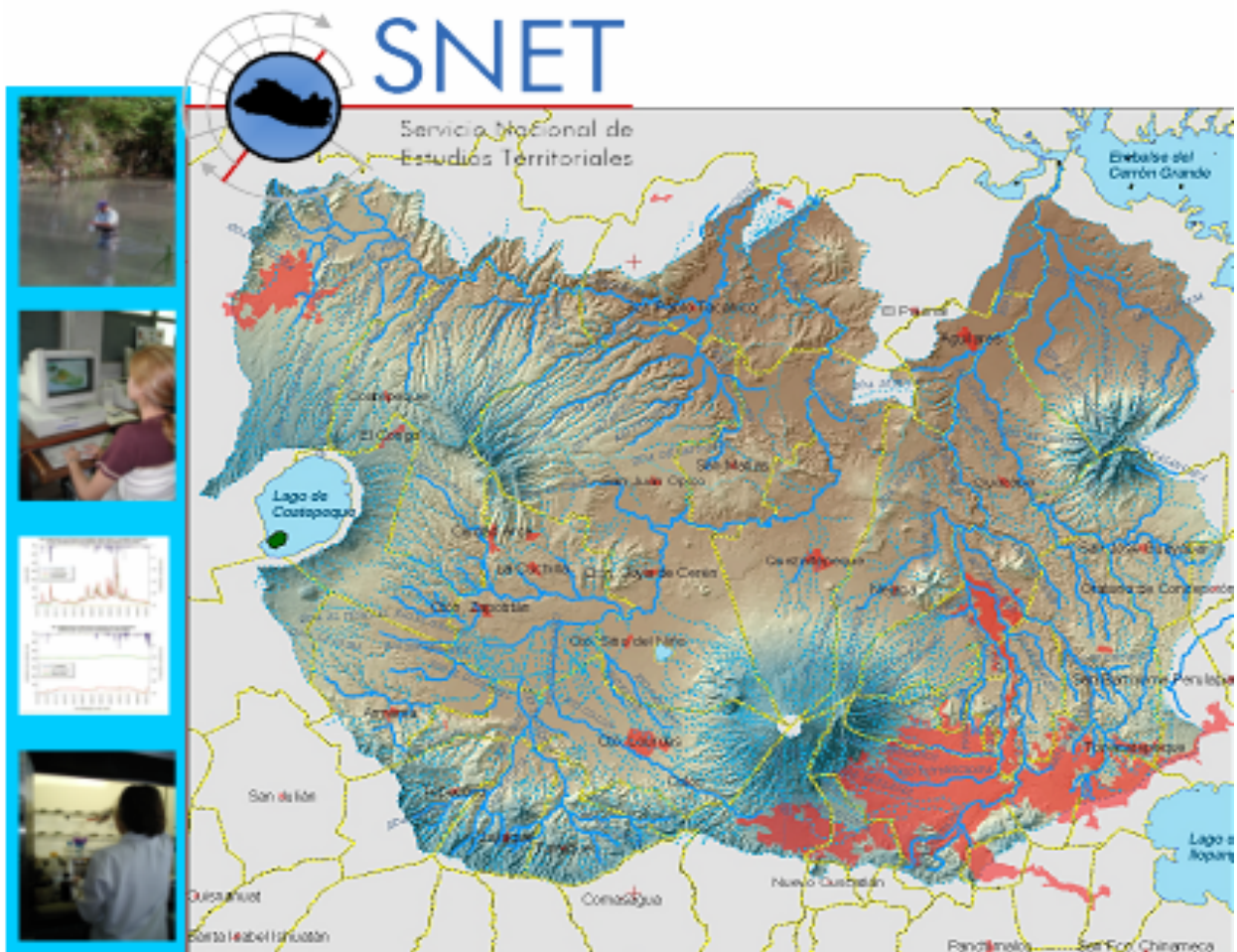


# PROPUESTA DE DESCONTAMINACION DEL CANAL PRINCIPAL DE LOS RIOS ACELHUATE, SUCIO Y SUQUIAPA



I.

