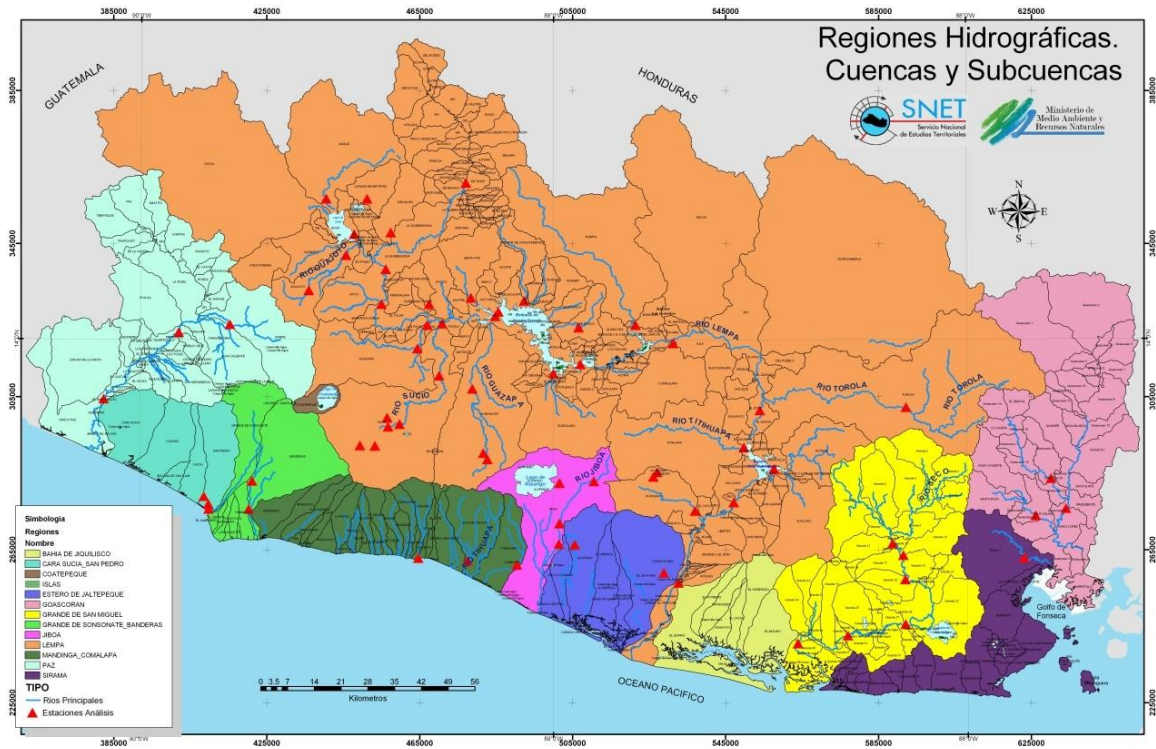


Figura No. 7. Red histórica de monitoreo de aguas superficiales.

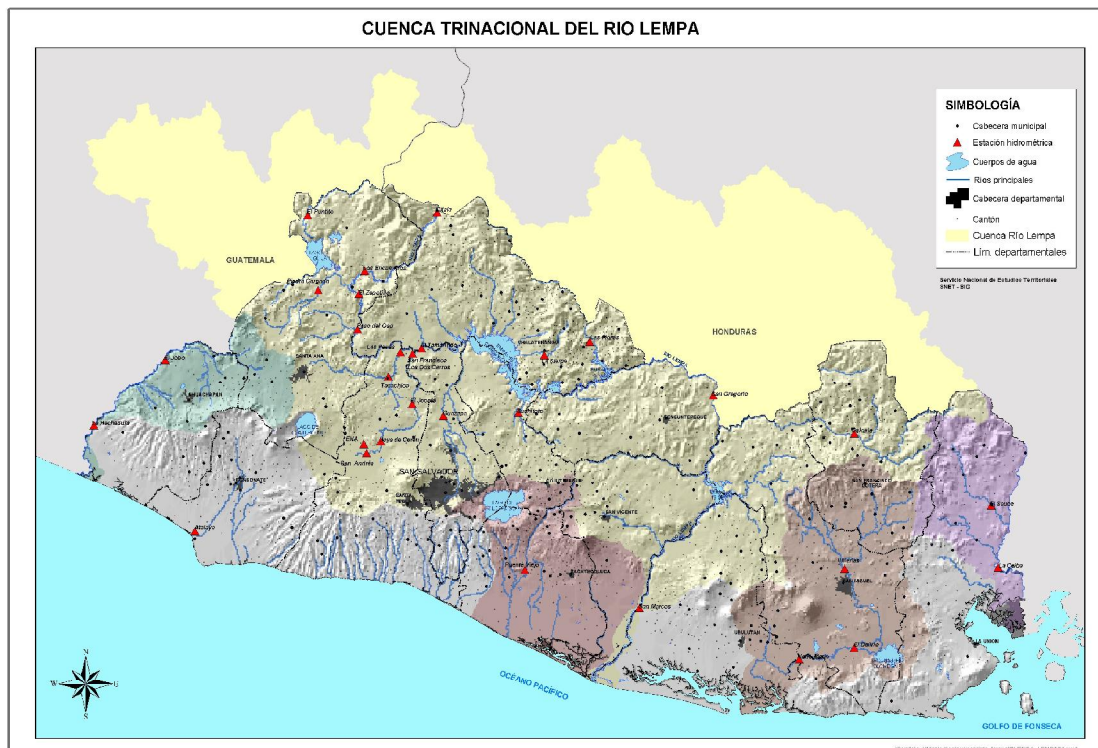


Figura No. 8. Red actual de monitoreo de aguas superficiales.

### 4.3.1 Regionalización de Caudales Medios

El Servicio Hidrológico del SNET, desarrolló en el año 2004 la Regionalización de caudales medios y máximos de El Salvador, a través de la cual se establecieron relaciones entre caudales medios (y también máximos) con el área de la cuenca aportante, y factores de distribución mensual para caudales medios (o de ajuste para diferentes periodos de retorno para caudales máximos) de acuerdo a regiones hidrológicamente homogéneas.

En la Tabla No.11 se presentan las ecuaciones para la estimación de caudales medios anuales de acuerdo a las regiones hidrológicamente homogéneas definidas en la Figura No. 9, y los factores de distribución mensual de los caudales anuales.

**Tabla No. 11** Ecuaciones de Regionalización de Caudales medios anuales y factores de distribución mensual.

Region	Caudal Promedio Anual	Factor de Distribucion Mensual											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	$0.0127*A + 1.4954$	0.397	0.361	0.352	0.411	0.701	1.436	1.347	1.603	2.350	1.893	0.721	0.429
2	$0.0103*A + 0.4433$	0.278	0.216	0.197	0.196	0.363	1.031	1.175	1.898	2.985	2.441	0.788	0.389
3	$0.0151*A + 0.4752$	0.156	0.117	0.104	0.130	0.511	1.658	1.052	1.315	3.089	2.982	0.651	0.234
4	$0.0109*A + 0.545$	0.127	0.121	0.116	0.129	0.374	1.879	1.680	1.963	2.951	2.096	0.373	0.192
5	$0.0304*A - 0.3231$	0.113	0.084	0.079	0.115	0.400	1.874	1.516	1.815	3.240	2.100	0.444	0.166
6	$2E-06*A^2 + 0.0156*A + 0.0944$	0.496	0.470	0.450	0.479	0.671	1.235	1.517	1.718	2.186	1.537	0.700	0.541
7	$-0.00001*A^2 + 0.0214*A - 0.2529$	0.273	0.237	0.226	0.251	0.421	1.471	1.303	1.646	2.970	2.201	0.670	0.331
8	$0.0176*A - 10.123$	0.381	0.333	0.312	0.291	0.429	1.418	1.549	1.615	2.483	2.121	0.601	0.466

Donde:

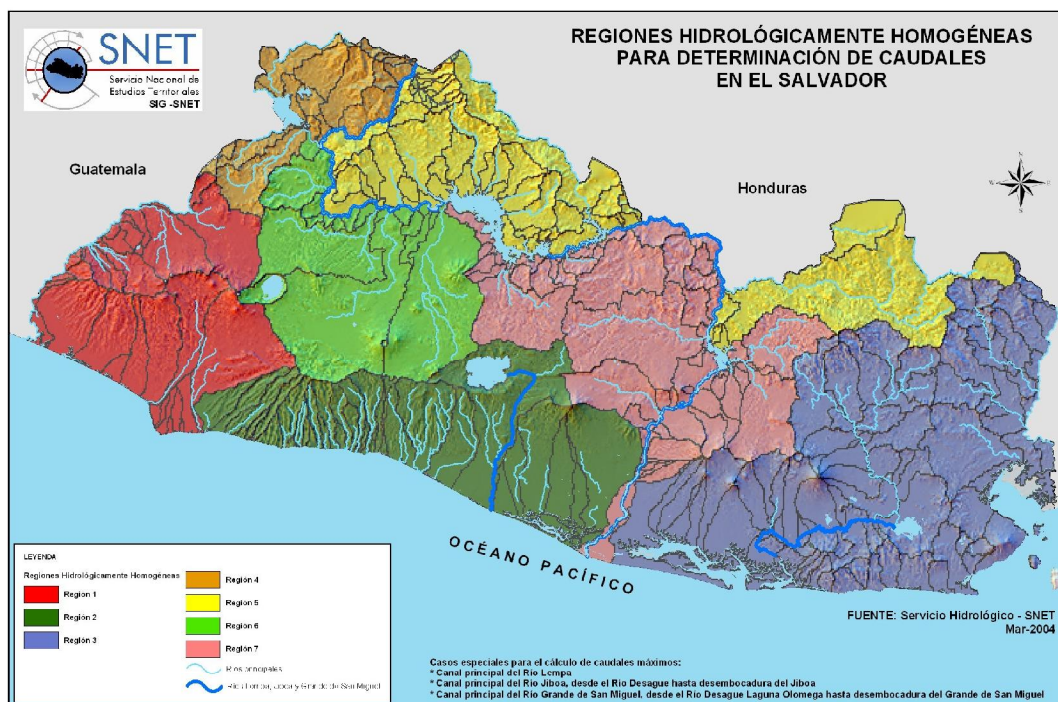
A = área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

Caudal Promedio anual en m<sup>3</sup>/s

Los valores calculados para las escorrentías en m<sup>3</sup>/s fueron transformados a lamina de agua en milímetros (mm) y a unidad de volumen de Millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>).

Es de mencionar que las ecuaciones de regionalización presentan un rango de validez en cuanto al área de las cuencas, de acuerdo a la información a partir de la cual se generaron, por lo que para cuencas que están por fuera del rango de área en las cuales no es valida la ecuación, no era posible aplicar esta metodología, por lo que se generó la metodología de relación Precipitación – Escorrentía.

La selección de la metodología a emplear para la generación de la escorrentía en las diferentes cuencas, estuvo dada por el área de las cuencas, y la evaluación de los resultados de las dos metodologías en cada caso particular.



**Figura No. 9.** Regiones Hidrológicamente Homogéneas para determinación de caudales medios.

#### 4.3.2 Relación Precipitación – Escorrentía.

La segunda metodología para la generación de las escorrentías fue la relación Precipitación – Escorrentía, en la cual se analizaron las relaciones existentes a nivel mensual de estas dos variables. La precipitación tomada en la relación corresponde a la precipitación media areal mensual y la escorrentía a los registradas en las estaciones hidrométricas, pero en unidades de mm. Con base en estas relaciones se determinaron factores que relacionan las dos variables, de acuerdo a lo presentado en el mapa de la Figura No. 10 y Tabla No. 12.



Mapa para Aplicación de Relaciones Precipitación-Escurrentía

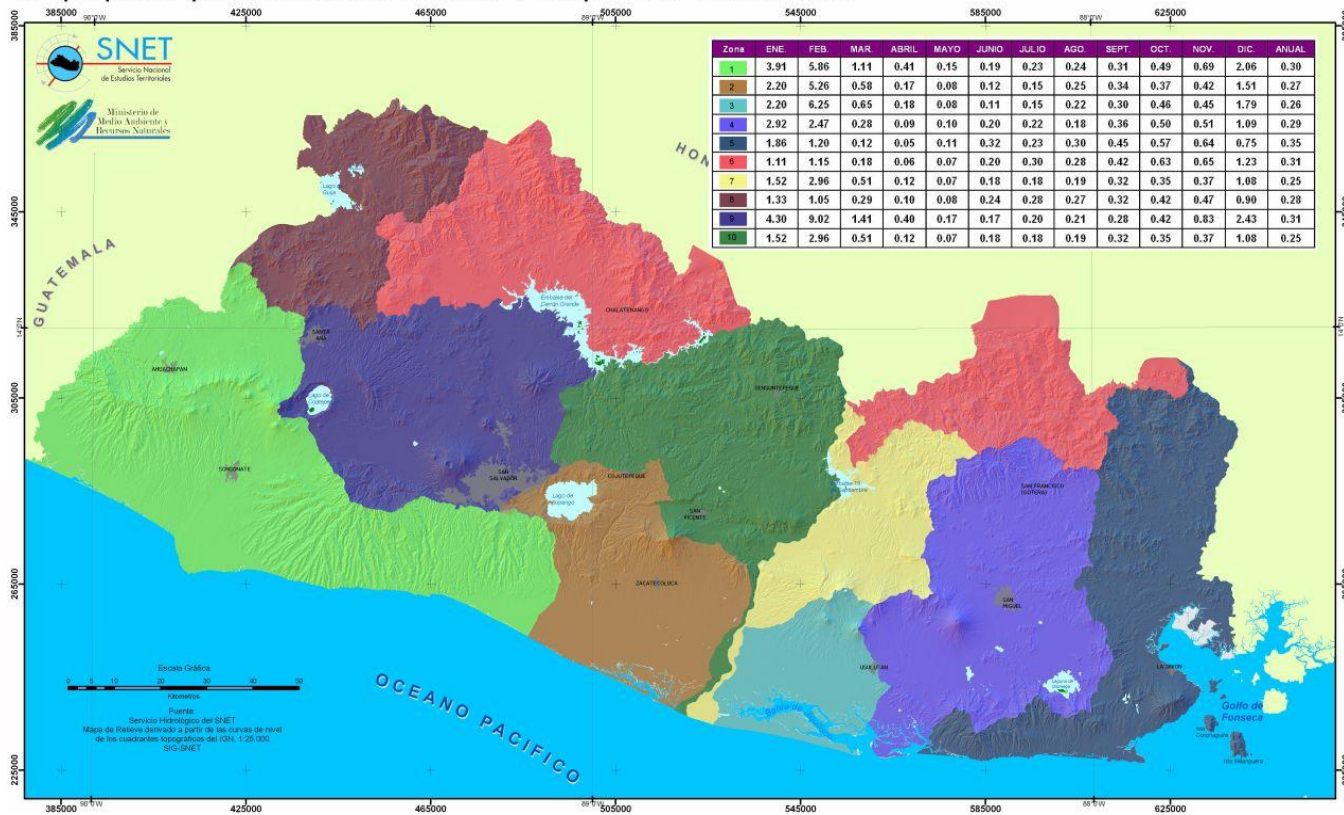


Figura No. 10. Mapa para aplicación de relación Precipitación – Escorrentía.

Tabla No. 12. Factores de relación Precipitación - Escorrentía.

zona	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1	3.91	5.86	1.11	0.41	0.15	0.19	0.23	0.24	0.31	0.49	0.69	2.06	0.30
2	2.20	5.26	0.58	0.17	0.08	0.12	0.15	0.25	0.34	0.37	0.42	1.51	0.27
3	2.20	6.25	0.65	0.18	0.08	0.11	0.15	0.22	0.30	0.46	0.45	1.79	0.26
4	2.92	2.47	0.28	0.09	0.10	0.20	0.22	0.18	0.36	0.50	0.51	1.09	0.29
5	1.86	1.20	0.12	0.05	0.11	0.32	0.23	0.30	0.45	0.57	0.64	0.75	0.35
6	1.11	1.15	0.18	0.06	0.07	0.20	0.30	0.28	0.42	0.63	0.65	1.23	0.31
7	1.52	2.96	0.51	0.12	0.07	0.18	0.18	0.19	0.32	0.35	0.37	1.08	0.25
8	1.33	1.05	0.29	0.10	0.08	0.24	0.28	0.27	0.32	0.42	0.47	0.90	0.28
9	4.30	9.02	1.41	0.40	0.17	0.17	0.20	0.21	0.28	0.42	0.83	2.43	0.31
10	1.52	2.96	0.51	0.12	0.07	0.18	0.18	0.19	0.32	0.35	0.37	1.08	0.25

## **4.4 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO**

Como resultado de la aplicación de la ecuación de conservación de masa, se obtuvieron las cantidades de almacenamiento de agua las cuales se traducen en recargas, flujo subterráneo y cambios de nivel en cuerpos de agua, a nivel mensual y anual para cada una de las cuencas del país, las regiones hidrográficas y a nivel global de país.

## **4.5 CALIDAD DE AGUA**

### **4.5.1 Metodología de Monitoreo de Calidad de Agua**

A continuación se presenta la metodología utilizada en campo para el monitoreo de calidad de agua.

#### **4.5.1.1 Red de Monitoreo de Calidad**

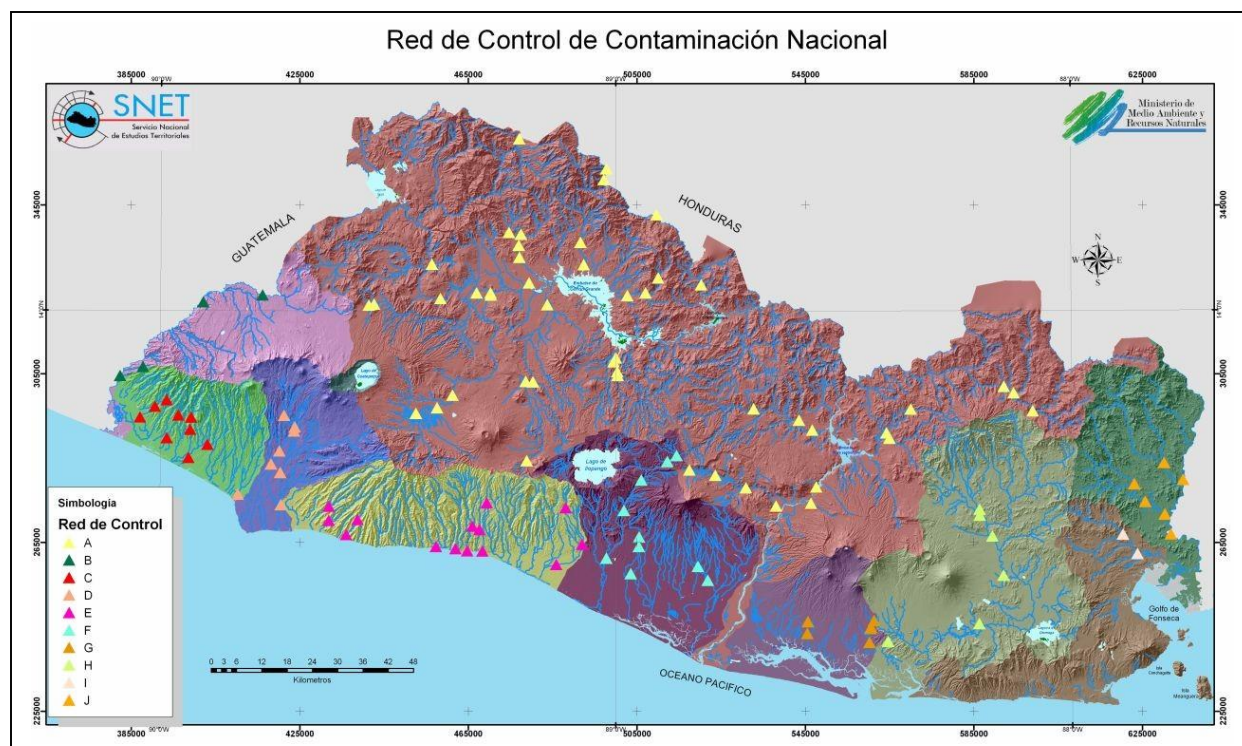
El plan de monitoreo para este proyecto es a “largo plazo” y va a ser utilizado para caracterizar temporal y espacialmente el comportamiento de las variables de calidad de agua, que hace factible el aprovechamiento de la misma para los usos priorizados en la cuenca, así como para detectar tendencias en los valores medios de las mismas a través del tiempo. Estos programas requieren por lo general, de sitios de toma de muestra fijos de carácter permanente. En ellos debe asegurarse el acceso a los mismos en cualquier condición hidrológica y climática, restringiendo su localización, para el caso de ríos, a zonas con buenos caminos de acceso o puentes. Pero adicionalmente debe de considerarse que los sitios seleccionados sean representativos del curso de agua, es decir, que caractericen la calidad de toda la masa de agua que circula por el sitio en un período de tiempo dado.

Para el muestreo de ríos es necesario tener en cuenta los siguientes requerimientos técnicos:

- a) Fácil acceso al sitio de muestreo en todo momento y condición hidrológica.
- b) Mezcla completa de contaminantes de tributarios y/o efluentes – sitio homogéneo (similares parámetros de calidad de agua en toda su sección transversal)
- c) Considerar cualquier alteración de la cantidad o calidad de las aguas en el río (tributarios, descargas o tomas de agua).
- d) Considerar cualquier cambio hidráulico del río (variaciones de la profundidad o la velocidad del flujo).
- e) Considerar las características hidráulicas del flujo, como velocidad, o posibilidad de que exista un tiempo de residencia del contaminante para determinar la frecuencia de muestreo.
- f) Seleccionar puntos de muestreo en zonas de mezcla completa de la corriente de agua que no sean afectados por obras civiles tales como puentes, represas,

difusores de cañerías que transportan vuelcos de efluentes industriales y canales naturales y / o artificiales.

En la Figura No. 11, se presenta la red de monitoreo de calidad de agua que el SNET actualmente monitorea. En el No. 1, Tabla No. A3 se presenta el detalle de los sitios de muestreo.



**Figura No. 11** Red de Valoración de Calidad de Aguas a nivel Nacional

#### 4.5.1.2 Medición de Cantidad de Agua

En cada uno de los sitios de la red de monitoreo se realiza la medición de cantidad de agua a través del método de vadeo utilizando el molinete o el micromolinete.

El caudal de un curso en una sección, es el volumen de agua que pasa por la misma en una unidad de tiempo. Por tal motivo sus unidades están dadas como: [Volumen] / [Tiempo] y sus unidades son normalmente (m<sup>3</sup>/seg) o (litros/seg).

El aforo es la operación de medición del caudal en una sección de un curso de agua, en los ríos se mide en forma indirecta, teniendo en cuenta que:

CAUDAL = VELOCIDAD x AREA

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



La medición de la sección del curso y de la profundidad de la sección parcial.



Medición de la velocidad de la sección parcial por unidad de tiempo



Se anotan los datos de profundidad y velocidad parcial de la sección transversal donde se realiza el aforo, para luego calcular los caudales parciales y su sumatoria representa el caudal total.

#### 4.5.1.3 Medición de Calidad de Agua

En cada uno de los sitios de la red de monitoreo se miden algunos parámetros de calidad de agua “*in situ*”. La calidad del agua esta caracterizada por su composición física, química y biológica que determina sus posibles usos.

La calidad de las aguas depende de las posibles fuentes de contaminación como vertidos de distintos tipos de sustancias: materia orgánica, materia inorgánica, nutrientes, metales pesados, plaguicidas, etc., gran cantidad de estas sustancias se incorporan al agua por la



acción humana, principalmente a través de los vertidos municipales e industriales y de las actividades agrícolas y ganaderas, etc.



#### **Análisis de parámetros en campo.**

Los parámetros que se toman en campo son los siguientes: temperatura de la muestra, temperatura ambiente, pH, turbidez, conductividad, sólidos disueltos y oxígeno disuelto.



#### **Análisis de parámetros en campo.**

Los análisis son realizados con el Equipo de Calidad de Agua (Water Checker Modelo U-10).

#### **4.5.1.4 Toma de muestras para análisis de parámetros en laboratorio**

En cada uno de los sitios de la red de monitoreo se recolectarán muestras de tipo físico-químicas, bacteriológicas y  $\text{DBO}_5$  ; luego las muestras son preservadas y trasladadas al Laboratorio de Calidad de Agua del SNET para su procesamiento el mismo día de la recolección.

La toma de muestras para cada uno de los sitios seleccionados varía dependiendo de las características de la sección transversal: longitud de la transversal, profundidad, homogeneidad de corrientes, entre otros, se pueden recolectar de uno a dos juegos de muestras por sitio de muestreo, dependiendo de las características de homogeneidad del sitio seleccionado.

#### **4.5.1.5 Parámetros de Calidad de Agua**

Los parámetros de calidad de agua a determinar se muestran en las Tabla Nos 13 y 14

**Tabla No. 13** Parámetros seleccionados para ser medidos en campo y su aplicación

Nº.	PARAMETROS	UNIDAD	POTABILIZAR	RIEGO	AMBIENTAL	CONTACTO HUMANO
1	Temperatura Ambiente	°C			X	
2	Temperatura del agua	°C			X	
3	PH	u pH	X	X	X	
4	Conductividad	Siemens/cm		X		
5	Turbidez	UNT	X		X	X
6	Oxígeno Disuelto	mg/l	X		X	X

**Tabla No. 14** Parámetros seleccionados para ser medidos en las muestras recolectadas y su aplicación

Nº.	PARAMETROS	UNIDAD	POTABILIZAR	RIEGO	CALIDAD AMBIENTAL	CONTACTO HUMANO
1	DBO <sub>5</sub>	mg/L	X		X	
2	Ortofosfatos	mg/L			X	
3	Nitratos	mg/L	X		X	
4	Sólidos Disueltos Totales	mg/L	X		X	
5	Cloruros	mg/L	X	X		
6	Sodio	mg/L		X		
7	Calcio	mg/L		X		
8	Magnesio	mg/L		X		
9	Cobre	mg/L	X			
10	Cinc	mg/L	X			
11	Coliformes fecales	NMP/100	X	X	X	X
12	Fenoles	mg/L	X			
13	Color Aparente	uCo-Pt	X			

#### 4.5.1.6 Cadena de Custodia en Campo y en Laboratorio

La cadena de custodia es un instrumento de aseguramiento de la trazabilidad en el acarreo y posesión de todas las muestras, desde la recepción de los envases, hasta la generación de resultados que son válidos para ser utilizados en procesos legales.

Para realizarla se da seguimiento al llenado de formularios de responsabilidad del manejo de las muestras, de tal manera de documentar todo el proceso de monitoreo en campo desde la toma de las muestras hasta su traslado al laboratorio. Como mínimo debe contener la siguiente información:

- a) Firma del responsable de muestreo
- b) Información del sitio de muestreo: código de identificación del sitio, ubicación, fecha y hora de muestreo y análisis solicitado.

Para asegurar también la custodia de las muestras en el Laboratorio, se utiliza la Cadena de Custodia del Laboratorio, consistente en varias planillas que documentan el proceso desde la recepción hasta el procesamiento de la muestra y la emisión de los resultados.

#### **4.5.1.7 Control de Calidad del Muestreo**

Para mantener un control de calidad en todo el programa de muestreo, además de cumplir con los procedimientos estándar, se requiere tomar y presentar lo que se llama “blancos de muestras”, los cuales son envase con agua destilada llenado en el campo en las mismas condiciones del muestreo al que se le realizan los mismos análisis del laboratorio que a las muestras y se utiliza para determinar interferencias por el muestreo.

Adicionalmente se encuentran los “blancos de temperatura”, que consisten en un frasco con agua destilada que se coloca en las hieleras de transporte de muestras para verificar la temperatura de las mismas a su llegada al Laboratorio.

Los blancos permiten constatar la posibilidad de existencia de contaminación durante el proceso de muestreo y permiten detectar errores sistemáticos o casuales que se produzcan desde el momento en que se toma la muestra hasta el análisis

#### **4.5.2 Metodología del Análisis de la Información Generada**

La evaluación de los recursos hídricos se realizará a través de la aplicación de las normativas existentes y/o propuestas de normativas para determinar la aptitud de uso de las aguas superficiales del país y poder determinar la aptitud de uso de la oferta de agua, es decir, determinar su real disponibilidad.

Los usos de agua propuestos para la presente evaluación son:

- a. Agua cruda para potabilizar
- b. Agua para riego
- c. Agua con calidad ambiental
- d. Agua apta para el contacto humano

##### **4.5.2.1 Agua cruda para potabilizar**

El agua apta para consumo humano es difícil encontrarla en forma natural debido a que normalmente se encuentra contaminada por el suelo y las actividades del hombre mismo, las impurezas o contaminantes pueden ser de distintos tipos

El Decreto No. 51 con fecha 16 de noviembre de 1987 del Diario Oficial del país, especifica la normativa con un total de nueve parámetros de calidad de agua especificando rangos, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla No. 15** Rangos para parámetros de calidad de agua deseables para agua cruda para potabilizar por métodos convencionales.

PARÁMETRO	UNIDADES	RANGO
DBO5	mg/L	De 3 a 4
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000
Oxígeno Disuelto	mg/L	4-6.5
PH	u de pH	6.5 a 9.2
Cloruros	mg/L	50 a 250
Color aparente	unidades de Co-Pt	20 a 150
Turbidez	UNT	10 a 250
Fenoles	mg/L	0.005

Para efectos del presente trabajo se ha tomado en cuenta la normativa vigente y se han adicionado algunos parámetros de calidad de agua que influyen en las características del agua, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla No. 16** Rangos para parámetros de calidad de agua deseables para agua cruda para potabilizar, adicionales a la normativa vigente con tratamientos convencionales

PARAMETRO	UNIDADES	RANGO
Cobre	mg/L	0.1-1
Nitratos	mg/L	45
TDS	mg/L	300-600
Cinc	mg/L	5

Es importante evaluar otros parámetros de calidad de agua como metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, los cuales, por falta equipamiento para dichos análisis en el laboratorio de Calidad de Agua del SNET, no han sido considerados en el presente trabajo y son objeto de futuros proyectos para su incorporación en el balance hídrico y en el Diagnóstico Nacional de Calidad de Agua.

#### 4.5.2.2 Agua para riego

La agricultura es otro de los usuarios de los recursos de agua en el país y al mismo tiempo una de las fuentes de contaminación de los mismos, la descarga de contaminantes y sedimentos es lo que en general hace reducir la disponibilidad de agua de calidad aceptable para la actividad agrícola en base a las normativas dispuestas.

Por otro lado, es importante hacer notar que el alto uso de fertilizantes y plaguicidas para aumentar o mantener el rendimiento de los productos agrícolas, incide directamente en la calidad de los recursos hídricos.

Como se mencionó anteriormente, en el Decreto No. 51, se ha determinado la normativa de agua para riego, como se detalla en la Tabla No. 17. Adicionalmente se ha considerado adicionar el parámetro de pH para evaluar la aptitud de uso para la presente evaluación.

**Tabla No. 17** Rangos para parámetros de calidad de agua recomendables para riego

PARAMETRO	UNIDADES	RANGO
Coductividad	$\mu$ Siemens/cm	250 a 750
RAS		0-10
% de sodio	meq/L	30 a 60
Boro	mg/L	0.5 a 2.0
Cloruros	mg/L	195
Sulfatos	mg/L	200
PH	u de pH	6.5 a 8.4

#### 4.5.2.3 Agua con calidad ambiental

Una manera practica de valorar la calidad del agua en un sitio determinado para un momento determinado, es haciendo uso de una escala numérica simple relacionada con el grado de contaminación, este valor es denominado “Índice de Calidad de Aguas” (ICA) y engloba las características más importantes asociadas al uso del agua priorizado, resumiendo el valor de los parámetros respectivos y pudiendo ser usado para definir mejor el estado que indica el término “calidad de agua”.

El Índice de Calidad de Agua para condiciones óptimas adopta un valor máximo determinado de 100 valor que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en el curso de agua en estudio hasta un valor de cero.

En el país para valorar la calidad ambiental de las aguas superficiales, se aplica el ICA recomendado por el Programa Ambiental de El Salvador<sup>13</sup>, proyecto ejecutado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

<sup>13</sup> Consultoría “Propuesta de Descontaminación de los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate” PAES 2002 (<http://www.snet.gob.sv/Documentos/dac/dac.htm>)

#### 4.5.2.4 Índice de Calidad de Agua (ICA)

Para calificar la calidad de agua de los ríos estudiados se aplica el Índice de Calidad de Agua (ICA), el cual evalúa la aptitud de la calidad de agua para el desarrollo de vida acuática.

Este índice toma en cuenta los siguientes parámetros: porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, Coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, nitratos, fosfatos, incremento de la temperatura, turbidez y sólidos totales disueltos.

La evaluación numérica del “ICA”, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown.

Para calcular el Índice de Brown se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA). Esta se expresa matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Donde:

$w_i$ : Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $Sub_i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

$Sub_i$ : Subíndice del parámetro  $i$ .

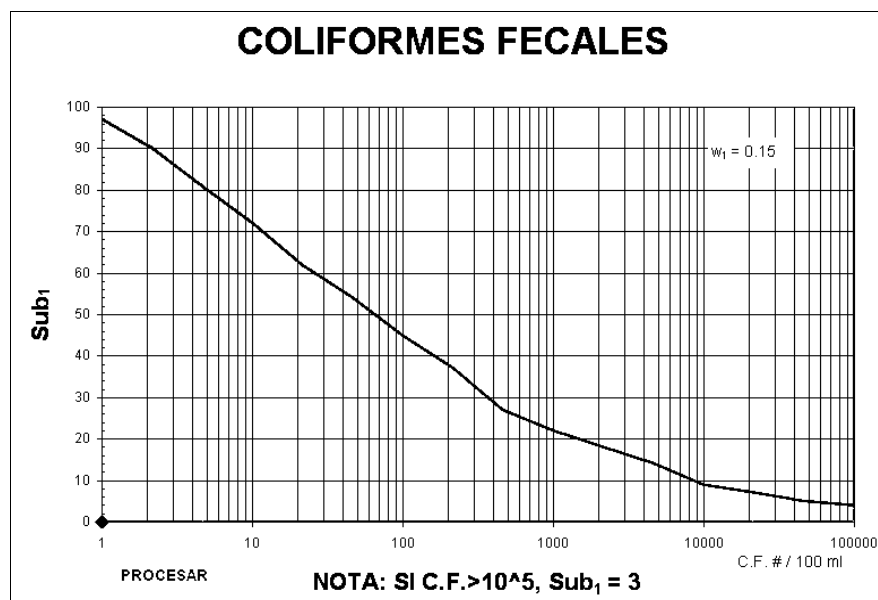
Los pesos de los diversos parámetros son:

**Tabla No. 18** Pesos relativos para cada parámetro del ICA

	<b>Sub<sub>i</sub></b>	<b>w<sub>i</sub></b>
1	Coliformes Fecales	0.15
2	PH	0.12
3	DBO <sub>5</sub>	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Los pasos a seguir para calcular los (Sub<sub>i</sub>) del Índice de Calidad de Agua son:

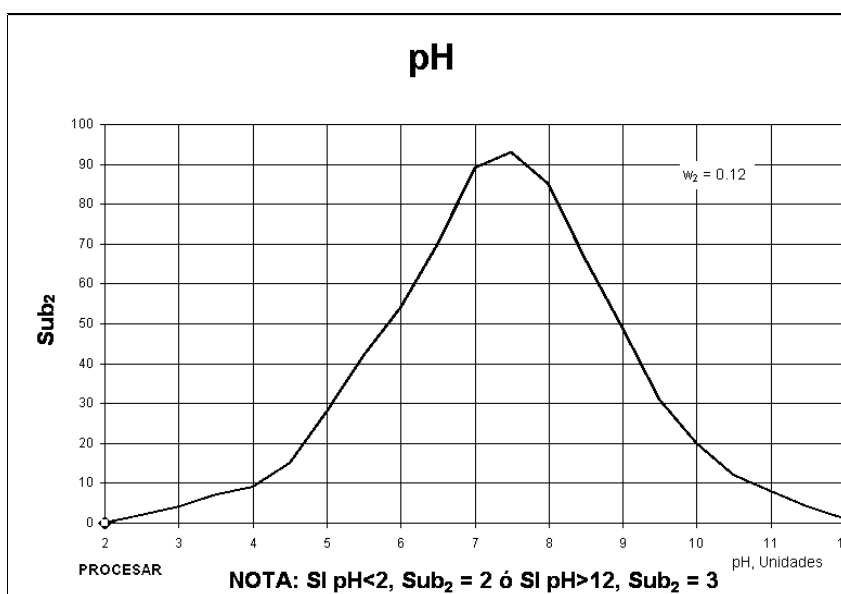
Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100,000 Bact/100 mL, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No. 12 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>1</sub>) de Coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso  $w_1$ .



**Figura No. 12** Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes fecales

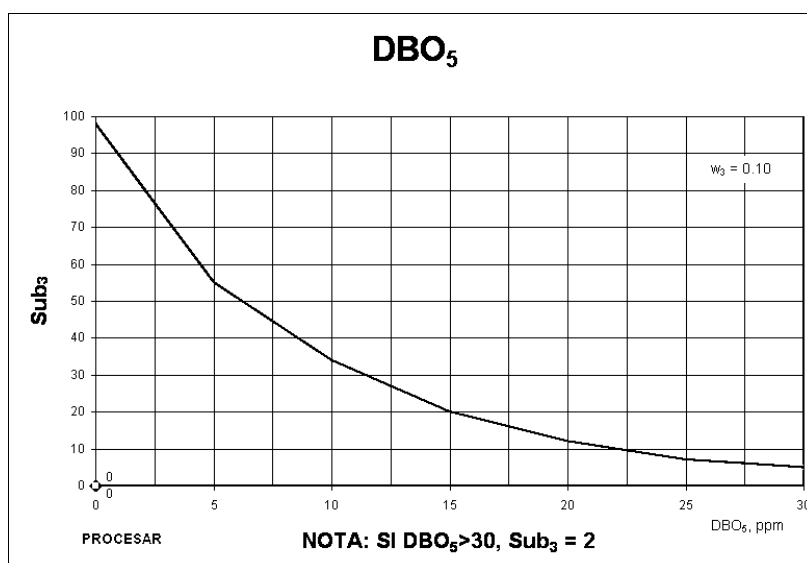
Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub<sub>2</sub>) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No. 13 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>2</sub>) de pH y se procede a elevarlo al peso  $w_2$ .





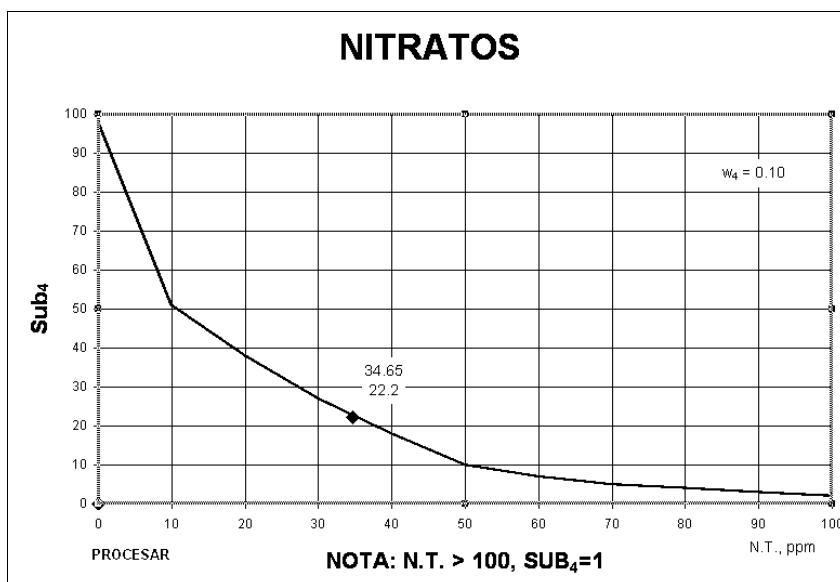
**Figura No. 13** Valoración de la calidad de agua en función del pH

Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2. Si la DBO<sub>5</sub> es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No. 14 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>3</sub>) de DBO<sub>5</sub> y se procede a elevarlo al peso  $w_3$ .



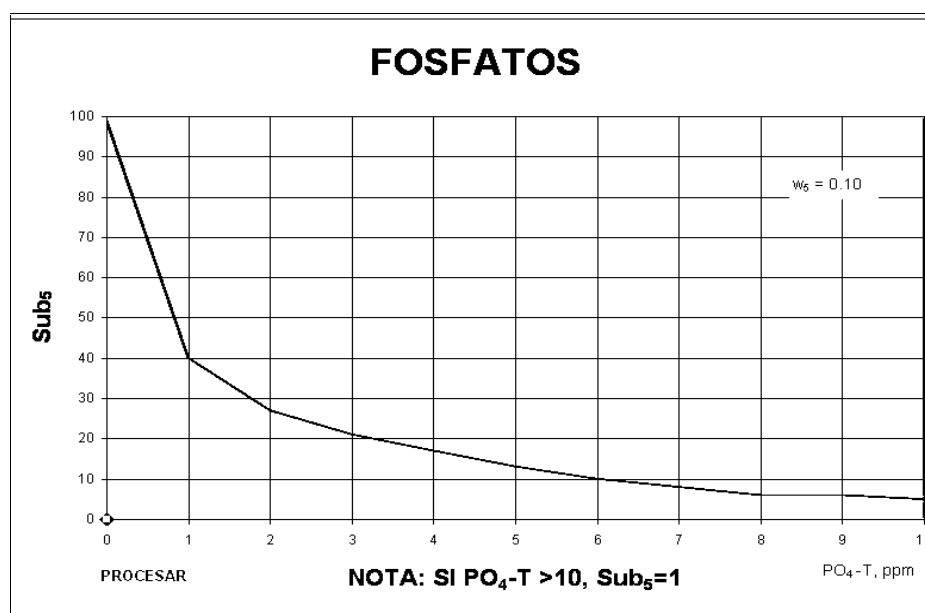
**Figura No. 14** Valoración de la calidad de agua en función de la DBO<sub>5</sub>

Si Nitrógeno de Nitratos es mayor de 100 mg/L el ( $Sub_4$ ) es igual a 2. Si Nitrógeno de Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No.15 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_4$ ) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_4$ .