## **INDICE**

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCION</b>	<b>2</b>
1.1	Antecedentes del Estudio	2
1.2	Objetivos	3
<b>II.</b>	<b>METODOLOGIA DE TRABAJO</b>	<b>4</b>
2.1	Levantamiento de Fuentes Contaminantes	6
2.1.1	Clasificación de las Descargas Puntuales	6
2.2	Localización de los Puntos de Muestreo	10
2.3	Análisis de Parámetros de Campo	10
2.4	Toma de muestras para análisis en laboratorio	10
<b>III.</b>	<b>APLICACION DEL MODELO MATEMATICO DE CALIDAD DE AGUAS. ASPECTOS METODOLOGICOS PARTICULARES</b>	<b>14</b>
3.1	Principios de Modelación	14
3.2	Características Principales del Modelo RIOS 4.0	15
3.3	Análisis de las Simulaciones Realizadas	15
3.4	Segmentación del Río Acelhuate	16
3.5	Segmentación del Río Sucio	18
3.6	Segmentación del Río Suquiapa	20
<b>IV.</b>	<b>EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA DE LOS RIOS SUCIO, SUQUIAPA Y ACELHUATE A TRAVES DE LA APLICACIÓN DE UN INDICE DE CALIDA DE AGUA</b>	<b>22</b>
4.1	Resultados Obtenidos	22
4.1.1	Río Acelhuate	22
4.1.2	Río Sucio	25
4.1.3	Río Suquiapa	29
<b>V.</b>	<b>USO DE LOS CURSOS DE AGUA EN LAS SUBCUENCAS</b>	<b>32</b>
5.1	Usos Propuestos	32
<b>V.</b>	<b>DISEÑO DE ESCENARIOS CON PROYECCIONES HACIA EL FUTURO DEL PROBLEMA DE CONTAMINACION DE LOS RIOS ACELHUATE, SUCIO Y SUQUIAPA.</b>	<b>33</b>
6.1	Estimación de Diversos Parámetros Hidráulicos	33
6.2	Proyecciones de Calidad Propuesta	33
6.2.1	Proyecciones del Río Acelhuate	34

6.2.1	Proyecciones del Río Acelhuate	40
6.2.1	Proyecciones del Río Acelhuate	46
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	53
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	55
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	56
ANEXO No. 1	Metodología de Trabajo	57
ANEXO No. 2	Antecedentes de la Zonificación de los ríos	59

## **I. INTRODUCCION**

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 de alcantarilla; también, alteraciones por causas naturales como derrumbes, infiltraciones de agua subterránea, deslizamientos, etc.

Una de las formas de abordar el estudio de la contaminación de las aguas superficiales es recolectando información de calidad y cantidad de agua, la cual debe de ser confiable, periódica y lineal para evaluar la situación de la calidad de las aguas a través de la utilización de herramientas como software de modelación y aplicación de índices de calidad de agua físico-químicos y biológicos. Con la información anterior, una definición de usos de aguas y un marco legal adecuado se puede apoyar el manejo integral y sustentable de los recursos hídricos.

### **1.1 Antecedentes del Estudio**

En El Salvador la problemática de la contaminación de los recursos hídricos superficiales esta ligada al desarrollo de las regiones, asentamientos urbanos, industria y agricultura, que aunado a la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales vuelve crítica la situación de la sustentabilidad de los recursos hídricos superficiales.

En el año 1995 la Organización de Estados Americanos (OEA) realizó una evaluación de las cuencas que presentaban mayor grado de deterioro del recurso hídrico, para encaminar acciones hacia su recuperación; se definió a las subcuencas de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa como las más contaminadas del país.

Basado en lo anterior se diseñó el Subcomponente de Monitoreo de los Recursos Hídricos del Programa Ambiental de El Salvador (Préstamo GOES-BID 886/OC-ES) y se ejecutó en la Dirección de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería (1997-2002). Dicho subcomponente involucra un monitoreo de calidad de agua de los ríos en estudio,

con el fin de elaborar un modelo de contaminantes orgánicos biodegradables para realizar proyecciones y elaborar propuestas de descontaminación en los mismos. Adicionalmente, incluye una evaluación de la calidad de los ríos a través de un Índice de Calidad de Agua (ICA) y una propuesta de usos del río en base a la aplicación de los tratamientos propuestos.

El trabajo de monitoreo realizado por el PAES constituye la primera etapa dentro de las estrategias de descontaminación de ríos estudiados, debido a que solamente se ha elaborado el modelo para compuestos orgánicos biodegradables, lo que corresponde a la DBO5. Es claro que la contaminación de los ríos en estudio según la información recopilada, también está compuesta por metales pesados y residuos de plaguicidas, lo que constituye una segunda y tercera etapa de trabajo respectivamente.

Estas etapas posteriores serán realizadas por el Servicio Hidrológico Nacional del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) a través del fortalecimiento de la capacidad de monitoreo, análisis e investigación en contaminación, para consolidar las estrategias de descontaminación y completar las propuestas de uso del agua que se presentan en este documento.

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo General**

Elaborar una propuesta de trabajo técnica y económicamente factible para descontaminar los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate con una calidad del agua que responda a un uso propuesto, en base a los planes de desarrollo locales y a un balance real entre economía y sostenibilidad del recurso. Con el objetivo de disminuir el riesgo a la salud de la población y el riesgo por la disminución de la disponibilidad hídrica.

### **Objetivos Específicos**

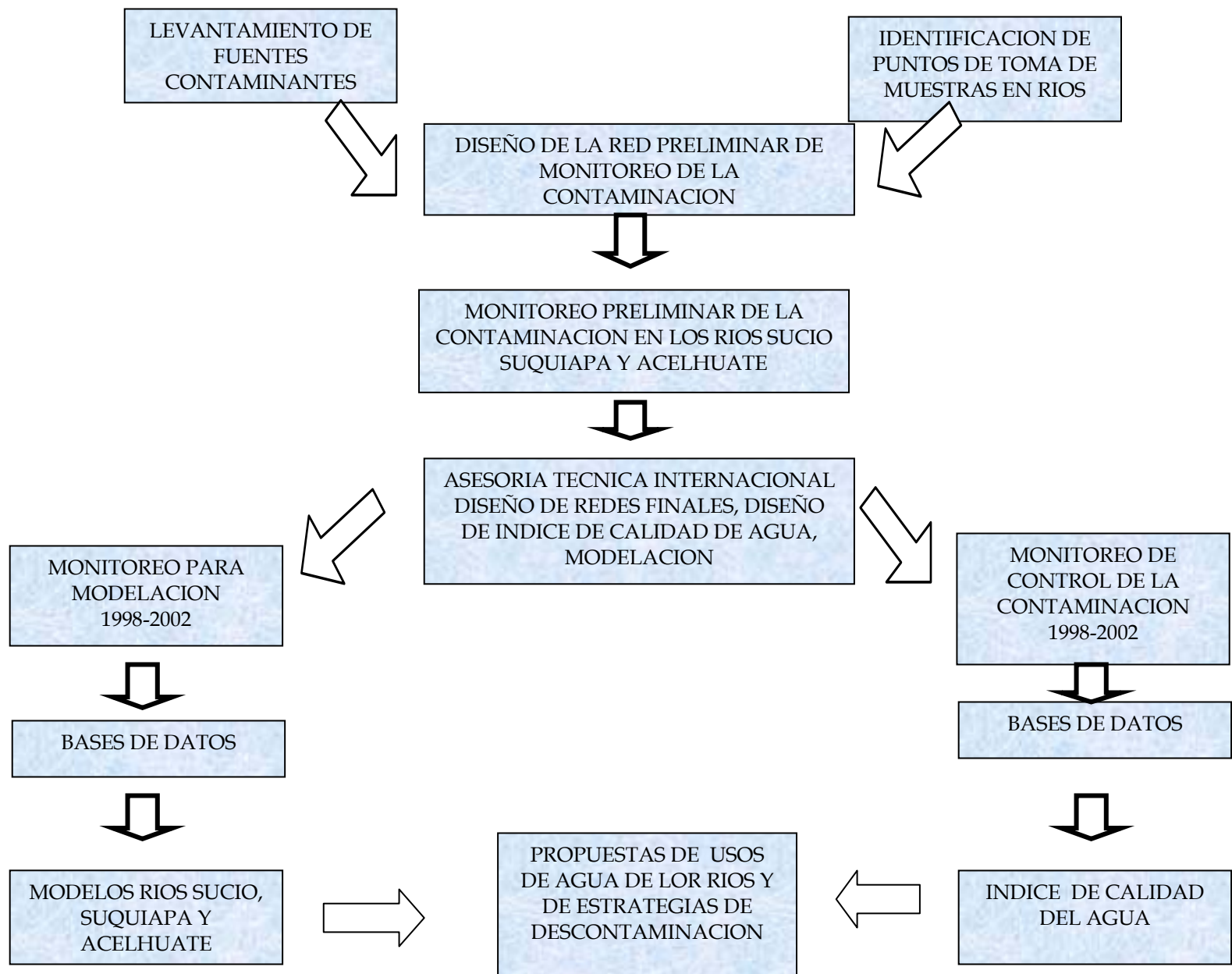
- a) Elaborar y aplicar una metodología de trabajo y un enfoque de abordaje a la problemática de contaminación de los recursos hídricos para ser replicada en otras cuencas del país.
- b) Fortalecer la capacidad de monitoreo e investigación del país para abordar y solucionar problemas de contaminación de aguas superficiales.