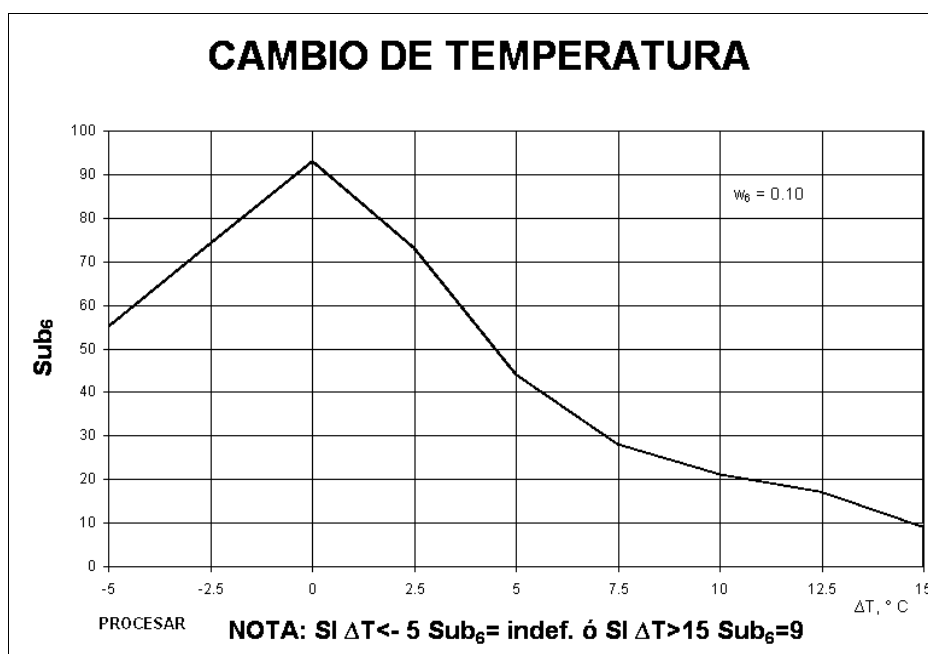
**Figura No. 15** Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el ( $Sub_5$ ) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No. 16 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_5$ ) y se procede a elevarlo al peso  $w_5$ .



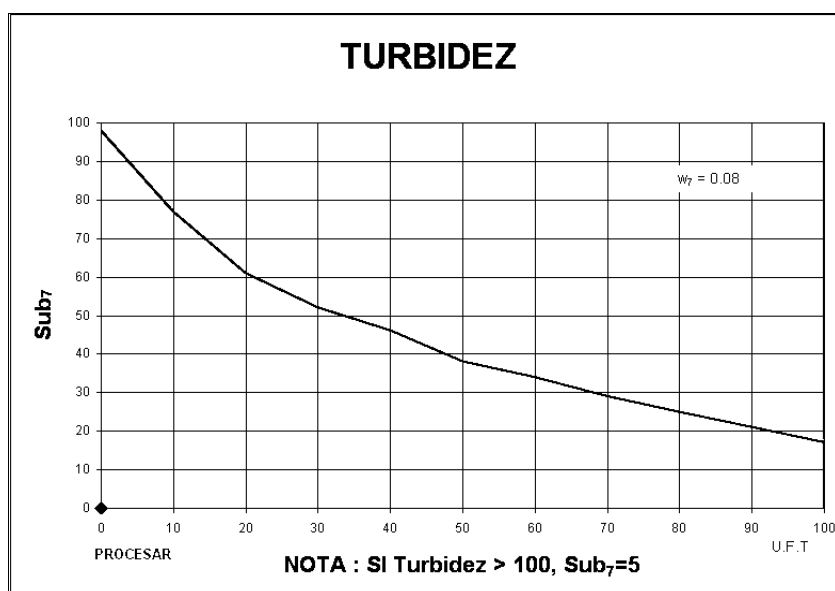
**Figura No. 16** Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo

Para el parámetro de Temperatura ( $Sub_5$ ) primero hay que calcular la diferencia entre la  $T^\circ_{\text{ambiente}}$  y la  $T^\circ_{\text{Muestra}}$  y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de  $15^\circ C$  el ( $Sub_5$ ) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de  $15^\circ C$ , buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No.17 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_6$ ) de Temperatura y se procede a elevarlo al peso  $w_6$ .



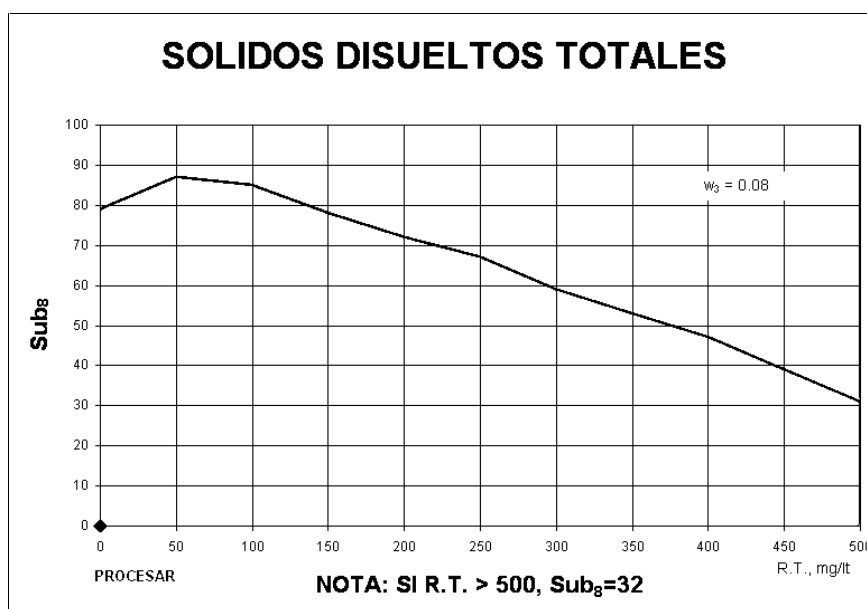
**Figura No. 17** Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura

Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de (X) de la Figura No. 18, en la se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>7</sub>) de Turbidez y se procede a elevarlo al peso  $w_7$ .



**Figura No. 18** Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez

Si los Sólidos Disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No.19 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>8</sub>) de Residuo Total y se procede a elevarlo al peso  $w_8$ .



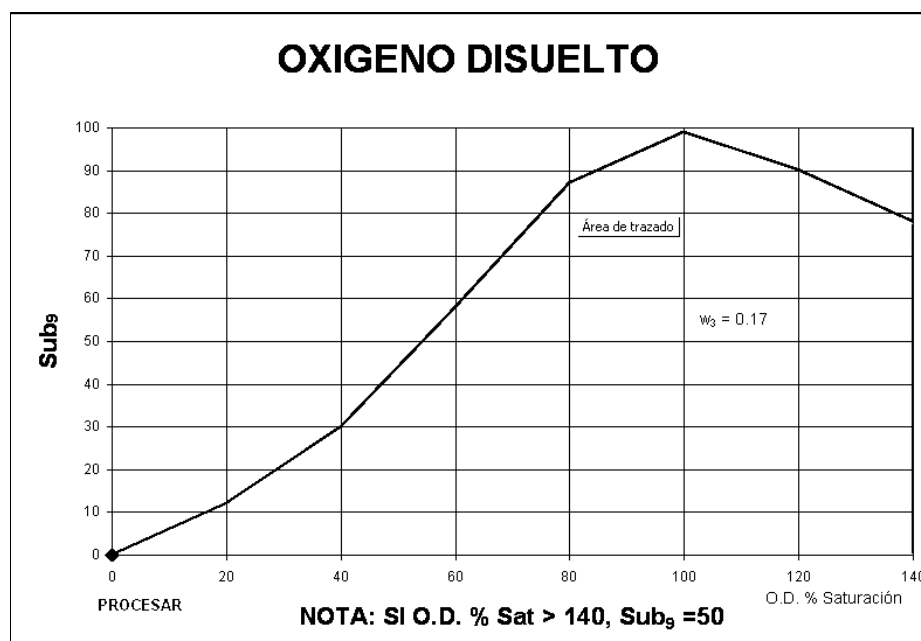
**Figura No. 19** Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto hay que identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua (Tabla No.19).

**Tabla No. 19.** Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce

Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la Figura No. 20 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>9</sub>) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso  $w_9$ .



**Figura No. 20** Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del Oxígeno disuelto

Los datos obtenidos se incorporan en la Tabla No.20, para obtener el valor del ICA en el punto de muestreo evaluado.

**Tabla No. 20.** Hoja para el calculo del ICA

PARAMETRO	VALOR	UNIDADES	Sub i	wi	Total
1 Coliformes Fecales		NMP/100 mL		0.15	
2 pH		Unidades de pH		0.12	
3 DBO5		mg/L		0.10	
4 Nitratos		mg/L		0.10	
5 Fosfatos		mg/L		0.10	
6 Cambio de la Temperatura		°C		0.10	
7 Turbidez		UNT		0.08	
8 Solidos Totales Disueltos		mg/L		0.08	
9 Oxigeno Disuelto		% de Saturación		0.17	
Valor del ICA (Sumatoria Total)					

#### 4.5.2.5 Agua apta para el contacto humano

Las aguas naturales para ser adecuadas al contacto humano debe de presentar ciertas características como baja cantidad de recuentos microbiológicos y alto porcentaje de saturación de oxígeno principalmente; por otro lado, es deseable en menor medida la ausencia de aceites y grasas y otros caracteres organolépticos (olor, sabor, etc.).

El presente listado de parámetros servirá para evaluar la calidad de agua superficial y su aptitud de uso para el contacto humano.

**Tabla No. 21** Límites permisibles de Calidad de Agua para Contacto Humano

PARAMETRO	RANGO DE VALOR
Coliformes fecales	Menor o Igual a 1000 UFC por 100ml
Oxígeno Disuelto	Mayor o Igual a 7 mg/L
Turbidez	Menor o Igual a 10 UNT



## **V. RESULTADOS BALANCE HIDRICO**

A continuación se presentan los resultados de los parámetros del Componente de Evaluación de Recursos Hídricos, del Balance Hídrico en su componente de cantidad de agua.

### **5.1 RESULTADOS**

#### **5.1.1 Análisis de Precipitación**

En el Anexo No. 3 se presentan los mapas de Isoyetas mensuales y anual, en los cuales se puede observar la distribución espacial y temporal de la precipitación en el país.

La precipitación media del país es de 1784 mm/año, la cual se distribuye en forma irregular tanto espacial como temporalmente. A nivel temporal se distinguen dos épocas climáticas bien diferenciadas, la época seca que abarca los meses de noviembre a abril y la época de lluvias de mayo a octubre. A nivel espacial también se observan diferencias en cuanto a la distribución de la lluvia, debido a los factores orográficos y climáticos que las originan.

A nivel promedio, en el mes de noviembre, primer mes de la época seca, por ser un mes de transición entre las dos épocas, se presentan precipitaciones del orden de 40 a 50 mm en la cordillera norte fronteriza con Honduras y en la zona costera de la Libertad; las menores cantidades de lluvia que se presentan en forma aislada se dan en la zona oriental del país, y en la zona de Metapán. A medida que avanza la época seca, las precipitaciones se presentan en forma mas aislada y casi mínimas, menores de 5 mm mensuales y en la mayoría del tiempo no se presenta ningún tipo de lluvias, excepto en la zona norte donde se registran lluvias hasta del orden de 20 a 30 mm, en los meses de diciembre, enero y febrero.

Para los meses de marzo y abril, se presentan algunas primeras lluvias que marcan la transición de la época seca a la época lluviosa. Las cantidades de lluvia son del orden de los 20 a 30 mm en la franja norte, y de 10 a 20 mm en la franja central y costera occidental, incrementándose para el mes de abril a cantidades de 20 y 30 mm hasta 40 y 50 mm en forma mas generalizada.

En los meses de la época lluviosa que comienza en mayo, se destacan como zonas de pluviosidad alta las zonas de mayor elevación orográfica: la cordillera norte fronteriza, la cadena volcánica, la cadena costera en las sierras de Tacuba, el Bálsamo y Jucuarán. Las zonas que registran menores rangos de precipitación se encuentran en la parte baja de la región hidrográfica de San Miguel, y en la región hidrográfica de Sirama, al igual que la zona de Metapán.

El mes mas lluvioso a nivel general de país, es el mes de septiembre, seguido por el mes de junio. Las precipitaciones en septiembre oscilan entre los 350 y 500 mm en las zonas de alta pluviosidad, y de 200 a 350 mm en las de menor pluviosidad.

En los meses de julio y agosto se presenta una reducción en las lluvias, denominada canícula, con mayor reducción en la zona oriental y nor occidental del país.

A nivel anual se registran lluvias superiores a los 2000 mm en las zonas altas de la cordillera norte, la cadena volcánica, y la cadena costera. Lluvias del orden de 1500 a 1900 mm en los valles interiores o Depresión Central, y de 1300 a 1500 mm en la zona sur oriental y nor occidental del país.

En cuanto la distribución de las lluvias por región hidrográfica, las regiones que presentan las menores cantidades de lluvia anual, son las regiones de Sirama (1590 mm), Grande de San Miguel (1689 mm) y Paz (1374); es de mencionar que en la región hidrográfica del río Paz, solo se contó con 3 estaciones en la parte de Guatemala, sin embargo sus registros de lluvia son bajos. Las regiones que presentan mayores cantidades de precipitación anual son Goascorán (1909 mm) especialmente por las lluvias en Honduras, Mandinga – Comalapa (1908 mm), Grande de Sonsonate (1893 mm), Cara Sucia – San Pedro (1852 mm) y Lempa (1830 mm). Los resultados de cada una de las regiones hidrográficas para cada uno de los parámetros del Ciclo Hidrológico en el período analizado, se pueden observar en las Tablas Nos 22 y 23 para las diferentes regiones hidrográficas. En las Tablas 24, 25 y 26 se encuentran diferenciadas por cuencas hidrográficas.

### **5.1.2 Análisis de la Evapotranspiración**

En el Anexo No. 4, se presentan los mapas de las líneas de evapotranspiración de referencia en el país, de promedio anual y mensual, así como el mapa de Evapotranspiración Real anual.

Los mapas de Evapotranspiración de Referencia, reflejan la incidencia de las condiciones climáticas en cuanto a las perdidas de agua potenciales que se tendrían en el país, mientras que el mapa de Evapotranspiración Real, refleja las perdidas reales dadas tanto por las condiciones climáticas, como por los usos del suelo y las características de retención de agua de los mismos.

#### **5.1.2.1 Evapotranspiración de Referencia**

En cuanto a la Evapotranspiración de Referencia, se observa que no existe una diferenciación tan marcada en las variaciones de los rangos a nivel mensual como en el caso de la precipitación. Sin embargo, se observa que a nivel temporal, se presenta la mayor incidencia de perdidas de agua potenciales en el mes de abril seguido por el mes de marzo, en donde se registra una evapotranspiración del orden de 180 a 200 mm en la zona oriental, la zona sur occidental, nor occidental; mientras las zonas que presentan menores

valores son las zonas ubicadas en altura, como las cadenas volcánicas, y la cordillera norte. El mes donde se registran las menores pérdidas potenciales es el mes de diciembre, donde fluctúa entre valores de 120 a 140 mm en la mayor parte del país, con valores menores de 80 a 100 en las zonas de relieve alto.

A nivel anual, los valores de Evapotranspiración de Referencia fluctúan entre los 1250 y 1550 mm en las zonas de orografía alta, y valores mayores entre 1750 y 2050 mm en las zonas bajas de oriente, sur occidente, nor occidente y la zona costera del país.

### **5.1.2.2 Evapotranspiración Real**

La Evapotranspiración Real, depende de las condiciones de uso del suelo, de la disponibilidad de agua dada por la precipitación y la capacidad de retención de agua del suelo, así como de las condiciones climáticas, estas últimas reflejadas en la Evapotranspiración de Referencia.

En el mapa de Evapotranspiración Real, presentado en el Anexo No. 4, se observa como tienen una gran incidencia las zonas donde existen cultivos de café, principalmente en la cordillera volcánica y la Cordillera del Bálsamo, así como en los alrededores del Lago de Coatepeque, y Sierras de Apaneca - Ilamatepeque, y Tacuba, y los volcanes de San Vicente y San Miguel, donde se presentan los valores más bajos de Evapotranspiración Real del orden de los 800 a 900 mm.

Por otra parte, en la región de la Cordillera Norte, fronteriza con Guatemala, la Evapotranspiración Real, se encuentra en el rango de los 900 a los 1000 mm, debido al tipo de vegetación de la zona, que aunque son bosques, son de la especie de coníferas, los cuales presentan una alta pérdida de agua, además de los pastos existentes en la zona.

Los valores más altos de la Evapotranspiración Real se presentan en la región oriental del país, donde se conjugan varios factores: es la zona con menor precipitación, mayor Evapotranspiración de Referencia, y en la cobertura vegetal predominan los pastos y cultivos básicos.

El valor de la Evapotranspiración anual del país, es de 1010 mm, siendo las regiones hidrográficas con mayor pérdida las de Goascorán (1037 mm), Lempa (1029 mm) y Paz (1007 mm). La región hidrográfica que presenta menores valores de Evapotranspiración Real es Grande de Sonsonate – Banderas (926 mm).

### **5.1.2.3 Evaporación en cuerpos de agua**

Las mayores pérdidas por evaporación en cuerpos de agua, se dan en la región hidrográfica de Jiboa – Estero de Jaltepeque (108 mm) debido a que en esta región se encuentra ubicado el Lago de Ilopango, el cual tiene una alta pérdida de agua. También

son altas las pérdidas por evaporación en la Bahía de Jiquilisco (76 mm) por las zonas acuícolas y de mangle, y la región del río Grande de San Miguel (30.79 mm) por las lagunas de Olomega y el Jocotal; en el caso del río Lempa se incrementa la evaporación (29.47 mm) por los embalses de generación hidroeléctrica.

### **5.1.3 Análisis de Escorrentía**

En las Figuras de la 21 a la 27, se presentan las gráficas de escorrentía registradas en las estaciones hidrométricas de la red histórica del país, expresadas en unidades de milímetros. Las gráficas han sido colocadas en la misma escala para observar las diferencias de escorrentía en diferentes cuencas, tanto a nivel espacial como temporal, y se han agrupado de acuerdo a un comportamiento hidrológico similar.

Con base en esta información, se trazó el mapa de Escorrentía Superficiales que se presenta en el Anexo 5 donde se observa la variación espacial de la escorrentía superficial.

Se identifican diferentes respuestas hídricas de las cuencas a nivel del territorio nacional:

En las cuencas de los ríos Grande de Chalatenango, Sumpul, Tamulasco y Osicala, localizadas en la zona norte del país, se evidencia un comportamiento particular en comparación del resto dado la alta tasa de escurrimiento superficial en la época de lluvias (Figura No. 21). De la misma manera son estas cuencas las presentan una escorrentía baja en los meses de época seca, producto de una gran disminución de su caudal base que refleja la poca capacidad de regulación hídrica de estas cuencas. Lo anterior es debido a la conjugación de factores orográficos, tipos de suelo, características geológicas y cobertura vegetal existentes en las mismas.

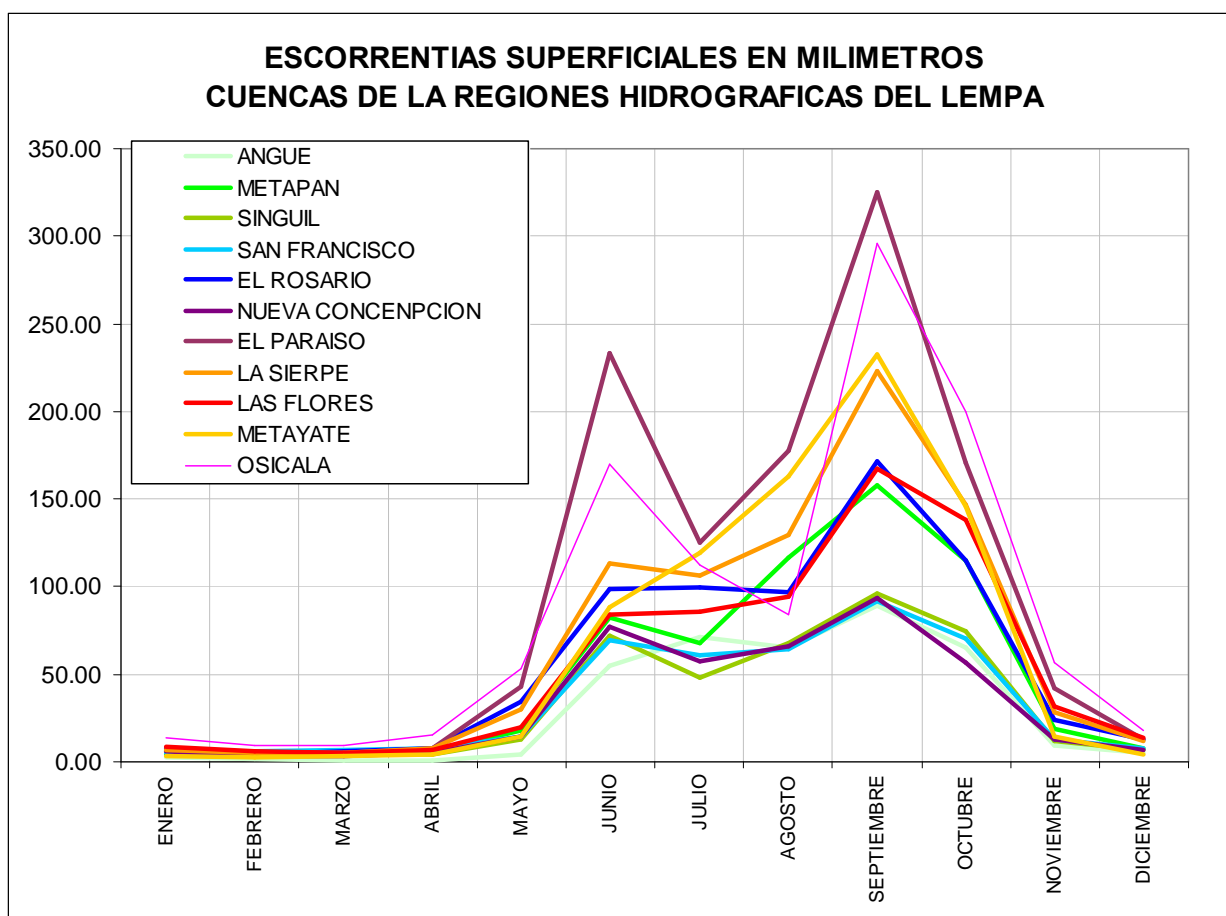
En las subcuencas de los ríos Sucio y Suquiapa (Figura No. 22) de la Cuenca del río Lempa, se observa como la respuesta hídrica presenta una mayor y mejor regulación que las demás cuencas del país. La escorrentía entre los meses de la época de lluvias y los de la época seca, presentan un menor rango de diferencia, registrando un caudal base mayor durante esta última. Estos caudales base altos, además de indicar la alta capacidad de regulación de estas cuenca, indican trasvases subterráneos que se dan dentro de las cuencas hidrogeológicas con un flujo desde la cuenca del Lago de Coatepeque hacia dichas cuencas. En la cuenca del río Acelhuate, la distribución de las escorrentías se encuentran afectadas por las descargas de aguas residuales (trasvasadas de la Cuenca del Río Sucio) que se realizan directamente al curso del río.