- c) Conocer la verdadera problemática de la contaminación de cada uno de los ríos en estudio: fuentes contaminantes, caracterización de dichas fuentes contaminantes, impacto de las fuentes en la calidad de agua del río, respuesta del río al vertido de efluentes domésticos e industriales.
- d) Calificar la calidad del río a través de la aplicación de un Indicador de calidad de agua.
- e) Proponer un uso para el río en base a uso actual del mismo, planes de desarrollo, población, aptitud del suelo y nivel de contaminación actual del río.
- f) Elaborar un modelo de contaminantes orgánicos biodegradables (OD-DBO5) que replique el comportamiento del río para elaborar proyecciones a largo plazo en base a tratamientos aplicados o propuestos a aplicar, para definir la propuesta de descontaminación en los mismos.

## **II. METODOLOGIA DE TRABAJO**

En el Anexo N° 1 se presenta un resumen de las actividades involucradas en el trabajo desarrollado en el presente estudio.

Para abordar la investigación y obtener los objetivos apuntados en el numeral II, la metodología de trabajo se presenta en el siguiente diagrama de flujo.





## **2.1. Levantamiento de Fuentes Contaminantes**

Las fuentes de contaminación en las cuencas en estudio se pueden dividir en dos grandes categorías (a) Fuentes puntuales y (b) Fuentes no puntuales.

Las puntuales son aquellas que cuentan con un punto de descarga bien definido y generalmente son continuas. Una descarga determinada puede localizarse e identificarse por una tubería o grupo de tuberías. Los dos grupos principales de fuentes puntuales son:

- a. Los vertidos municipales: compuestos por descargas de aguas municipales las cuales en su mayoría no han recibido un tratamiento adecuado.
- b. Los vertidos industriales: compuestos por descargas de aguas en general con tratamiento primario o ninguno.

Las principales fuentes no puntuales son: a) agrícolas, b) forestales, c) Atmosférica, d)escorrentia. El aspecto característico de toda fuente no puntual es el origen disperso de la descarga. Esto quiere decir que no es posible relacionar la descarga con un lugar específico y definido. Además, la fuente puede ingresar al río por escorrentia superficial, como es el caso de las descargas agrícolas.

Las características de contaminación de las cuencas en estudio son:

- i. En la Sub cuenca del río Acelhuate, el área de contaminación cuenta con una superficie de 371 Km<sup>2</sup> que representa el 53% de la Subcuenca.
- ii. En la Subcuenca del río Sucio el área de contaminación es más extensa, con una superficie de 729 Km<sup>2</sup> que representa el 88% de la Subcuenca.
- iii. En la Subcuenca del río Suquiapa la contaminación se concentra en una superficie de 88 Km<sup>2</sup> que representa el 21% del área de la Subcuenca.