En las cuencas de las regiones hidrográficas de los ríos Paz, Cara Sucia y Grande de Sonsonate, se observa una regulación hídrica de moderada a alta, con caudales base menores que los de las cuencas de los ríos Sucio y Suquiapa en forma general, excepto las cuencas de los ríos Grande Sonsonate y San Pedro (estaciones Sensunapán y Atalaya de la Figura No. 23), donde se registran escurrimientos mayores que en las cuencas vecinas tanto en la época de lluvias como en la época seca. Estos flujos mayores en estas dos

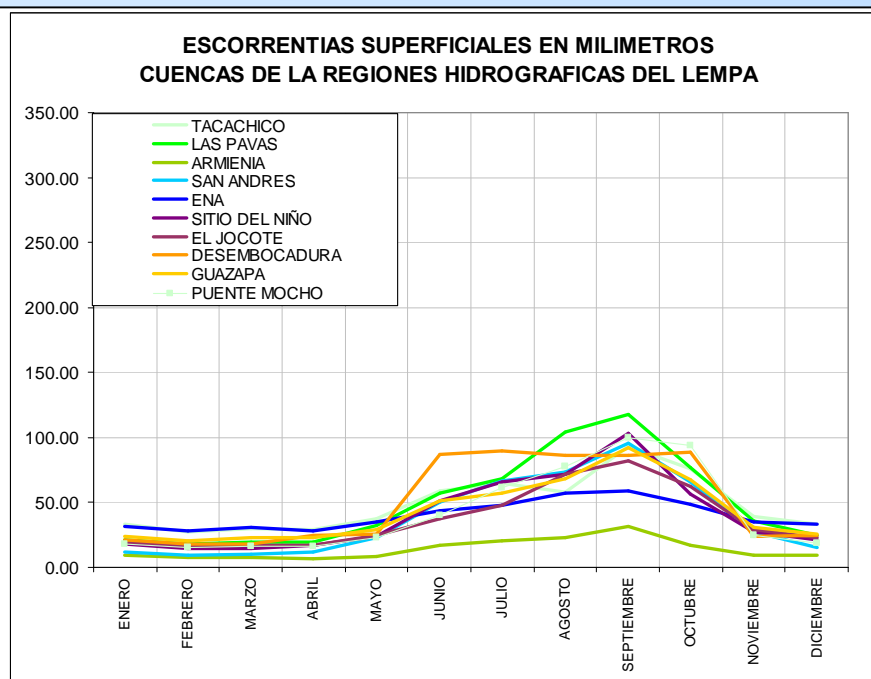
cuencas, evidencian un flujo subsuperficial generado de la recarga originada en la cadena volcánica.

Los ríos de las regiones hidrográficas de Mandinga – Comalapa y Jiboa –Estero de Jaltepeque presentan caudales base bajos en la época seca, con un incremento fuerte en la época de lluvias, lo refleja la respuesta rápida de estas cuencas a la precipitación, y su baja capacidad de regulación hídrica (Figura No. 26).

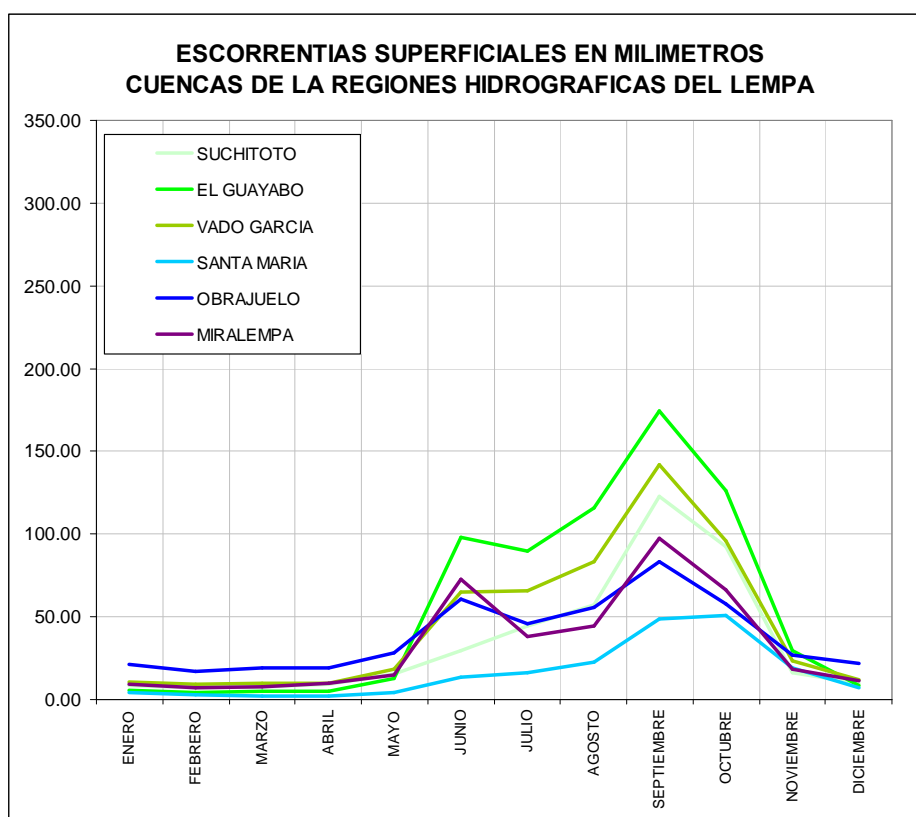
Las cuencas de los ríos Grande de San Miguel, Sirama y Goascorán, presentan caudales base más bajos que las regiones de Mandinga – Comalapa y Jiboa – Estero de Jaltepeque, y una reducción fuerte de las escorrentías en la canícula, además presentan respuesta rápida a las precipitaciones de los últimos meses de la época de lluvias (Figura No. 27).



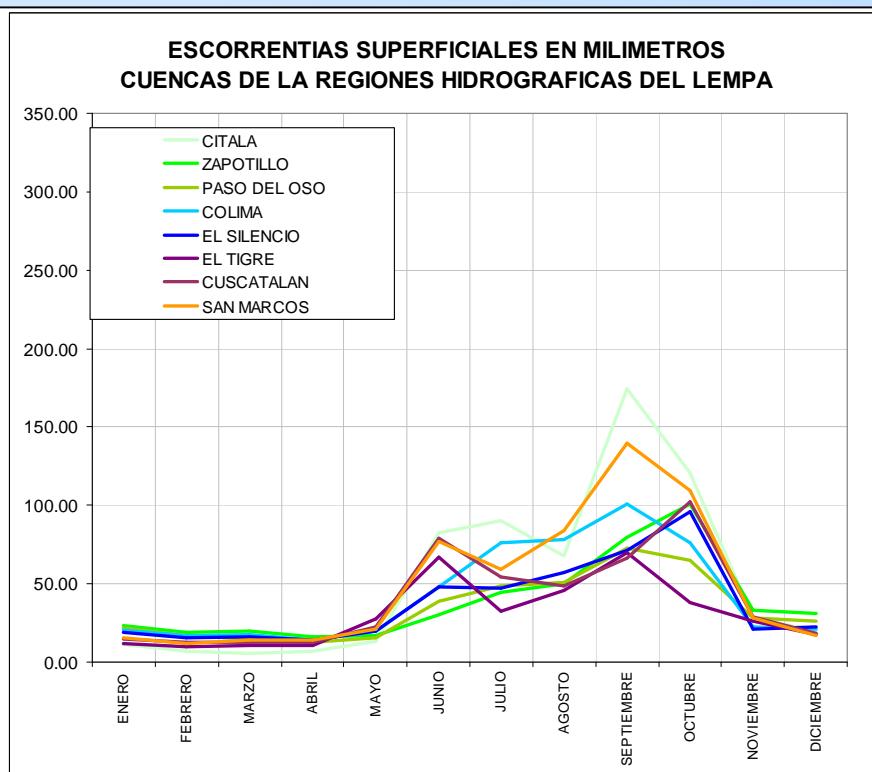
**Figura No. 21.** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de la región hidrográfica A – cuencas de los ríos Angue, Metapán, Guajoyo, Tahuilapa, Mojaflres, Metayate, Grande de Chalatenango, Sumpul, Torola.



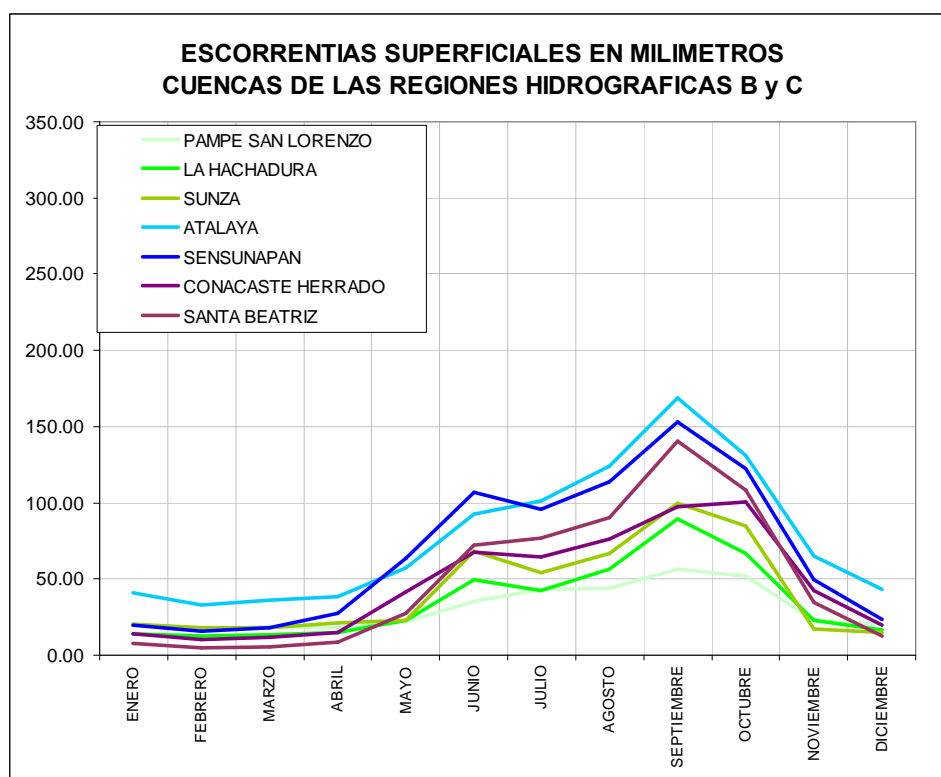
**Figura No. 22** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de las región hidrográfica A – cuencas de los ríos Sucio, Suquiapa, Acelhuate.



**Figura No. 23** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de las región hidrográfica A – cuencas de los ríos Quezalapa, Titihuapa, Obrajuelo, Jiotique.

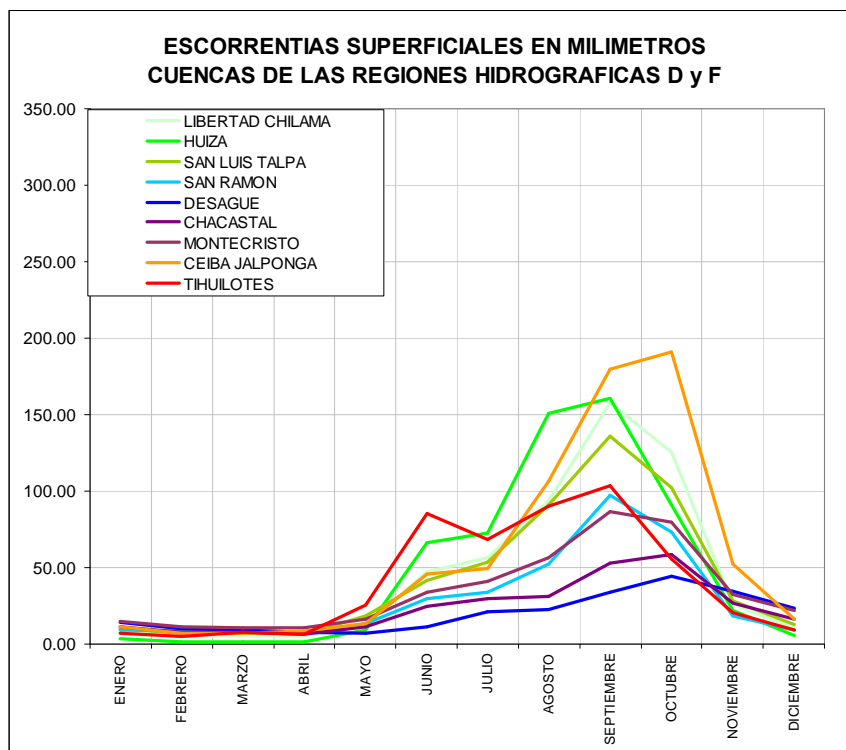


**Figura No. 24.** Escorrentía Superficial registradas sobre el curso del río Lempa .

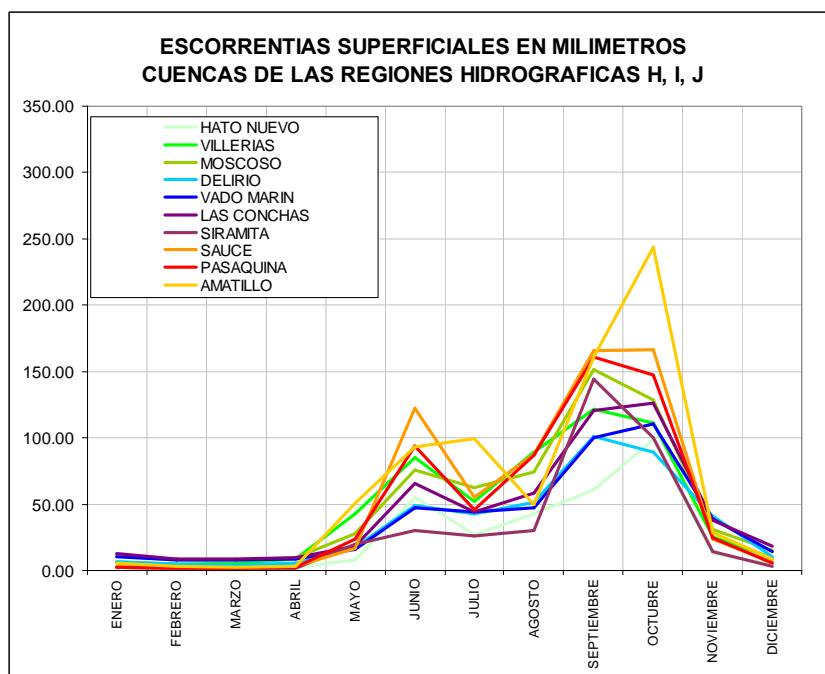


**Figura No. 25.** Escorrentía Superficial registrada en cuencas de las regiones hidrográficas B y C.





**Figura No. 26.** Escorrentía Superficial registradas en cuencas de las regiones hidrográficas D y F.



**Figura No. 27.** Escorrentía Superficial registradas en cuencas de las regiones hidrográficas H, I y J.

En referencia a los valores anuales de escorrentía por región hidrográfica, las que presentan mayores valores como lamina de agua, son las de Goascorán (747 mm), Grande de Sonsonate – Banderas (639 mm), Lempa (590 mm); las de menor escorrentía son Paz (420 mm), Bahía de Jiquilisco (437 mm) y Jiboa – Estero de Jaltepeque (477 mm).

#### 5.1.4 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

En las Tablas Nos. 22 y 23 se presentan los datos de Cambios de Almacenamiento producto de la aplicación de la ecuación de conservación de masa en cada región hidrográfica. Como el análisis se ha realizado a nivel de cuencas hidrográficas, se tiene en cuenta el área total de las cuencas transfronterizas de los ríos Lempa, Paz y Goascorán.

Los resultados de la evaluación del recurso hídrico de cada una de las cuencas que hacen parte de cada región hidrográfica, se presentan en las Tablas Nos. 23, 24 , 25 y 26.

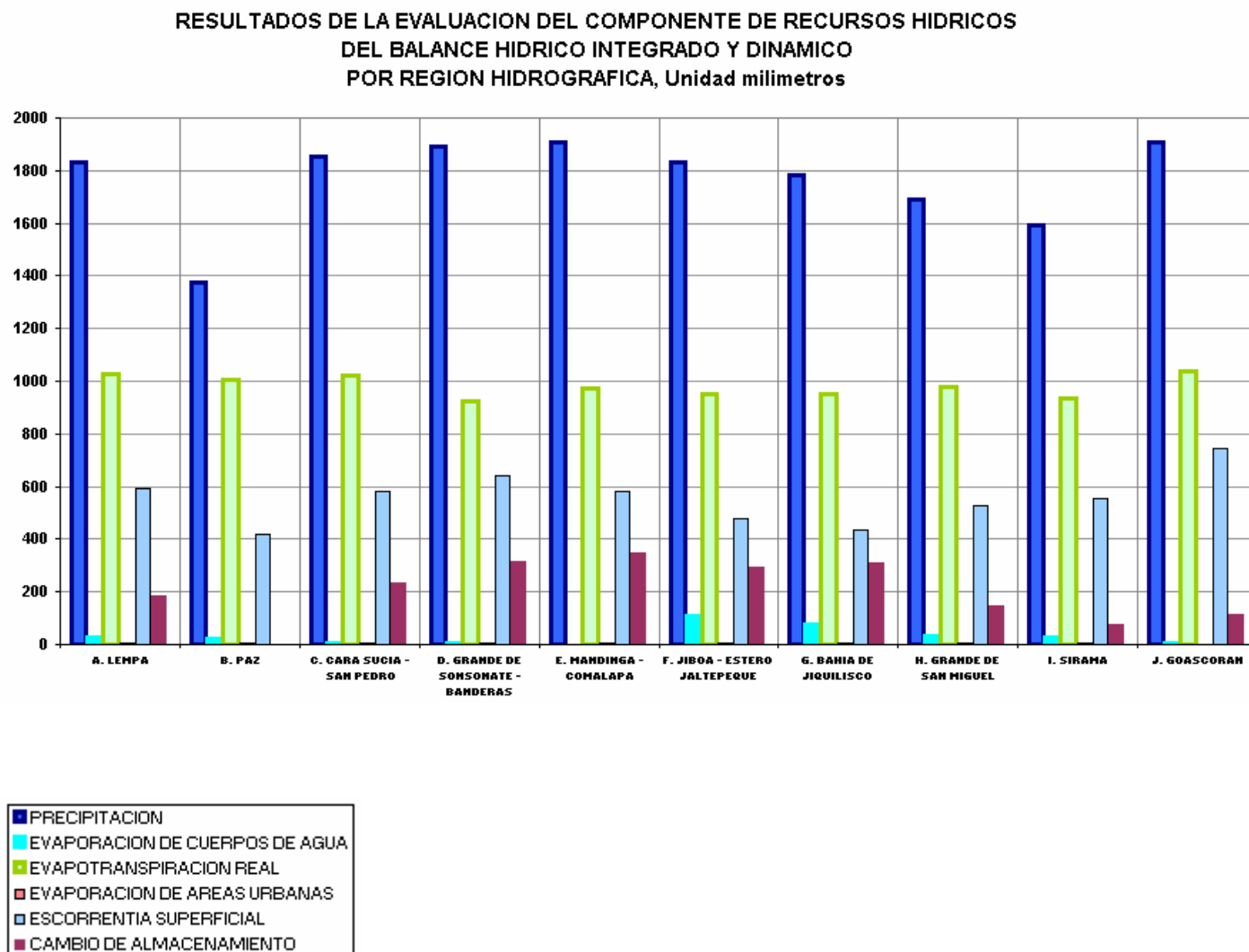
**Tabla No. 22.** Evaluación de Recursos Hídricos por Región Hidrográfica en milímetros (mm).

REGION HIDROGRAFICA	AREA (Km2)	PRECIPITACION	EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACION REAL	EVAPORACION DE AREAS URBANAS	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO
A. LEMPA	17,978.51	1,830.22	29.47	1,029.60	4.08	589.79	183.48
B. PAZ	2,633.02	1,373.56	21.28	1,007.34	3.96	419.56	-78.58
C. CARA SUCIA - SAN PEDRO	769.16	1,852.31	7.24	1,021.49	3.80	584.00	235.77
D. GRANDE DE SONSONATE - BANDERAS	778.43	1,892.26	2.94	926.24	7.14	638.84	317.10
E. MANDINGA - COMALAPA	1,294.22	1,908.09	1.91	972.70	4.14	582.75	346.60
F. JIBOA - ESTERO JALTEPEQUE	1,638.62	1,833.26	108.23	948.48	5.47	477.40	293.68
G. BAHIA DE JIQUILISCO	779.01	1,782.92	76.80	953.50	5.21	436.97	310.44
H. GRANDE DE SAN MIGUEL	2,389.27	1,689.91	30.79	977.48	4.64	528.44	148.56
I. SIRAMA	1,116.79	1,590.14	25.99	933.68	3.27	551.80	75.40
J. GOASCORAN	2,427.98	1,908.70	7.34	1,036.99	2.67	747.10	114.60
<b>TOTAL</b>	<b>31,805.01</b>	<b>1,783.66</b>	<b>29.99</b>	<b>1,009.95</b>	<b>4.15</b>	<b>573.00</b>	<b>170.07</b>

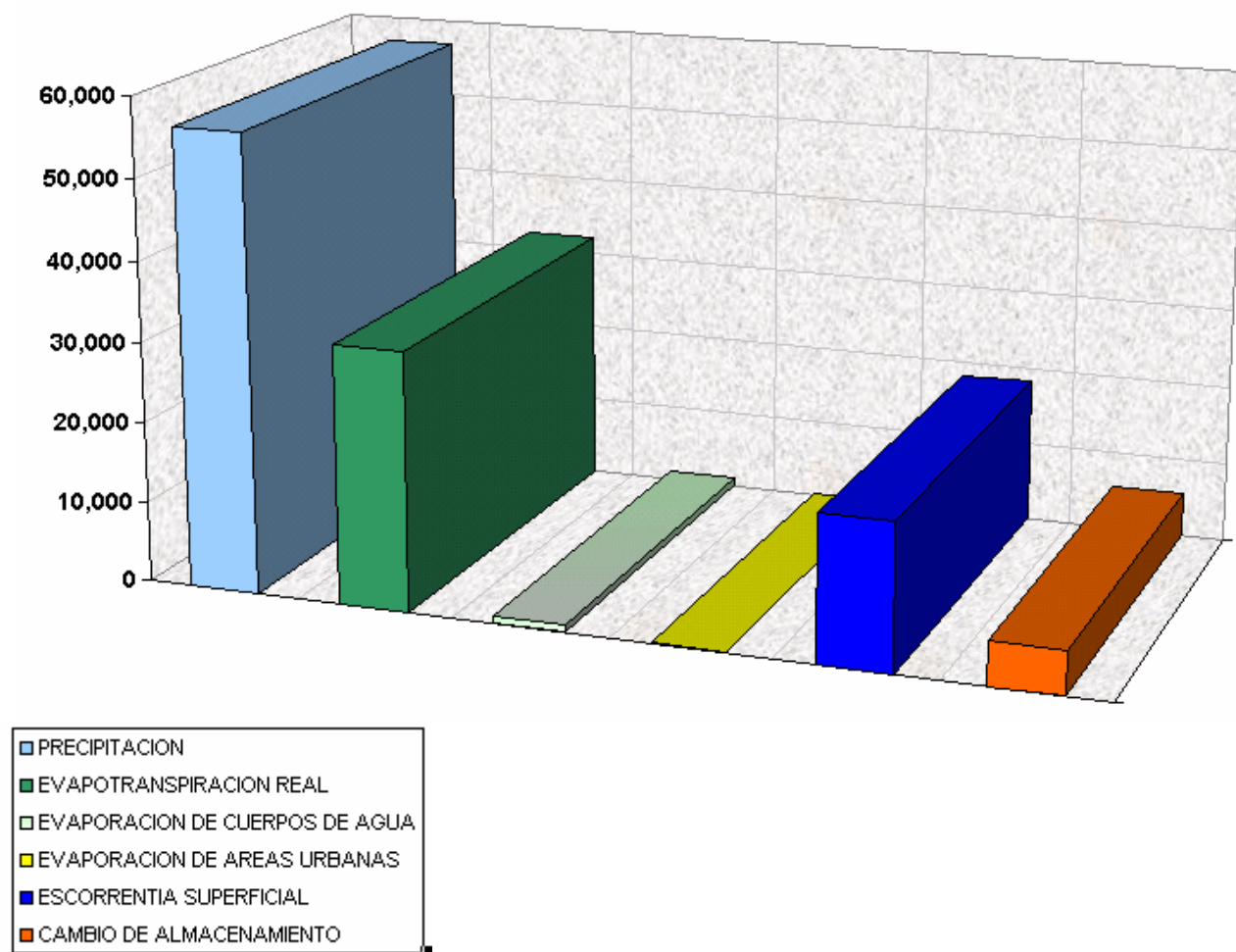
**Tabla No. 23.** Evaluación de Recursos Hídricos por Región Hidrográfica en Millones de metros cúbicos (Mm3).

REGION HIDROGRAFICA	AREA (Km2)	PRECIPITACION	EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACION REAL	EVAPORACION DE AREAS URBANAS	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO
A. LEMPA	17978.51	32483.41	528.08	18299.74	72.47	10937.19	2645.92
B. PAZ	2633.02	3616.63	56.03	2652.35	10.43	1104.72	-206.91
C. CARA SUCIA - SAN PEDRO	769.16	1424.73	5.57	785.69	2.93	449.19	181.35
D. GRANDE DE SONSONATE - BANDERAS	778.43	1472.99	2.29	721.01	5.56	497.29	246.84
E. MANDINGA - COMALAPA	1294.22	2469.48	2.47	1258.88	5.36	663.03	539.74
F. JIBOA - ESTERO JALTEPEQUE	1638.62	3004.02	177.35	1554.20	8.96	782.28	481.23
G. BAHIA DE JIQUILISCO	779.01	1388.90	59.83	742.78	4.05	340.40	241.84
H. GRANDE DE SAN MIGUEL	2389.27	3782.03	68.91	2187.60	10.39	1182.65	332.47
I. SIRAMA	1116.79	1775.84	29.02	1042.72	3.66	481.18	219.27
J. GOASCORAN	2427.98	4634.28	17.82	2517.78	6.49	1813.94	278.24
<b>TOTAL</b>	<b>31805.01</b>	<b>56052.31</b>	<b>947.37</b>	<b>31762.78</b>	<b>130.29</b>	<b>18251.89</b>	<b>4959.98</b>

En la Figura No. 28 se presentan los resultados en cada una de las regiones hidrográficas, en unidades de milímetros y en la Figura No. 29 los resultados de país en Millones de metros cúbicos (Mm3).



**Figura No. 28.** Resultados de la evaluación del componente de recursos hídricos del Balance Hídrico Integrado y Dinámico por región hidrográfica, unidad milímetros.



**Figura No. 29.** Resultados de la evaluación del componente de recursos hídricos del Balance Hídrico Integrado y Dinámico del país, unidad Millones de metros cúbicos.

A nivel de todas las cuencas que drenan en el país, se presenta un volumen de 56,052.31  $\text{Mm}^3$  de agua que cae en forma de lluvia, de las cuales, 947.37  $\text{Mm}^3$  (1.69%) representan la evaporación de cuerpos de agua; 31,762.78  $\text{Mm}^3$  (56.67%) se pierden por Evapotranspiración real; 130.29  $\text{Mm}^3$  (0.23%) por evaporación en áreas urbanas; 18,251.89  $\text{Mm}^3$  (32.56%) por escorrentía superficial y 4,959.98  $\text{Mm}^3$  (8.85%) representa el cambio de almacenamiento a nivel promedio.

El cambio de almacenamiento representa el flujo subsuperficial que se genera en las cuencas, la recarga a los acuíferos y las variaciones de los cuerpos de agua.

Los valores negativos en los cambios de almacenamiento que se dan en algunas cuencas, indican, que ellas no generan un excedente por si solas; sin embargo, eso no significa que

no exista agua subterránea en ella, lo que significa, es que puede existir un trasvase subterráneo desde otra cuenca que este aportando a la cantidad de agua de que dispone la cuenca.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos, son promedios anuales de un periodo de 30 años, por lo que los valores individuales de cada año pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas que se presenten. En años donde se presente el fenómeno El Niño, o sequías, estos cambios de almacenamiento, serán mucho menores a los datos obtenidos como promedio.

En el Anexo No. 5, se presenta el mapa de Cambio de Almacenamiento en milímetros. En dicho mapa, se distingue como las zonas de mayor cambio de almacenamiento, las que se encuentran al alrededor del Lago de Coatepeque y el volcán de Santa Ana, con valores que varían de 400 a 700 mm; el volcán de San Salvador entre 400 y 600 mm; la parte central y sur de la cuenca del río Sucio entre 300 y 500 mm, los volcanes de San Vicente, San miguel, con 400 y 500 mm y Bahía de Jiquilisco alrededor de 300 mm. Las zonas de menor cambio de almacenamiento corresponden a las cuencas de la región hidrográficas de Sirama, parte baja de la cuenca del Goascorán, zona de Metapán, y la parte baja de la cuenca del río Paz.

Los valores expresados en unidad de volumen de Millones de metros cubicos en las Tablas de la 22 a la 24 han sido calculados con base en las áreas de las cuencas hidrográficas, sin embargo, para tener datos mas precisos es necesario contar con análisis hidrogeológico, ya que las cuencas hidrogeológicas pueden variar.

El análisis hidrogeológico continuara dentro del proceso de evaluación del Balance Hídrico Nacional, con el monitoreo, investigación y evaluación de las aguas subterráneas del país.

**Tabla No. 24.** Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de la Región Hidrográfica Lempa, en Millones de metros cúbicos (Mm3).

REGION HIDROGRAFICA	CUENCA	AREA (Km2)	PRECIPITACION	EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACION REAL	EVAPORACION DE AREAS URBANAS	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	RECARGA DE ACUIFERO
LEMPA	ACAHUAPA	239.24	421.22	1.72	210.94	0.90	99.20	108.46
	ACELHUATE	717.35	1232.34	1.54	608.66	21.93	371.28	228.93
	ACHICHILCO	17.46	33.43	1.24	18.83	0.00	7.78	5.58
	AGUA CALIENTE	9.61	21.25	0.00	10.64	0.00	6.31	4.29
	ALTINA 1	13.80	26.02	0.01	15.86	0.06	8.24	1.85
	ALTINA 2	32.47	62.03	0.00	31.76	0.00	20.91	9.36
	AMAYO 1	22.51	39.05	0.00	23.53	0.00	11.37	4.14
	AMAYO 2	22.19	34.99	0.02	21.83	0.00	10.11	3.03
	ANGUE	620.29	969.91	3.46	674.30	1.55	286.56	4.04
	ASESECO	42.53	78.30	0.00	45.47	0.15	18.28	14.40
	ATESCATEMPA	121.45	164.45	0.00	135.11	0.28	46.08	-17.02
	ATULAPA	46.15	94.98	0.00	53.79	0.00	30.19	11.00
	AZAMBIO	72.94	153.47	1.19	81.67	0.17	48.05	22.38
	BARRANCA HONDA	25.78	40.56	1.16	28.47	0.00	11.33	-0.40
	BOQUERON	1.87	3.80	0.00	1.66	0.00	1.08	1.06
	CACIQUE	36.71	72.48	0.00	32.98	0.00	17.37	22.12
	CALLEJAS	8.77	14.36	0.11	9.04	0.00	3.42	1.80
	CAÑADA EL TRAPICHE	68.67	120.12	15.02	60.31	0.20	28.36	16.23
	CENICERA	14.36	31.95	0.00	16.01	0.00	0.00	15.94
	CHQUITO O SAN AGUSTIN	3.96	6.55	0.09	4.15	0.00	1.56	0.76
	COATEPEQUE	65.18	122.98	41.98	31.90	0.32	0.00	48.78
	CONCHAGUA	16.05	21.01	0.04	15.97	0.03	5.69	-0.72
	COPINOLAPA	288.86	556.75	0.48	278.97	0.93	187.36	89.01
	CUERPOS DE AGUA	4.57	6.07	9.22	0.00	0.00	0.00	-3.15
	CULJINICUIL	12.70	24.83	0.12	14.65	0.08	7.81	2.17
	CUSMAPA	132.89	180.91	0.12	143.73	0.47	49.90	-13.32
	CUTUMAYO	27.78	49.71	0.00	26.24	0.05	11.62	11.80
	DE MASALA	27.38	58.62	0.36	28.08	0.03	16.86	13.28
	DE PLATA	5.54	9.01	0.33	5.45	0.00	2.14	1.09
	DE TIANO	25.47	56.92	0.53	25.99	0.08	23.47	6.85
	DE TULAS O LA LABOROTA O TACUAZIN	65.16	144.61	0.00	70.50	0.00	0.00	74.11
	DE ZACUAPA	31.80	56.08	0.46	34.21	0.13	17.55	3.73
	DEL PUEBLO 1	4.28	8.42	0.12	5.06	0.02	2.69	0.52
	DEL PUEBLO 2	39.84	83.20	0.02	46.83	0.00	27.97	8.38
	DEL RODEO	41.23	81.05	0.00	46.89	0.00	25.24	8.92
	DON GASPAR	46.80	77.52	0.77	48.68	0.05	22.98	5.04
	EL AMATILLO	16.63	33.95	0.02	20.10	0.00	10.84	2.98
	EL CHORRO	13.79	26.22	0.27	13.95	0.00	6.21	5.79
	EL COCHO	17.15	26.71	0.18	16.49	0.01	6.20	3.83
	EL COYOLITO	16.98	23.53	1.28	18.22	0.00	6.38	-2.35
	EL GACHO	33.78	63.14	5.71	33.31	0.13	14.84	9.16
	EL HERBIDERO	1.66	2.95	0.07	1.68	0.00	0.68	0.53
	EL JICARO	11.47	18.49	0.32	10.99	0.00	4.41	2.78
	EL LIMON	0.48	0.90	0.00	0.56	0.00	0.28	0.06
	EL MANZANO	8.38	14.93	0.00	9.74	0.03	3.49	1.68
	EL OBRAJE	3.03	5.40	0.00	3.23	0.00	1.25	0.93
	EL PALMO	21.43	30.48	0.61	23.32	0.01	8.34	-1.80
	EL PITAL	9.13	14.87	0.01	9.39	0.00	4.13	1.34
	EL POLCHO	14.84	32.17	0.00	15.93	0.00	9.60	6.64
	EL POTRERO 1	37.12	74.78	0.00	40.74	0.44	25.36	8.23
	EL POTRERO 2	17.23	27.84	0.04	15.93	0.12	6.32	5.43
	EL SALAMAR	9.63	16.94	0.98	8.83	0.00	3.94	3.19

**Continuación Tabla No. 24.** Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de la Región Hidrográfica Lempa, en Millones de metros cúbicos (Mm3).

REGION HIDROGRAFICA	CUENCA	AREA (Km2)	PRECIPITACION	EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACION REAL	EVAPORACION DE AREAS URBANAS	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	RECARGA DE ACUIFERO
LEMPA	EL SAUTRE	22.53	48.93	0.00	22.82	0.00	14.97	11.14
	EL SITIO	29.66	56.60	2.35	25.65	0.00	13.35	15.25
	EL TEJAR	9.55	17.35	0.14	11.00	0.00	4.04	2.17
	EL TULAR	54.24	85.95	3.39	61.66	0.00	27.36	-6.46
	EL ZAPOTAL	30.16	61.84	1.63	33.82	0.00	18.70	7.70
	EL ZAPOTE	23.01	44.56	2.01	24.87	0.29	11.85	5.55
	EMBALSE CH 15 DE SEPTIEMBRE	22.22	37.91	40.85	4.28	0.00	0.00	-7.22
	EMBALSE CH 5 DE NOVIEMBRE	14.84	28.50	17.32	8.58	0.07	0.00	2.53
	EMBALSE CH CERRON GRANDE	126.19	224.38	202.03	43.20	0.34	0.00	-21.19
	ESPIÑO	8.32	17.13	0.00	9.41	0.00	5.35	2.37
	FRIO	14.15	21.79	0.22	14.83	0.06	5.02	1.67
	FRIO O SESECAPA	65.57	141.80	0.00	65.95	0.00	45.09	30.75
	GRANDE DE CHALATENANGO	109.25	222.19	1.91	107.93	0.36	69.42	42.57
	GRANDE O EL RION	65.77	112.13	0.13	71.26	0.00	26.79	13.95
	GUAJALALA	20.53	45.30	0.00	22.26	0.00	14.05	8.99
	GUAJALOYO	209.56	317.39	0.23	219.23	1.42	87.10	9.41
	GUALCHO	291.82	514.08	1.14	307.53	1.90	119.22	84.28
	GUALIZA	7.26	13.74	0.00	8.87	0.00	4.34	0.52
	GUALPOPA	9.90	18.19	0.00	10.34	0.03	4.22	3.60
	GUALPUCO	59.56	110.53	0.15	54.03	0.09	25.97	30.30
	GUANCORA	46.31	91.81	0.00	51.93	0.18	7.13	32.57
	GUARAJAMBALA	2386.50	4900.03	0.00	2507.90	1.47	2010.85	379.81
	GUAYQUIQUIRA	77.28	157.43	0.00	79.45	0.13	37.97	39.88
	GUICOYOL	15.63	26.53	0.00	16.99	0.00	6.14	3.40
	GUINA	41.94	50.33	62.19	16.68	0.08	0.00	-28.62
	HIGUAYO	23.61	39.66	0.00	18.65	0.00	9.33	11.68
	HONDURITAS	6.60	10.18	0.00	6.83	0.00	3.25	0.10
	ILILA	60.01	124.08	0.27	69.16	0.00	29.91	24.75
	IPAYO	190.82	288.88	1.96	204.81	0.63	80.15	1.33
	ISLA	5.39	9.65	0.00	6.45	0.00	0.00	3.20
	IZCATAL	27.65	58.63	0.48	29.91	0.00	14.19	14.05
	JAYUCA	103.06	171.08	0.02	115.00	0.45	53.32	2.29
	JIOTIQUE	245.47	481.34	2.32	270.47	0.30	113.34	94.91
	JUTIAPA	16.08	35.98	0.00	16.73	0.00	12.03	7.22
	LA PITA 1	9.32	14.81	0.10	10.52	0.06	4.20	-0.07
	LA PITA 2	8.24	13.41	2.53	7.30	0.00	3.17	0.41
	LA PRESA	3.91	6.66	1.54	3.17	0.00	0.00	1.94
	LA QUEBRADONA 1	20.61	42.32	1.22	19.11	0.00	11.79	10.19
	LA QUEBRADONA 2	115.74	201.95	2.89	113.74	0.04	55.07	30.21
	LA QUEBRADONA 3	81.33	127.46	1.55	86.19	0.11	34.90	4.71
	LA SIRENA	17.52	31.34	0.65	19.77	0.04	7.20	3.67
	LAGUNA DE METAPAN	147.50	226.79	0.40	131.43	1.19	62.72	31.03
	LAS AHOGADAS	11.69	19.36	0.00	11.17	0.06	4.44	3.69
	LAS CAÑAS	27.77	45.48	0.92	28.21	0.35	13.93	2.07
	LAS LAJAS	83.29	132.40	4.59	85.04	0.25	30.40	12.12
	LAS MINAS	24.17	46.25	0.00	24.07	0.13	14.59	7.46
	LAS PAVAS	17.57	27.97	0.15	19.37	0.04	7.69	0.72
	LAS PILAS	30.89	56.80	2.16	33.69	0.09	17.97	2.90
	LAS PILONAS	11.71	21.39	1.46	11.94	0.00	6.76	1.22
	LAS SEÑORAS	20.40	35.51	0.00	20.78	0.07	10.68	3.98
	LEMPA	0.02	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01



**Continuación Tabla No. 24. Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de la Región Hidrográfica Lempa, en Millones de metros cúbicos (Mm3).**