### **2.1.1 Clasificación de las Descargas Puntuales**

A fin de identificar las principales fuentes puntuales de contaminación dentro de las subcuencas, se realizó una investigación en campo y se levantaron las industrias que vierten

directamente al canal principal de los ríos estudiados o sus tributarios (Marzo de 1998, actualizada en el 2001). Dentro de los resultados se identificaron 100 industrias de las cuales 49 pertenecen a la subcuenca del Río Sucio, 9 a la Subcuenca del Río Suquiapa y 42 a la Subcuenca del Río Acelhuate las cuales descargaban directamente a quebradas o al canal principal de los ríos evaluados; pero es importante mencionar, que existe una gran cantidad de industrias en las cuencas que se conectan al alcantarillado sanitario y estas no han sido caracterizadas. La Figura No. 1 presenta dentro del área geográfica de cada una de las subcuencas, la ubicación de las industrias y su clasificación en base a definición de colores. Los gráficos del 1 al 3 presentan la clasificación de las industrias para cada una de las subcuencas estudiadas.

Se observa que dentro de las subcuencas de los ríos Acelhuate y Sucio los vertidos son principalmente de industrias que descargan al canal principal o sus tributarios, seguidas por las agroindustriales. Al contrario de la subcuenca del Río Suquiapa donde la composición es más sencilla y se tiene dos actores principales donde las agroindustrias son la mayoría.

Como resultado de este proceso, se obtuvo un listado detallado de todas las industrias y fuentes puntuales de contaminación que descargan directamente a los ríos principales y afluentes de las cuencas en estudio.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> MAG.DGRNR-PAES, CONSULTORIA “LEVANTAMIENTO DE FUENTES CONTAMINANTES EN LOS RIOS SUCIO, SUQUIAPA Y ACELHUATE”, Marzo 1998. Actualización 2001.

FIGURA No. 1 Levantamiento de Fuentes Contaminantes en los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa. Actualizada en el año 2001.