REGION HIDROGRAFICA	CUENCA	AREA (Km2)	PRECIPITACION	EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACION REAL	EVAPORACION DE AREAS URBANAS	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	RECARGA DE ACUIFERO
LEMPA	LEMPITA	71.80	115.06	0.00	70.94	0.00	27.39	16.73
	LOS GUILLEN	54.03	102.94	4.69	54.16	0.20	32.73	11.17
	LOS PEÑONES	14.55	25.64	1.44	13.93	0.06	5.97	4.24
	MARAVILLA	19.99	35.08	1.82	15.30	0.00	8.16	9.80
	MARSHALA	13.48	30.30	0.00	13.82	0.00	9.97	6.51
	MATIZATE	36.62	59.20	0.00	37.35	0.28	18.00	3.58
	MERCEDES UMAÑA	59.30	97.08	2.00	59.40	0.38	22.73	12.56
	METAYATE	187.35	348.10	5.10	189.41	0.41	108.98	44.20
	MOCAL	1196.69	2644.24	0.00	1292.36	0.00	835.36	516.53
	MOJAFLORES	47.80	76.64	0.00	53.63	0.18	24.17	-1.34
	MONAGUIL	43.36	88.66	0.00	50.18	0.13	31.33	7.01
	MOTOCHICO	60.71	127.09	1.30	62.76	0.73	40.15	22.15
	NUNUAPA	112.15	245.72	2.50	110.04	0.50	78.08	54.59
	OLOPA	49.37	96.87	0.00	54.70	0.00	30.28	11.89
	OSTUA	1544.24	1829.06	1.63	1667.90	0.18	510.36	-351.02
	PALANCAPA	20.23	34.84	0.00	19.34	0.00	10.53	4.97
	PEÑANALAPA	46.74	73.82	0.00	51.77	0.12	23.70	-1.76
	PEPESCA	9.74	15.52	0.01	10.96	0.00	4.33	0.22
	POMOLA	60.03	131.87	0.00	63.13	0.00	40.73	28.01
	QUEBRADA HONDA	13.54	21.57	0.01	15.60	0.02	6.82	-0.89
	QUEZALAPA	342.20	606.26	0.00	348.49	2.62	143.87	111.28
	QUILIO	56.68	124.85	0.00	63.01	0.00	44.08	17.76
	ROLDAN	32.58	55.05	0.18	34.10	0.08	13.09	7.59
	SALITRE	25.09	40.53	0.00	26.06	0.38	12.33	1.75
	SAMBO	7.57	14.30	0.00	7.56	0.00	3.37	3.37
	SAN ISIDRO	17.23	27.76	0.46	17.03	0.19	7.66	2.43
	SAN NICOLAS	9.73	17.23	0.00	8.94	0.00	5.11	3.18
	SAN SIMON	58.71	100.99	0.03	63.64	0.24	24.03	13.05
	SANTA INES	29.18	59.66	0.00	27.83	0.00	16.93	14.90
	SANTO DOMINGO	9.07	14.33	3.11	7.38	0.00	3.27	0.58
	SAPUAPA	40.02	79.46	0.01	37.63	0.05	24.97	16.80
	SAYULAPA	20.19	38.99	0.00	20.96	0.00	9.11	8.92
	SHUSHULA	11.22	24.23	0.00	11.97	0.02	7.13	5.11
	SINUAPA	66.03	146.90	0.00	71.17	0.00	53.03	22.70
	SIRIGUAL	29.37	60.61	0.00	29.96	0.00	14.53	16.13
	SN	606.86	1202.59	25.10	600.63	1.78	302.44	272.63
	SOYATE	66.10	124.62	0.00	66.85	0.21	39.05	18.52
	SUCIO	818.95	1382.93	1.76	801.70	9.65	449.38	120.44
	SUMPUL	867.57	1843.93	7.31	947.09	3.69	727.31	158.53
	SUQUIAPA	430.83	690.14	0.00	447.19	4.52	227.25	11.18
	TAHULAPA	137.58	238.36	0.02	129.86	0.35	65.55	42.58
	TAMULASCO	101.74	205.55	1.36	113.06	0.68	64.63	25.82
	TASULA	16.32	25.61	0.07	18.02	0.00	7.40	0.12
	TICANTE	5.61	12.58	0.00	5.77	0.00	4.19	2.62
	TITIHUAPA	589.85	1049.15	0.73	617.16	2.04	245.71	183.51
	TOROLA	1508.69	3047.56	17.34	1613.62	5.24	1434.01	-22.66
	TUCUTO	8.70	19.24	0.00	9.79	0.00	6.58	2.87
	YANCONQUE	6.80	12.92	0.00	8.06	0.01	4.08	0.77
	ZACAMIL	14.18	28.26	0.92	16.91	0.03	9.02	1.38
	ZAPATA	1.60	2.55	0.38	1.40	0.00	0.61	0.17
	ZEPOCTUN	102.08	200.06	0.00	116.56	0.00	63.04	20.45

**Tabla No. 25.** Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de las Regiones Hidrográficas Paz, Cara Sucia, Grande de Sonsonate – Banderas, y Mandinga – Comalapa, en Millones de metros cúbicos (Mm3).

REGION HIDROGRAFICA	CUENCA	AREA (Km2)	PRECIPITACION	EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACION REAL	EVAPORACION DE AREAS URBANAS	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	RECARGA DE ACUIFERO
PAZ	PAZ	2633.02	3616.63	56.03	2652.35	10.43	1104.72	-206.91
CARA SUCIA - SAN PEDRO	BARRA DE SANTIAGO - CARA SUCIA	236.00	364.19	2.82	246.01	1.10	110.77	3.47
	BARRA DE SANTIAGO - CUILAPA	194.86	371.15	2.35	199.30	0.65	113.07	55.76
	BOCANA DE SAN JUAN	29.03	52.90	0.23	31.21	0.17	16.21	5.09
	CARA SUCIA_SAN PEDRO (ISLA)	0.05	0.10	0.00	0.05	0.00	0.03	0.02
	CAUTA	92.79	182.66	0.14	92.99	0.53	56.22	32.78
	RIO SUNZA	114.22	251.63	0.02	110.18	0.21	57.63	83.58
	RIO SAN PEDRO	102.2	202.11	0.00	105.95	0.26	95.26	0.64
GRANDE DE SONSONATE - BANDERAS	GRANDE DE SONSONATE	221.17	458.72	0.37	187.23	2.33	180.64	88.15
	EL ALMENDRO	12.01	20.34	0.01	9.25	0.72	8.43	1.92
	EL VENADO	9.61	15.77	0.21	10.54	0.11	4.82	0.08
	LAS MARIAS	19.74	32.70	0.27	21.46	0.33	10.02	0.61
	HUISCOYOL	21.77	35.58	0.00	25.04	0.07	10.90	-0.44
	LAS HOJAS	5.78	9.77	1.26	4.70	0.17	3.00	0.64
	SN	3.27	5.52	0.00	3.83	0.01	1.68	0.00
	CRATER VOLCAN SANTA ANA	0.74	1.63	0.08	0.66	0.00	0.00	0.89
	CHIMALAPA	42.80	70.87	0.00	48.92	0.15	21.83	-0.03
MANDINGA - COMALAPA	BANDERAS	441.53	822.10	0.09	409.38	1.66	255.95	155.02
	MANDINGA	86.52	147.43	0.11	94.55	0.20	42.08	10.49
	APANCOYO	66.38	121.14	0.15	64.14	0.30	35.54	21.01
	AYACACHAPA	69.65	129.94	0.34	66.14	0.00	36.60	26.86
	SN	16.28	31.34	0.00	17.14	0.00	9.58	4.61
	SIHUAPILAPA	12.00	22.41	0.00	11.01	0.00	6.78	4.61
	EL PITAL	1.36	2.53	0.00	1.37	0.00	0.77	0.39
	MIZATA	40.43	78.49	0.00	34.57	0.00	23.80	20.12
	AGUACAYO	31.68	61.24	0.00	32.13	0.00	18.63	10.49
	LA PERLA	69.19	139.12	0.00	70.81	0.21	42.55	25.55
	EL IRAYOL	5.32	10.55	0.00	5.11	0.00	3.24	2.20
	TAQUILLO	22.03	44.79	0.00	21.17	0.00	13.73	9.89
	SHUÑA	9.09	18.42	0.00	9.43	0.00	5.64	3.35
	EL ZONTE	34.20	69.71	0.00	32.07	0.00	21.32	16.32
	EL PALMAR	15.27	30.89	0.00	15.79	0.03	9.44	5.63
	EL SUNZAL	53.90	109.63	0.05	50.78	0.10	31.49	27.21
	EL TURCO	13.82	27.96	0.00	14.36	0.04	8.58	4.99
	GRANDE	42.73	86.88	0.00	40.95	0.10	27.86	17.97
	MAJAHUAL	27.47	55.33	0.00	27.94	0.19	17.05	10.16
	COMASAGUA	44.59	88.89	0.00	37.87	0.14	28.47	22.42
	CONCHALIO	8.73	17.39	0.00	8.67	0.00	5.40	3.32
	CHILAMA	76.50	148.87	0.00	61.13	0.27	42.25	45.21
	LA DANTA	6.79	13.09	0.00	5.64	0.09	4.11	3.24
	EL JUTE	44.14	85.72	0.00	34.82	1.10	28.32	21.47
	ESTERO SAN DIEGO	89.55	170.33	0.12	87.10	0.70	53.89	28.52
	BOCANA TOLUCA	236.50	445.57	1.49	235.68	0.76	140.40	67.25
	COMALAPA	170.11	311.83	0.21	178.53	1.13	96.67	35.29

**Tabla No. 26.** Evaluación de Recursos Hídricos de las cuencas de las Regiones Hidrográficas Jiboa – Estero de Jaltepeque, Bahía de Jiquilisco, Grande de San Miguel, y Sirama, en Millones de metros cúbicos (Mm3).

REGION HIDROGRAFICA	CUENCA	AREA (Km2)	PRECIPITACION	EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACION REAL	EVAPORACION DE AREAS URBANAS	ESCORRENTIA SUPERFICIAL	RECARGA DE ACUIFERO
JIBOA - ESTERO DE JALTEPEQUE	JIBOA	675.59	1219.76	168.52	582.93	4.63	330.39	133.29
	CAÑADA CENTRAL	56.82	98.38	1.25	58.51	0.79	32.44	5.39
	VIEJO COMALAPA	66.73	120.58	0.57	75.25	0.21	29.81	14.74
	JALPONGA	226.17	433.23	1.22	222.21	1.09	108.32	100.39
	ACOMUNCA	155.48	291.35	3.22	156.16	1.12	72.14	58.70
	EL PAJARITO	56.18	103.02	0.11	63.57	0.13	25.35	13.86
	EL GUAYABO	401.65	737.69	2.46	395.58	0.98	183.82	154.86
	ISLA	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BAHIA DE JIQUILISCO	EL ESPINO	257.56	462.04	16.84	261.40	0.70	114.34	68.75
	EL POTRERO	50.12	88.57	0.97	48.46	0.22	22.06	16.84
	NANACHEPA	66.48	118.59	0.58	66.46	0.16	29.65	21.75
	AGUACAYO	46.03	79.39	2.73	45.01	0.22	20.21	11.23
	EL CACAO	44.36	77.23	0.56	45.06	0.51	19.82	11.27
	EL QUEBRADO	121.88	235.19	1.09	111.74	0.56	59.11	62.69
	EL MOLINO	192.57	327.90	37.05	164.65	1.68	75.21	49.30
GRANDE DE SAN MIGUEL	GRANDE DE SAN MIGUEL	2238.00	4037.66	73.57	2335.46	11.10	1262.59	354.94
SIRAMA	SIRAMA	366.23	551.30	13.46	369.27	0.87	196.50	-28.79
	LAS CONCHAS O EL JOCOTE	36.92	54.70	2.04	34.98	0.00	19.36	-1.67
	MADERAS	107.57	161.39	1.55	109.82	0.38	45.75	3.90
	VOLCAN CONCHAGUA	102.42	160.76	0.00	94.08	0.76	57.33	8.59
	LAGUNA LOS CHORROS	21.06	33.40	2.86	18.63	0.06	11.89	-0.05
	LAGUNA LOS NEGRITOS	15.37	0.31	0.05	0.08	0.01	0.11	0.06
	EL HUEVO O EL TAMARINDO	18.77	30.73	0.17	19.19	0.00	10.93	0.44
	MANAGUARA O BANANERA	100.66	160.64	0.00	93.53	0.55	56.95	9.61
	EL ENCANTADO	38.34	65.24	0.00	34.75	0.15	22.98	7.37
	GUARRAPUCA	73.50	128.43	0.63	69.16	0.34	44.71	13.59
	SAN ROMAN	54.75	98.87	0.41	47.87	0.20	34.04	16.36
	CONCHAGUITA	32.12	60.94	0.79	28.18	0.14	20.88	10.95
	EL ENVOQUE	29.01	54.33	1.61	25.83	0.00	18.84	8.05
	PIEDRA DE AGUA	37.05	68.64	0.91	30.94	0.00	24.08	12.71
	MUNGUIA	16.87	30.37	0.16	13.36	0.00	10.78	6.07
	SECA	21.09	37.19	0.14	17.71	0.01	13.16	6.16
	AMATILLO	3.52	6.23	0.25	2.67	0.00	2.20	1.11
	LA RINGLERA	16.65	28.94	0.10	13.64	0.07	10.30	4.83
	EL CONVENTO	10.29	17.69	0.02	8.30	0.02	6.34	3.02
	ISLA	0.17	0.31	0.05	0.08	0.01	0.11	0.06
	SN	14.44	25.45	3.84	10.66	0.10	9.01	1.84

## VI. RESULTADOS DE CALIDAD DE RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES

### 6.1 INTRODUCCION

Para la presente evaluación se cuenta con información de 51 sitios con resultados de calidad de agua del muestreo realizado de Diciembre del 2004 a Abril del 2005. Por lo que en el presente documento se presentara un avance de los resultados, los cuales serán completamente evaluados y preparados para el Diagnostico de Calidad de Agua que se esta desarrollando actualmente por el SNET, y en la siguiente etapa de evaluación del Balance Hídrico Nacional.

La Red de Monitoreo de Calidad de Agua del Recurso Hídrico Superficial, consta de 114 sitios de toma de muestras divididas en las diez regiones hidrográficas, los cuales han sido ubicados en base a criterios técnicos de selección de sitios, mencionados en el capítulo IV.

A continuación se presenta la distribución de los sitios de muestreo a nivel nacional y red evaluada a la fecha:

**Tabla No. 27** Composición de la Red Nacional de Calidad de Aguas Superficiales.

<b>CUENCA</b>	<b>SITIOS DE MUESTREO RED NACIONAL</b>	<b>SITIOS DE MUESTREO RED EVALUADA 2004- 2005</b>
Río Lempa	48	19
Río Paz	4	4
Río Cara Sucia - San Pedro	9	9
Río Grande de Sonsonate	8	8
Comalapa Mandinga	14	0
Río Jiboa	10	5
Bahía de Jiquilisco	6	0
Río Grande de San Miguel	6	6
Río Sirama	7	0
Río Goascoran	2	0
<b>TOTAL</b>	<b>114</b>	<b>51</b>

Como se observa a la fecha se ha evaluado un 45% de la Red Nacional de Aguas Superficiales; algunas cuencas han sido evaluadas en su totalidad como lo son: Paz, Cara

Sucia, Grande de Sonsonate y Grande de San Miguel; por otro lado Lempa se ha evaluado un 40% y en otras no se ha iniciado la evaluación.

## 6.2 RESULTADOS

Los resultados son presentados en tablas para cada región hidrográfica, cuya calidad de agua de sus ríos se analizó para las diferentes aptitudes de uso para los usos mencionados en el Capítulo IV.

En las tablas de resultados se presentan en el recuadro amarillo, los límites de la normativa aplicada, y en color gris se presentan los parámetros cuando estos límites han sido sobrepasados.

### 6.2.1 Región Hidrográfica A – Cuenca del Río Lempa

La Región Hidrográfica A corresponde a la cuenca del Río Lempa, en la cual se analizaron 19 sitios de toma de muestras en el canal principal del río y en sus afluentes más importantes.

#### 6.2.1.1 Agua para potabilizar

De los 19 sitios de toma de muestras ninguno cumplió con la normativa debido principalmente a los niveles de fenoles, DBO<sub>5</sub> y Coliformes fecales en el agua como se observa en la tabla No. 28.

**Tabla No. 28** REGION A. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

No.	SITIO DE MUESTREO	DBO	Coliformes Fecales	Oxígeno disuelto	pH	Cloruros	Color Aparente	Turbidez	Fenoles	Cobre	Nitratos	TDS	Cinc
		mg/l	NMP/100 ml	mg/l	unidades de pH	mg/l	Unid de Co-Pt	UNT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		3.0-4.0	1000 NMP/100 ml	4-6.5 mg/l	6.5-9.2	50-250 mg/l	20-150 u Co-Pt	10-250 UNT	0.005 mg/l	0.0-1 mg/l	45 mg/l	300-660 mg/l	5 mg/l
1	A-01-LEMPA	3	280	7,9	7,83	3,96	55	7	3,3	0,03	1,37	126	ND
2	A-08-LEMPA	4	27	7,7	7,94	3,96	27,5	1	4	0,01	1,95	136	0,01
3	A-12-LEMPA	6	170	9,1	8,2	5,94	27,5	1	1	ND	1,56	134	ND
4	A-17-LEMPA	5	500	7,5	7,96	1,98	39,5	5	2,6	0,01	8,4	194	0,01
5	A-19-LEMPA	5	1100	6,5	8,01	3,96	91,5	27,5	3	0,01	3,72	174	0,01
6	A-20-LEMPA	7	23	7,7	7,8	5,99	81	15	0,9	0,03	2,56	134	0,01
7	A-04-ACAHU	5	5000	7,65	8,26	11,98	42	13,5	0,7	0,02	12,22	346	ND
8	A-01-SANSI	5	280	8,2	8,46	3,99	33	7	0,9	0,01	0,85	304	ND
9	A-01-SUQUI	112	24000000	0,6	7,24	37,63	672,5	170	0,9	0,03	29	387	0,01
10	A-04-ARANC	40	140000	2,9	7,35	47,53	96	45,5	3,5	0,01	5,6	340	0,02
11	A-23-SUQUI	26	130	6,5	8,28	27,73	37,5	21,5	4,75	ND	5,2	290	ND
12	A-01-SUCIO	59	1700	5,8	7,5	41,59	134	94	2,5	0,01	3,6	420	ND
13	A-09-SUCIO	49	170000	1,8	7,4	61,39	670	442,5	3,3	0,07	19	606	ND
14	A-15-SUCIO	59	800000	ND	7,2	104,96	257	113,5	2,8	0,08	6	632	ND
15	A-24-SUCIO	8	1300	7,7	8,18	77,24	45	18	4,15	0,02	2,6	564	ND
16	A-01-MATAL	338	9000000	0,5	7,2	48,52	399	465	4	0,165	32	452	ND
17	A-14-ACELH	170	7000000	0,2	6,85	65,35	252,5	55	3,5	0,08	23	630	ND
18	A-17-ACELH	473	30000000	ND	6,5	63,35	745	133	4	0,24	167,5	718	ND
19	A-25-ACELH	166	30000000	ND	7,14	53,47	187,5	25,5	4	0,18	16,8	568	ND

El Río Acelhuate se excluye de la presente evaluación debido a calidad pésima de sus aguas.

Los fenoles se encuentran hasta 950 veces la normativa de agua para potabilizar y causan olor y sabor desagradable en las aguas. Muchas de esta agua pueden ser potabilizadas por métodos no convencionales a un coste mayor o pueden ser aceptadas con sabor u olor un poco desagradable de parte de los consumidores.

Los niveles de Coliformes fecales llegan hasta un valor de 24,000,000 NMP/100 ml (Río Sucio, de la naciente del Río Suquiapa) lo cual es producto de la falta de sistemas de tratamiento de aguas domésticas en su mayoría a nivel nacional.

Se considera que una agua con 4 mg/L de  $\text{DBO}_5$  es de calidad apta para ser potabilizada a través de tratamientos convencionales; para el caso del Río Lempa los niveles de  $\text{DBO}_5$  llegan hasta 112 mg/L (naciente del Río Suquiapa), producto de descargas puntuales y no puntuales de vertidos tanto domésticos como industriales.

Por otro lado, las subcuencas de los ríos Acelhuate, Suquiapa y Sucio presentan sitios de muestreo sin presencia de oxígeno disuelto lo cual cambia completamente la dinámica de depuración de los contaminantes presentes. Los niveles de color aparente se presenta fuera de norma para estas subcuencas debido principalmente a que estos ríos transportan vertidos tanto domésticos como industriales.

Como resultado del alto grado de contaminación en las subcuencas de los ríos Sucio y Suquiapa, no se puede valorar sus aguas superficiales como una opción de agua cruda para potabilizar, a menos que se implemente planes de descontaminación que mejoren su calidad.

#### **6.2.1.2 Agua para Riego**

Al evaluar los resultados de calidad de agua con la normativa de riego, los resultado muestran que los sitios de muestren donde se cumplen con la aptitud de usos para riego son: la desembocadura del Río Suquiapa al Río Lempa, el Río Lempa desde su ingreso al país hasta aguas arriba de la desembocadura del Río Sucio en San Pablo Tacachico y el agua del Río Lempa en su desvió al Distrito de Riego y Avenamiento Lempa-Acahuapa en la Presa Hidroeléctrica 15 de Septiembre.

Los resultados muestran que la confluencia del Río Sucio con el Río Lempa genera a la calidad de agua del Río Lempa un impacto negativo en la calidad sanitaria de sus aguas, no siendo apta en este sitio para riego.

En general la calidad de las aguas para riego son buenas y en pocos casos se tiene problemas como en el Río San Simón el cual tiene pH naturalmente alto, debido a su origen y en los casos del Río Sucio aguas abajo del sitio Joya de Cerén, y el Río Acelhuate



después de Aguilares, que presentan altas conductividades debido al impacto de la contaminación por vertidos.

De 19 sitios de muestreo en el Río Lempa 12 no cumplen por los altos niveles de Coliformes fecales, los cuales están en el rango de 1100 a 24,000,00 NMP/100ml.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la calidad de agua de los sitios de monitoreo comparados con la normativa de agua para riego.

**Tabla No. 29 REGION A. Resultados de Calidad de Agua para riego**

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes Fecales	Conductividad	Cloruros	pH	PARAMETROS PARA EVALUAR RAS			RAS	%Sodio
		NMP/100 ml	mSiemens/cm	mg/l Cl-1	unidades de pH	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l		meq/l
		1000 NMP/100 ml	0.250 - 0.750 ms/cm	195 mg/l	6.5-8.4				0-10	30-60
1	A-01-LEMPA	280	0,159	3,96	7,83	3	9,61	1,94	0,231	19,56
2	A-08-LEMPA	27	0,328	3,96	7,94	5	19,22	8,26	0,240	11,72
3	A-12-LEMPA	170	0,333	5,94	8,2	5	19,22	9,71	0,232	11,01
4	A-17LEMPA	500	0,416	1,98	7,96	10	20,82	12,63	0,427	17,31
5	A-19-LEMPA	1100	0,433	3,96	8,01	20	16,02	16,99	0,830	28,36
6	A-20-LEMPA	23	0,264	5,99	7,8	20	15,22	4,37	1,163	43,74
7	A-04-ACAHU	5000	0,434	11,98	8,26	20	13,62	17,97	0,837	28,73
8	A-01-SANSI	280	0,61	3,99	8,46	15,3	32,84	25,74	0,486	15,05
9	A-01-SUQUI	24000000	0,575	37,63	7,24	20	36,84	23,8	0,631	18,64
10	A-04-ARANC	140000	0,528	47,53	7,35	20	35,24	19,43	0,671	20,58
11	A-23-SUQUI	130	0,384	27,73	8,28	10	44,05	18,46	0,319	10,48
12	A-01-SUCIO	1700	0,603	41,59	7,5	46,6	40,05	30,11	1,355	31,17
13	A-09-SUCIO	170000	0,93	61,39	7,4	60,7	59,27	48,57	1,416	27,52
14	A-15-SUCIO	800000	1,12	104,96	7,2	105	51,26	37,89	2,711	44,59
15	A-24-SUCIO	1300	0,744	77,24	8,18	83,3	44,85	12,14	2,848	52,82
16	A-01-MATAL	9000000	0,665	48,52	7,2	NR	40,05	17,97		
17	A-14-ACELH	7000000	0,920	65,35	6,85	NR	46,46	18,46		
18	A-17-ACELH	30000000	0,767	63,35	6,5	NR	49,66	37,89		
19	A-25-ACELH	30000000	0,707	53,47	7,14	NR	41,65	16,51		

### 6.2.1.3 Agua con Calidad Ambiental

En el presente documento la calidad ambiental se ha evaluado a través de la aplicación del Índice de Calidad de Aguas (ICA) y su interpretación se muestra en la Tabla No. 30.

**Tabla No. 30** Interpretación de la Valoración del ICA

CLASIFICACION	VALOR	INTERPRETACION
Excelente	91 – 100	Permite desarrollo de vida acuática
Buena	71 - 90	Permite desarrollo de vida acuática
Regular	51 -70	Limita el desarrollo de vida acuática
Mala	26 - 50	Dificulta el desarrollo de vida acuática
Pésima	0 - 25	No permite el desarrollo de vida acuática

Al evaluar los resultados de calidad de agua ambiental, se puede observar que para el canal principal del Río Lempa la calidad varía de “Regular” a “Buena”. El tramo del Río Lempa en el cual el ICA presenta una calidad Regular va desde aguas arriba de la desembocadura del Río Sucio en San Pablo Tacachico hasta alturas del Ingenio la Cabaña en Aguilares, en este tramo la calidad de agua limita el desarrollo de vida acuática debido a los niveles de contaminación en las aguas superficiales.

Por otro lado, el Río Acahuapa, San Simón, el Río Sucio en la naciente dentro del Distrito de Riego de Zapotitán y el Río Suquiapa antes de desembocar al Río Lempa, presentan una calidad de agua “Mala” según el ICA, lo anterior indica que la calidad de agua dificulta el desarrollo de vida acuática.

Todo el canal principal del Río Acelhuate, el Río Sucio en el tramo desde CEDEFOR en la carretera a Santa Ana hasta Joya de Cerén y el Río Suquiapa desde su nacimiento hasta su salida de la ciudad de Santa Ana, presentan una calidad “Pésima” según el ICA, lo que indica que la calidad de agua no permite el desarrollo de vida acuática.

**Tabla No. 31** REGION A. Resultados de Calidad Ambiental

No.	SITIO DE MUESTREO	ICA	CLASIFICACION
1	A-01-LEMPA	76	BUENA
2	A-08-LEMPA	81	BUENA
3	A-12-LEMPA	71	BUENA
4	A-17LEMPA	61	REGULAR
5	A-19-LEMPA	63	REGULAR
6	A-20-LEMPA	78	BUENA
7	A-04-ACAHU	48	MALA
8	A-01-SANSI	44	MALA
9	A-01-SUQUI	14	PESIMA
10	A-04-ARANC	20	PESIMA

No.	SITIO DE MUESTREO	ICA	CLASIFICACION
11	A-23-SUQUI	49	MALA
12	A-01-SUCIO	38	MALA
13	A-09-SUCIO	15	PESIMA
14	A-15-SUCIO	10	PESIMA
15	A-24-SUCIO	54	REGULAR
16	A-01-MATAL	9	PESIMA
17	A-14-ACELH	12	PESIMA
18	A-17-ACELH	6	PESIMA
19	A-25-ACELH	9	PESIMA

#### 6.2.1.4 Agua para Contacto Humano

En la Tabla No. 32, se presentan los resultados de la calidad de agua de la región hidrográfica A, comparada con la normativa para contacto humano.

**Tabla No. 32** REGION A. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes fecales	Oxígeno Disuelto	Turbidez
		NMP/100 ml	mg/l	UNT
		menor o igual a 1000 NMP/100 ml	mayor o igual de 7mg/l	menor o igual a 10 UNT
1	A-01-LEMPA	280	7,9	7
2	A-08-LEMPA	27	7,7	1
3	A-12-LEMPA	170	9,1	1
4	A-17LEMPA	500	7,5	5
5	A-19-LEMPA	1100	6,5	27,5
6	A-20-LEMPA	23	7,7	15
7	A-04-ACAHU	5000	7,65	13,5
8	A-01-SANSI	280	8,2	7
9	A-01-SUQUI	24000000	0,6	170
10	A-04-ARANC	140000	2,9	45,5
11	A-23-SUQUI	130	6,5	21,5
12	A-01-SUCIO	1700	5,8	94
13	A-09-SUCIO	170000	1,8	442,5
14	A-15-SUCIO	800000	ND	113,5
15	A-24-SUCIO	1300	7,7	18
16	A-01-MATAL	9000000	0,5	465
17	A-14-ACELH	7000000	0,2	55
18	A-17-ACELH	30000000	ND	133
19	A-25-ACELH	30000000	ND	25,5

El Río Lempa en el tramo de su ingreso al país hasta antes de la desembocadura del Río Sucio en San Pablo Tacachico y el Río San Simón son las aguas que cumplen con la normativa para el contacto humano o actividades de recreación. Es de tomar en cuenta que el Río Lempa en la parte media es muy utilizado para este tipo de actividades; por lo que, representa un riesgo para la población que tiene contacto con sus aguas.

Al valorar los resultados presentados en la Tabla No. 32, se observa que 14 de 19 sitios son de riesgo para el contacto humano principalmente por los niveles de Coliformes fecales que como ya mencionamos van de 1100 a 30,000,000 NMP/100ml.

Los niveles de oxígeno disuelto presentan valores que oscilan entre 0 y 6.5 mg/L y niveles de turbidez que van de 13.5 a 465 UNT.

## 6.2.2 REGION B - Cuenca del Río Paz

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de calidad de agua para la región Hidrográfica B, correspondiente a la cuenca del río Paz, en la cual se analizaron 4 sitios de muestreo en su canal principal.

### 6.2.2.1 Agua para potabilizar

De los 4 sitios de toma de muestras ninguno cumplió con la normativa debido principalmente a los niveles de fenoles, y la DBO<sub>5</sub> del sitio en la frontera del Jobo como se observa en la tabla No. 33. Los fenoles se encuentran hasta 800 veces la normativa de agua para potabilizar y causan olor y sabor desagradable en las aguas; por otro lado el valor de DBO<sub>5</sub> se debe a la contaminación de fuentes no puntuales.

**Tabla No. 33** REGION B. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

Nº	SITEO MUESTREO	DBO	Coliformes Fecales	Oxígeno disuelto	pH	Cloros	Color Aparente	Turbidez	Fenoles	Cobre	Nitratos	TDS	Circ
		mg/l	NMP/100ml	mg/l	unidades de pH	mg/l	Unidad Co- Rt	UNT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		3040	100 NMP/100ml	465mg/l	6592	5020mg/l	20150uCo- Rt	10250UNT	005mg/l	001mg/l	4mg/l	3060mg/l	5mg/l
1	B01-PAZ	3	90	77	7.4	594	25	5	06	001	484	220	ND
2	B02-PAZ	6	220	71	8.55	3664	36	5	4	025	1.76	324	001
3	B03-PAZ	4	220	84	8.32	5941	14	4	35	001	5	370	001
4	B04-PAZ	4	130	92	8.52	604	23	8	18	001	23	340	001

### 6.2.2.2 Agua para Riego

Al evaluar los resultados de calidad de agua con la normativa de riego los resultados muestran que los sitios que cumplen con la aptitud de uso para riego son: el Río Pampe y el Río Paz en la Hacienda Los Mangos.

En general la calidad de las aguas para riego son buenas y solamente en el Río Paz en la frontera del Jobo y en el puente de la Hachadura presentan el pH ligeramente alcalino.

Es de tomar en cuenta que las aguas pueden ser utilizadas con ciertas restricciones de uso dependiendo de la sensibilidad de los cultivos y del tipo de suelos.

**Tabla No. 34** REGION B. Resultados de Calidad de Agua para riego

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes Fecales	Conductividad	Cloruros	pH	PARAMETROS PARA EVALUAR RAS			RAS	%Sodio
		NMP/100 ml	mSiemens/cm	mg/l Cl-1	unidades de pH	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l		meq/l
		1000 NMP/100 ml	0.250 - 0.750 ms/cm	195 mg/l	6.5-8.4					30-60
1	B-01-RPAZ	900	0,276	5,94	7,74	23,4	22,43	14,09	0,954	30,88
2	B-02-RPAZ	220	0,440	36,64	8,55	76,2	24,03	40,31	2,206	42,33
3	B-03-RPAZ	220	0,705	59,41	8,32	36,5	25,63	10,63	1,530	42,44
4	B-04-RPAZ	130	0,702	60,4	8,52	38,6	29,64	10,69	1,546	41,58

### 6.2.2.3 Agua con Calidad Ambiental

Al evaluar los resultados de calidad de agua se puede observar que en los cuatro sitios de muestreo en esta región la calidad es “Regular” según el ICA; lo que indica que la calidad de agua limita el desarrollo de vida acuática debido a los niveles de contaminación en las aguas superficiales.

La presencia de nitratos y fosfatos no permite que el valor del ICA obtenga una calidad “Buena”, ya que en general las aguas presentan niveles aceptables de contaminación fecal, oxígeno disuelto y DBO<sub>5</sub>.

**Tabla No. 35** REGION B. Resultados de Calidad Ambiental

No.	SITIO DE MUESTREO	ICA	CLASIFICACION
1	B-01-RPAZ	64	REGULAR
2	B-02-RPAZ	61	REGULAR
3	B-03-RPAZ	64	REGULAR
4	B-04-RPAZ	65	REGULAR

#### 6.2.2.4 Agua para Contacto Humano

Todos los sitios de muestreo monitoreados en la Región del Río Paz cumplen con la normativa de aguas para contacto humano; estas presentan niveles bajos de Coliformes fecales a excepción del Río Pampe que presenta 900 NMP/100ml, niveles muy buenos de oxígeno disuelto y niveles bajos de turbidez; lo anterior, permite el desarrollo de actividades de recreación en el río.

**Tabla No. 36** REGION B. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes fecales	Oxígeno Disuelto	Turbidez
		NMP/100 ml	mg/l	UNT
		menor o igual a 1000 NMP/100 ml	mayor o igual de 7mg/l	menor o igual a 10 UNT
1	B-01-RPAZ	900	7,7	5
2	B-02-RPAZ	220	7,1	5
3	B-03-RPAZ	220	8,4	4
4	B-04-RPAZ	130	9,2	8

#### 6.2.3 REGION C

En la presente sección se presentan los resultados de la evaluación de la calidad de agua de los 8 sitios monitoreados en la región Hidrográfica C, correspondiente a las cuencas de los ríos Cara Sucia, El Rosario, Guayapa y El Naranjo, en el Departamento de Ahuachapán.

##### 6.2.3.1 Agua para potabilizar

De los 8 sitios de toma de muestras ninguno cumplió con la normativa debido principalmente a los niveles de fenoles y Coliformes fecales en el agua como se observa en la tabla No. 37. Los fenoles se encuentran hasta 225 veces la normativa de agua para potabilizar y causan olor y sabor desagradable en las aguas; por otro lado, los niveles de Coliformes fecales llegan hasta un valor de 90,000 NMP/100 ml en el Río Cara Sucia aguas abajo de carretera del litoral, lo anterior se debe a la falta de sistemas de tratamiento de aguas domésticas.

**Tabla No. 37** REGIONC. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

Nº	SITIO DE MUESTREO	DBO	Coliformes Fecales	Oxígeno disuelto	pH	Color	Color Aparente	Turbidez	Ferros	Cobre	Nitratos	TDS	Cinc
		mg/l	NMP/100ml	mg/l	unidades de pH	mg/l	Unidades Co-R	UNT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		3040	1000NMP/100 ml	465mg/l	6592	50250mg/l	20150uCo-R	10250UNT	0005mg/l	001mg/l	4mg/l	30060mg/l	5mg/l
1	COL ROSAR	2	800	76	799	399	505	12	05	005	284	178	002
2	COL ROSAR	2	3000	83	774	599	435	3	1,125	001	227	168	001
3	COL CLAYA	2	500	755	784	2	185	1	07	002	114	146	ND
4	COL CLAYA	2	3000	7	746	399	365	8	08	003	369	142	002
5	COL NARAN	5	200	77	75	2	185	3	09	001	114	54	ND
6	COL NARAN	1	1400	78	753	2	235	2	07	001	256	120	001
7	COL SUCIA	4	2800	77	762	599	28	11	13	002	227	178	ND
8	COL SUCIA	2	1100	83	779	599	225	3	105	001	17	146	001
9	COL SUCIA	4	9000	7	743	399	495	8	04	001	142	164	ND

### 6.2.3.2 Agua para Riego

En esta región, la agricultura es uno de los principales usos de las aguas superficiales y la calidad físico y química de sus aguas son buenas; pero la falta de saneamiento y los vertidos de aguas negras y contaminación puntual o dispersa por actividades agropecuarias, deterioran la calidad sanitaria de las mismas limitando su uso.

De los resultados de calidad de agua para riego solamente el Río El Rosario en la parte alta de la cuenca cumple con la aptitud de uso para riego.

Todos los sitios de muestreo evaluados no cumplen debido a los niveles de Coliformes fecales, presentando valores de hasta 90,000 NMP/100ml.



**Tabla No. 38** REGION C. Resultados de Calidad de Agua para riego

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes Fecales	Conductividad	Cloruros	pH	PARAMETROS PARA EVALUAR RAS			RAS	%Sodio
		NMP/100 ml	mSiemens/cm	mg/l Cl-1	unidades de pH	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l		meq/l
		1000 NMP/100 ml	0.250 - 0.750 ms/cm	195 mg/l	6.5-8.4					30-60
1	C-01-ROSAR	800	0,251	3,99	7,99	7,5	17,62	5,83	0,396	19,36
2	C-02-ROSAR	30000	0,276	5,99	7,74	7,8	16,02	7,77	0,400	19,08
3	C-01-GUAYA	5000	0,213	2	7,84	4,3	16,02	7,77	0,221	11,50
4	C-02-GUAYA	30000	0,225	3,99	7,46	5	14,02	4,13	0,302	17,30
5	C-01-NARAN	2400	0,160	2	7,5	5	14,42	3,85	0,302	17,35
6	C-02-NARAN	1400	0,181	2	7,53	5	14,42	2,91	0,314	18,49
7	C-01-SUCIA	28000	0,240	5,99	7,62	7	64	5,83	0,225	7,65
8	C-02-SUCIA	1100	0,245	5,99	7,9	7,2	24,03	0,97	0,392	19,67
9	C-03-SUCIA	90000	0,243	3,99	7,43	4,4	16,02	3,89	0,256	14,60

### 6.2.3.3 Agua con Calidad Ambiental

Al evaluar los resultados de calidad de agua se puede observar que las aguas son predominantemente de calidad “Regular” según el ICA, lo anterior limita el desarrollo de vida acuática.

En la parte baja del Río El Naranjo la calidad del agua es clasificada por el ICA como “Buena”, lo cual indica que permite el desarrollo de vida acuática.

Por otro lado la calidad de agua del Río Cara Sucia aguas abajo de la carretera del litoral es “Mala” debido principalmente a los altos niveles de Coliformes fecales, lo cual dificulta el desarrollo de vida acuática.

**Tabla No. 39** REGION C. Resultados de Calidad Ambiental

No.	SITIO DE MUESTREO	ICA	CLASIFICACION
1	C-01-ROSAR	69	REGULAR
2	C-02-ROSAR	57	REGULAR
3	C-01-GUAYA	67	REGULAR
4	C-02-GUAYA	57	REGULAR
5	C-01-NARAN	69	REGULAR
6	C-02-NARAN	72	BUENA
7	C-01-SUCIA	57	REGULAR
8	C-02-SUCIA	68	REGULAR
9	C-03-SUCIA	50	MALA

#### 6.2.3.4 Agua para Contacto Humano

En general la calidad sanitaria de las aguas de esta región son de pésima calidad representando un riesgo para el contacto humano con niveles de Coliformes fecales que van de 1,100 a 90,000 NMP/100ml.

El Río Rosario en la parte alta de la cuenca presenta una turbidez fuera de norma con 12 UNT, por lo cual no se cumple con la aptitud de uso.

Es importante tomar en cuenta que todas esta agua van a desembocar a la zona marino costera de Barra de Santiago – Garita Palmera. Por lo anterior, las actividades antropogénicas de la zona están generando un impacto negativo en la zona marino costera en desarrollo.

**Tabla No. 40** REGION C. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes fecales	Oxígeno Disuelto	Turbidez
		NMP/100 ml	mg/l	UNT
		menor o igual a 1000 NMP/100 ml	mayor o igual de 7mg/l	menor o igual a 10 UNT
1	C-01-ROSAR	800	7,6	12
2	C-02-ROSAR	30000	8,3	3
3	C-01-GUAYA	5000	7,55	1
4	C-02-GUAYA	30000	7	8
5	C-01-NARAN	2400	7,7	3
6	C-02-NARAN	1400	7,8	2
7	C-01-SUCIA	28000	7,7	11
8	C-02-SUCIA	1100	8,3	3
9	C-03-SUCIA	90000	7	8

#### 6.2.4 REGION D – Ríos Ceniza y Grande de Sonsonate.

A continuación se presentan los resultados del monitoreo de calidad de agua en la región hidrográfica D, correspondiente a los ríos Ceniza y Grande de Sonsonate, en los cuales se analizaron 8 sitios en el canal principal de los ríos mencionados.

##### 6.2.4.1 Agua para potabilizar

De los 8 sitios seleccionados para toma de muestras para valorar la calidad de agua, ninguno cumplió con la normativa debido principalmente a los niveles de fenoles, y Coliformes fecales en el agua como se observa en la tabla No. 41. Los fenoles se

encuentran hasta 640 veces la normativa de agua para potabilizar y causan olor y sabor desagradable en las aguas. Los niveles de Coliformes fecales llegan hasta un valor de 16,000,000 NMP/100 ml (Río Ceniza en la parte media).

**Tabla No. 41** REGION D. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

Nº	SITIO DE MUESTREO	DO	Coliformes Fecales	Oloro detectado	pH	Cloruros	Clor. Apatite	Turbidez	Ferros	Che	Nitros	TDS	Grc
		mg/l	NMP/100ml	mg/l	unidades de pH	mg/l	Unidad de Clor.	UNT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		3040	100NMP/100 ml	465mg/l	6592	5020mg/l	2050uCl	1020UNT	005mg/l	001mg/l	4mg/l	3060mg/l	5mg/l
1	D01CENZ	35	800	82	82	72	10	21	26	001	73	22	ND
2	D02CENZ	47	16000	36	72	99	34	152	28	021	271	60	014
3	D03CENZ	10	200	46	77	273	55	22	26	004	23	48	ND
4	D04CENZ	4	100	98	87	56	28	145	26	ND	11	56	001
5	D01CRAN	2	300	81	806	72	445	18	45	001	26	28	002
6	D02CRAN	2	100	87	808	72	59	165	32	003	55	20	003
7	D03CRAN	3	1000	74	777	99	13	545	06	007	59	24	ND
8	D04CRAN	4	500	54	734	236	445	8	32	006	17	30	ND

#### 6.2.4.2 Agua para Riego

En la presente región no se analizaron cationes presentes en el agua, por lo cual no se pudo calcular el Índice RAS, ni el porcentaje de Sodio; por lo anterior, la evaluación de aptitud de uso se realizó en base en los parámetros de calidad de agua existentes.

Al evaluar los resultados de calidad de agua con la normativa de riego los resultado muestran que ninguno de los 8 sitios de toma de muestra cumplen con la aptitud de usos para riego debido a la calidad sanitaria de las aguas las cuales presentan valores de hasta 16,000,000 NMP/100ml de Coliformes Fecales.

Los parámetros de Conductividad, Cloruros y pH no presentan problemas a excepción del pH en el último sitios de muestreo del Río Ceniza que presenta un pH levemente alcalino de 8.7.

**Tabla No. 42** REGION D. Resultados de Calidad de Agua para riego

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes Fecales	Conductividad	Cloruros	pH
		NMP/100 ml	mSiemens/cm	mg/l Cl-1	unidades de pH
		1000 NMP/100 ml	0.250 - 0.750 ms/cm	195 mg/l	6.5-8.4
1	D-01-CENIZ	8000	0,346	7,92	8,2
2	D-02-CENIZ	16000000	0,275	9,9	7,2
3	D-03-CENIZ	24000	0,610	27,73	7,7
4	D-04-CENIZ	1100	0,677	35,65	8,7
5	D-01-GRAND	3000	0,278	7,92	8,06
6	D-02-GRAND	11000	0,269	7,92	8,08
7	D-03-GRAND	110000	0,273	9,9	7,77
8	D-04-GRAND	50000	0,347	23,76	7,54

#### 6.2.4.3 Agua con Calidad Ambiental

De los 8 sitios de muestreo, la parte alta y la desembocadura del Río Ceniza, así como la parte alta y media de el Río Grande de Sonsonate, presentan una calidad “Regular” lo que indica que la calidad de agua limita el desarrollo de vida acuática debido a los niveles de contaminación en las aguas superficiales.

Por otro lado, la parte media-baja del Río Ceniza presenta una clasificación que va de “Pésima” a “Mala”, el Río Grande de Sonsonate presenta una calidad “Mala” en la parte media a baja. Según el ICA, lo anterior, indica que la calidad de agua dificulta (Mala) e impide (Pésima) la vida acuática

**Tabla No. 43** REGION D. Resultados de Calidad Ambiental

No.	SITIO DE MUESTREO	ICA	CLASIFICACION
1	D-01-CENIZ	57	REGULAR
2	D-02-CENIZ	18	PESIMA
3	D-03-CENIZ	43	MALA
4	D-04-CENIZ	54	REGULAR
5	D-01-GRAND	64	REGULAR
6	D-02-GRAND	56	REGULAR
7	D-03-GRAND	39	MALA
8	D-04-GRAND	45	MALA

#### 6.2.4.4 Agua para Contacto Humano

En general la calidad de las aguas superficiales de esta zona tienen problemas sanitarios, con niveles de Coliformes fecales de hasta 16,000,000 NMP/100ml, altos niveles de turbidez de hasta 152 UNT y niveles bajos de oxígeno disuelto de hasta 3.6 ppm.

**Tabla No. 44** REGION D. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes fecales	Oxígeno Disuelto	Turbidez
		NMP/100 ml	mg/l	UNT
		menor o igual a 1000 NMP/100 ml	mayor o igual de 7mg/l	menor o igual a 10 UNT
1	D-01-CENIZ	8000	8,2	21
2	D-02-CENIZ	16000000	3,6	152
3	D-03-CENIZ	24000	4,6	22
4	D-04-CENIZ	1100	9,8	14,5
5	D-01-GRAND	3000	8,1	18
6	D-02-GRAND	11000	8,7	16,5
7	D-03-GRAND	110000	7,4	54,5
8	D-04-GRAND	50000	5,4	8

#### 6.2.5 REGION F – Cuenca del Río Jiboa

En este apartado se presentan los resultados y evaluación de la calidad de agua encontrada en los 5 sitios de muestreos ubicados en el canal principal del río Jiboa.

##### 6.2.5.1 Agua para potabilizar

En esta región se ha evaluado el canal principal del Río Jiboa y ninguno de los 5 sitios de muestreo cumplió con la normativa debido principalmente a los niveles de fenoles, Color aparente y Coliformes fecales en el agua como se observa en la tabla No. 45. Los fenoles se encuentran hasta 900 veces la normativa de agua para potabilizar y causan olor y sabor desagradable en las aguas, los niveles de Coliformes fecales llegan hasta un valor de 16,000 NMP/100 ml.

Los valores de color aparente llegan hasta 504 U de Co-Pt después de la desembocadura del Río Desagüe al río Jiboa, debido al arrastre de sedimentos de la zona de derrumbes del Lago de Ilopango; por otro lado, en esta zona se encuentran ubicadas algunas areneras las cuales pueden aportar productos de la corrosión de los equipos y vehículos utilizados para la extracción de los áridos y esto puede aumentar el valor de color aparente.

**Tabla No. 45** REGION F. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

Nº	SIUDE MUSIREC	DBO	Coliformes Fecales	Oxígeno disuelto	pH	Cloruros	Color Aparente	Turbidez	Ferros	Cobre	Nitrato	TDS	Cinc
		mg/l	NMP/100ml	mg/l	unidades de pH	mg/l	Unidades de Color	UNT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
		3040	1000 NMP/100 ml	465 mg/l	6592	5020 mg/l	20150 u.c.c.	1020 UNT	005 mg/l	001 mg/l	45 mg/l	3060 mg/l	5 mg/l
1	F01JIBOA	4	800	65	7,6	399	29	8	38	ND	278	184	ND
2	F02JIBOA	3	900	8	7,6	399	475	15	45	ND	694	216	ND
3	F03JIBOA	4	1100	74	8,8	599	534	28	27	002	125	310	ND
4	F04JIBOA	4	2800	79	8,3	599	325	18	38	001	125	320	ND
5	F05JIBOA	5	1600	85	8,34	599	485	15,5	41	ND	1806	22	ND

#### 6.2.5.2 Agua para Riego

Solamente la naciente del río y la parte media alta cumplen con la normativa de calidad de agua para riego. Luego de la incorporación del Río El Desagüe al Río Jiboa los niveles de Coliformes fecales se elevan con valores de 11,000 a 16,000 NMP/100ml, deteriorando la calidad de agua para este uso.

**Tabla No. 46** REGION F. Resultados de Calidad de Agua para riego

Nº	SIUDE MUSIREC	Coliformes Fecales	Conductividad	Cloruros	pH	PARAMETROS PARA EVALUAR RAS			RAS	% Sodio
		NMP/100ml	ms/cm	mg/l Cl-1	unidades de pH	N mg/l	C mg/l	M mg/l		mg/l
		1000 NMP/100 ml	0250-0750 ms/cm	195 mg/l	6584				010	3060
1	F01JIBOA	800	0289	399	7,6	174	1602	291	1,050	4215
2	F02JIBOA	900	0262	399	7,6	164	1602	385	0955	3899
3	F03JIBOA	1100	0429	599	8,8	243	1282	204	0982	3131
4	F04JIBOA	2800	0462	599	8,3	291	2243	1065	1,267	3881
5	F05JIBOA	1600	0417	599	8,34	31	2243	971	1,377	4128

### 6.2.5.3 Agua con Calidad Ambiental

Al evaluar los resultados de calidad de agua se puede observar que el canal principal del Río Jiboa está altamente impactado por la entrada del Río El Desagüe, el cual deteriora la calidad ambiental del río Jiboa de “Regular” a “Mala”: los niveles de turbidez se incrementan de 151 a 208 UNT y los niveles de Coliformes fecales también se incrementan de 2,800 a 16,000 NMP/100ml.

Lo anterior indica que aguas abajo de la confluencia con el río El Desagüe la calidad de agua dificulta el desarrollo de vida acuática.

**Tabla No. 47** REGION F. Resultados de Calidad Ambiental

No.	SITIO DE MUESTREO	ICA	CLASIFICACION
1	F-01-JIBOA	63	REGULAR
2	F-02-JIBOA	61	REGULAR
3	F-03-JIBOA	41	MALA
4	F-04-JIBOA	45	MALA
5	F-05-JIBOA	34	MALA

### 6.2.5.4 Agua para Contacto Humano

Al valorar los resultados se observa que ningún punto de monitoreo en el canal principal del Río Jiboa cumple con la aptitud de uso para contacto humano principalmente por los niveles de Coliformes fecales en la parte media a baja los cuales van de 2,800 a 16,000 NMP/100ml.

El valor de oxígeno disuelto en la naciente es de 6,5 mg/L lo cual no cumple con la norma y los niveles de turbidez que van de 15 a 208 UNT para casi todo el canal principal del río.

**Tabla No. 48** REGION F. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes fecales	Oxígeno Disuelto	Turbidez
		NMP/100 ml	mg/l	UNT
		menor o igual a 1000 NMP/100 ml	mayor o igual de 7mg/l	menor o igual a 10 UNT
1	F-01-JIBOA	800	6,5	8
2	F-02-JIBOA	900	8	15
3	F-03-JIBOA	11000	7,4	208
4	F-04-JIBOA	2800	7,9	158
5	F-05-JIBOA	16000	8,5	151,5



## 6.2.6 REGION H – Cuenca del Río Grande de San Miguel

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados en la región hidrográfica H, que corresponde a la cuenca del Río Grande de San Miguel, en el cual se evaluaron también los ríos Las Cañas y Villerías, que son afluentes del mismo.

### 6.2.6.1 Agua para potabilizar

Para esta región se puede considerar que puede utilizarse para potabilizar, las aguas de los ríos Las Cañas, Villerías y el Grande de San Miguel antes de pasar por la ciudad de San Miguel. Por el impacto que la ciudad tiene sobre la calidad de agua del río, aguas abajo de la misma el río no es apto para este uso.

De los tres primeros sitios de toma de muestras ninguno cumplió con la normativa debido principalmente a los niveles de fenoles y presencia de Coliformes fecales en el agua como se observa en la tabla No. 49. Los fenoles se encuentran hasta 500 veces la normativa de agua para potabilizar y causan olor y sabor desagradable en las aguas.

Los niveles de Coliformes fecales llegan hasta un valor de 1,700 NMP/100ml en el Río las Cañas.

**Tabla No. 49** REGION H. Resultados de Calidad de Agua para potabilizar

Nº	STIODE MUSIRO	DBO	Coliformes Fecales	Oxígeno disuelto	pH	Cloros	Color Aparente	Turbidez	Fenoles	Cobre	Nitratos	TDS	Grc
		ng/l	NMP/100ml	ng/l	unidades de pH	ng/l	Unid de Co- Rt	UNT	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
		3040	100 NMP/100ml	465ng/l	6592	30250ng/l	20150uCo- Rt	10250UNT	0005ng/l	001ng/l	45ng/l	30660ng/l	5ng/l
1	HOLCAÑAS	4	1700	48	74	198	805	3	25	ND	14	28	ND
2	HOLVILE	5	240	83	785	396	355	1	22	001	26	244	ND
3	HOLGRAND	3	300	8	886	1188	255	1	2	001	43	276	ND
4	HOLGRAND	48	240000	05	786	2376	785	9	18	009	215	362	001
5	HOLGRAND	6	1100	7	795	2376	415	4	11	001	23	336	ND
6	HOLGRAND	12	220	46	795	4555	52	4	26	008	84	394	12

### 6.2.6.2 Agua para Riego

En la Región del Río Grande de San Miguel solamente el Río Villerías puede ser utilizado como agua para riego. Los demás sitios de muestreo no cumplen con la normativa de riego por los niveles de Coliformes fecales que van hasta un valor de 2,400,000 NMP/100 ml aguas abajo de la Ciudad de San Miguel en el puente Moscoso.

Los niveles de conductividad se elevan en la parte media baja del río, debido al efecto de oxidación de los compuestos orgánicos (vertidos) a compuestos más estables; lo anterior, produce un incremento de los valores de conductividad.

**Tabla No. 50** REGION H. Resultados de Calidad de Agua para riego

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes Fecales	Conductividad	Cloruros	pH	PARAMETROS PARA EVALUAR RAS			RAS	%Sodio
		NMP/100 ml	mSiemens/cm	mg/l Cl-1	unidades de pH	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l		meq/l
		1000 NMP/100 ml	0.250 - 0.750 ms/cm	195 mg/l	6.5-8.4					30-60
1	H-01-CAÑAS	1700	0,212	1,98	7,4	14,5	16,02	11,66	0,673	26,39
2	H-02-VILLE	240	0,233	3,96	7,85	17,1	19,22	12,63	0,744	27,12
3	H-01-GRAND	300	0,303	11,88	8,86	17,1	21,63	17,97	0,658	22,53
4	H-02-GRAND	2400000	0,759	23,76	7,86	37,4	45,65	16,03	1,213	31,14
5	H-03-GRAND	1100	0,813	23,76	7,95	42,3	44,85	21,86	1,295	31,31
6	H-04-GRAND	220	0,886	45,55	7,95	49,9	42,45	21,86	1,551	35,65

### 6.2.6.3 Agua con Calidad Ambiental

Al evaluar los resultados de calidad de agua se puede observar que solamente el Río Villerías presenta una calidad “Buena”, lo que permite el desarrollo de vida acuática. Todos los demás sitios monitoreados presentan una calidad de agua “Regular” lo que limita el desarrollo de vida acuática a excepción del sitio de muestreo aguas debajo de la Ciudad de San Miguel que presenta una calidad “Pésima” lo cual dificulta el desarrollo de vida acuática.

En general al ver los resultados de calidad de agua se observa que los sitios que presentan una calidad “Regular” se debe a los niveles bajos de oxígeno disuelto y los niveles elevados de Coliformes fecales.

Para el caso del sitio H-03-GRAND ubicado en el Río Grande de San Miguel en el Puente Moscoso aguas abajo de la Ciudad de San Miguel, el impacto de los vertidos principalmente en los valores de los parámetros de DBO5, Coliformes fecales y Oxígeno disuelto ocasionan esta calidad pésima.

**Tabla No. 51** REGION H. Resultados de Calidad Ambiental

No.	SITIO DE MUESTREO	ICA	CLASIFICACION
1	H-01-CAÑAS	59	REGULAR
2	H-02-VILLE	71	BUENA
3	H-01-GRAND	57	REGULAR
4	H-02-GRAND	18	PESIMA
5	H-03-GRAND	61	REGULAR
6	H-04-GRAND	52	REGULAR

#### 6.2.6.4 Agua para Contacto Humano

El Río Villerías y el Río Grande de San Miguel antes de la Ciudad de San Miguel cumplen con la normativa para el contacto humano y actividades de recreación.

El Río Las Cañas y el Río Grande de San Miguel después de la ciudad de San Miguel no cumplen con la calidad de agua y son un riesgo para el contacto humano, principalmente por los niveles de Coliformes fecales, que como ya se menciono se incrementa de un valor de 1100 a 2,400,000 NMP/100ml. Por otro lado, los niveles de oxígeno disuelto presentan valores que oscilan entre 0.5 y 4.8 mg/L.

**Tabla No. 52** REGION H. Resultados de Aptitud para Contacto Humano

No.	SITIO DE MUESTREO	Coliformes fecales	Oxígeno Disuelto	Turbidez
		NMP/100 ml	mg/l	UNT
		menor o igual a 1000 NMP/100 ml	mayor o igual de 7mg/l	menor o igual a 10 UNT
1	H-01-CAÑAS	1700	4,8	3
2	H-02-VILLE	240	8,3	1
3	H-01-GRAND	300	13,3	1
4	H-02-GRAND	2400000	0,5	9
5	H-03-GRAND	1100	7	4
6	H-04-GRAND	220	4,6	4



## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

#### 7.1.1 BALANCE HIDRICO

En el país se distinguen diferentes comportamientos y respuestas hídricas que varían espacialmente como reflejo de las condiciones orográficas, biofísicas y climáticas.

La región norte del país, aunque presenta valores altos de precipitación anual, también presenta valores altos y moderados de Evapotranspiración real dada su cobertura vegetal y las características de su suelos, y altos escurrimientos los cuales son los mas elevados a nivel nacional, lo cual condiciona unos cambios de almacenamiento bajos. Las cuencas ubicadas en esta zona, son las que presentan menor capacidad de regulación hídrica, la cual se manifiesta en las grandes variaciones de esorrentía entre los meses de la época seca y la época lluviosa.

Las zonas de la cordillera volcánica, y en especial los alrededores del volcán de Santa Ana, Lago de Coatepeque, y volcán de San Salvador, presentan los mayores cambios de almacenamiento de agua como respuesta a la conjugación de zonas de pluviosidad alta, menor Evapotranspiración real dada por su cobertura vegetal, especialmente bosques de café, y una alta capacidad de regulación hídrica, la cual se refleja en caudales base altos en la época seca e incrementos de esorrentía menores que otras cuencas del país en época de lluvias.

La parte baja de la cuenca del río Grande de Sonsonate, manifiesta una alta descarga de agua superficial, lo que evidencia una zona de descarga del agua se recarga en la zona norte de dicha cuenca.

Los alrededores del volcán de San Miguel, la parte baja de la cuenca del río Grande de San Miguel, al igual que la región de la Bahía de Jiquilisco presentan cambios de almacenamiento de moderados a altos como consecuencia de la conjugación de las variables que inciden en el ciclo hidrológico.

Las zonas mas desfavorables en cuanto a las condiciones de cantidad hídrica superficiales a nivel meteorológico e hidrológico (como conjugación de factores climáticos y biofísicos) y de recarga subterránea dada por cambios de almacenamiento, son la zona oriental del país, en la región hidrográfica del río Sirama y la zona nor occidental del país en Metapán.

Es importante destacar el papel que juega la cobertura vegetal en las retención o perdida de agua de los suelos, la cual se evidencia en el mapa de Evapotranspiración real, donde las menores perdidas de agua se dan e las zonas de cobertura boscosa de café.



### **7.1.2 CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES**

En general todas las aguas superficiales evaluadas para este estudio no cumplen con la aptitud de uso para potabilizar por métodos convencionales por los altos niveles de Fenoles, según la normativa establecida en el Decreto 51. Aunque las aguas pueden ser potabilizada a través de métodos no convencionales para su eliminación, incrementando el costo de tratamiento.

De 51 sitios de muestreo evaluados, solamente el 33% de las aguas cumplen con la calidad sanitaria necesaria para potabilizar. Es decir, el 77% se puede considerar no apto para este uso.

De 51 sitios de muestreo evaluados, solamente el 55% de las aguas cumple con la carga orgánica biodegradable cuantificada por la DBO<sub>5</sub> para potabilizar.

En general las aguas superficiales del país tienen una calidad de agua físico-química buena para riego, exceptuando pocos casos donde los niveles de contaminación son muy altos y afectan la conductividad de sus aguas como en los ríos Acelhuate, Sucio y Grande de San Miguel.

De 51 sitios de muestreo evaluados para riego, solamente el 33% de las aguas cumplen con la calidad sanitaria necesaria; el otro 77% no lo cumple por los altos niveles de Coliformes fecales.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas con el Índice de Calidad de Aguas el 11.70% son aguas con una calidad ambiental que permite el desarrollo de vida acuática.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas con el Índice de Calidad de Aguas el 41.70% son aguas con una calidad ambiental que limita el desarrollo de vida acuática.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas con el Índice de Calidad de Aguas el 41.20% son aguas con una calidad ambiental que dificulta o no permite el desarrollo de vida acuática.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas para la normativa de contacto humano el 37.25% cumplen con la aptitud de uso.

De lo anterior, se puede concluir que de las regiones hidrográficas analizadas, el 77% de las aguas superficiales se encuentran con algún grado de contaminación tomando el caso el uso más restrictivo, para los otros usos el porcentaje de aguas contaminadas puede disminuir.

Los parámetros de calidad de agua que afectan principalmente la aptitud de uso del agua para potabilización fueron los Fenoles, Coliformes Fecales y Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>). En el caso del riego, fueron los Coliformes Fecales.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, WWF, “Standards Methods for Analysis of the Water and Wastewater“. EUA, 19 Edition 1998.

CEDEX. “Asistencia Técnica en Normativa Ambiental”. Consultoría de la Agencia de Cooperación Española. 2000.

CEDEX. Balance Hídrico de Honduras

CENTELLA A; CASTILLO L; AGUILAR A. Escenarios Climáticos de referencia para la República de El Salvador. San Salvador. Julio 1998.

Diario Oficial de El Salvador. “Decreto 51” . 16 de Noviembre de 1987.

DOORENBOS J., PRUITT W. O. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. Las necesidades de agua de los cultivos. 1977.

FLORES R. D. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Publicación Técnica No. 30. Disponibilidad de humedad en el suelo en El Salvador por el método del Balance Hídrico.

IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Colombia

IPCC. Tercer Informe de Evaluación Cambio Climático 2001. La base Científica.

LOBOS, JOSÉ E, “Monitoreo de la Contaminación Hídrica de los Afluentes del Embalse del Cerrón Grande”. Junio de 2002 Dirección General de Recursos Naturales y Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

SALAZAR C. H. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Publicación Técnica No. 24. Evapotranspiración Potencial en El Salvador. 1980.

ROJAS M; ECHEVERRIA J. Estimación de la Demanda Sectorial del Agua en Centroamérica bajo tres escenarios futuros: 2010 – 2030 – 2050. Costa Rica. Enero 2003.

ROY L. DONSHUE; RAYMOND W. MILLER, JOHN C. SHICKLUG. Introducción a los Suelos y al Crecimiento de las plantas.

SNET. Servicio Hidrológico Nacional. Comportamiento Hídrico en El Salvador, causas y posibles consecuencias. San Salvador. Julio 2002. Pg web: [www.snet.gob.sv/informes.htm](http://www.snet.gob.sv/informes.htm)

SNET. Servicio Hidrológico Nacional. Propuesta de Descontaminación del canal principal de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa. Octubre 2002. Pg web: [www.snet.gob.sv/informes.htm](http://www.snet.gob.sv/informes.htm)



UNDP/WHO/UNESCO. Global Environmental Monitoring System (GEMS)–AGUA, Guía Operativa. Tercer Edición. 1992.

VEN TE CHOW. Hidrología Aplicada.

Universidad de Extremadura. Departamento de Biología y Producción de los Vegetales. Área de Edafología y Química Agrícola. Edafología. Ciencias Ambientales. Lección 4. Componentes del suelo. Fase líquida. Retención de agua por el suelo.

<http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL4FLRetAgua.htm>

Proyecto Nacional Agricultura de Precisión. Argentina.

<http://www.agriculturadeprecision.org/mansit/Comportamiento%20Fisico-Funcional%20de%20Suelos.htm>

[http://www.casapres.gob.sv/Simbolos\\_Patrios/datos.htm](http://www.casapres.gob.sv/Simbolos_Patrios/datos.htm)