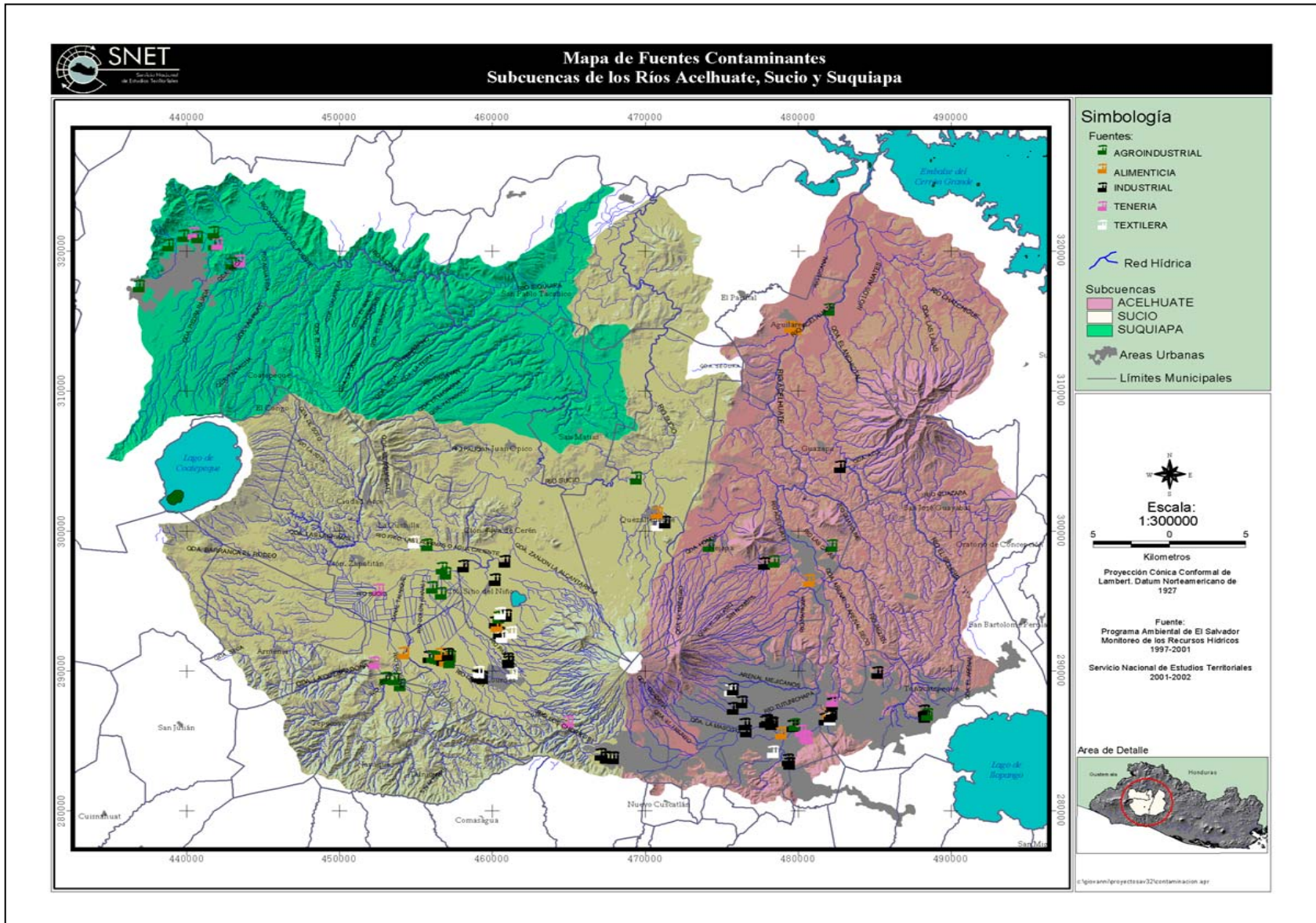


GRAFICO No. 1 Composición de Fuentes Contaminantes que descargandirectamente al Río Acelhuate

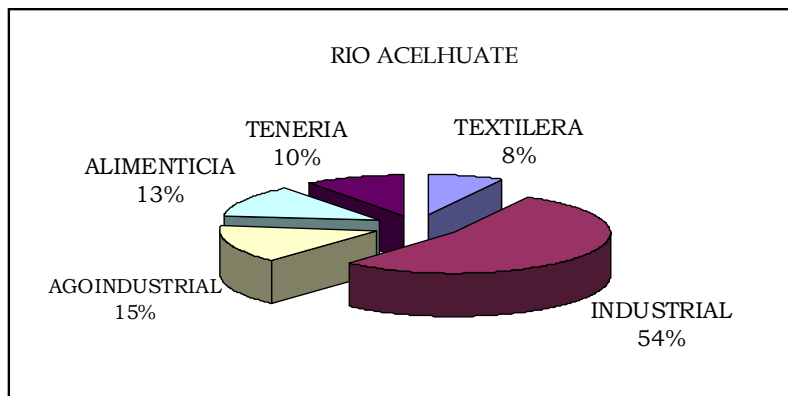


GRAFICO No. 2 Composición de Fuentes Contaminantes que descargan directamente al Río Sucio

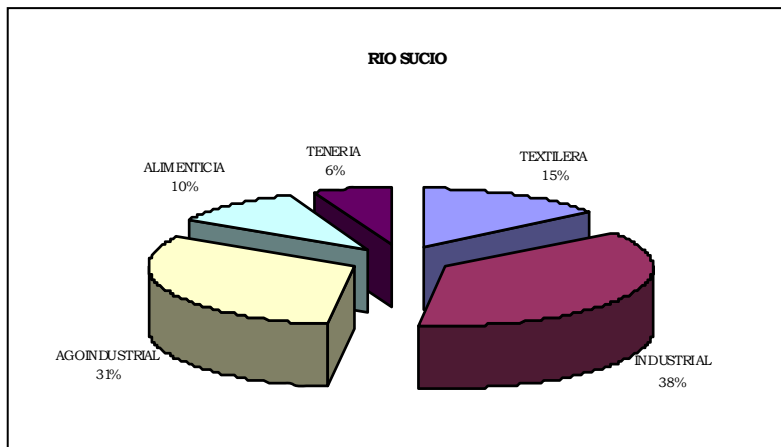
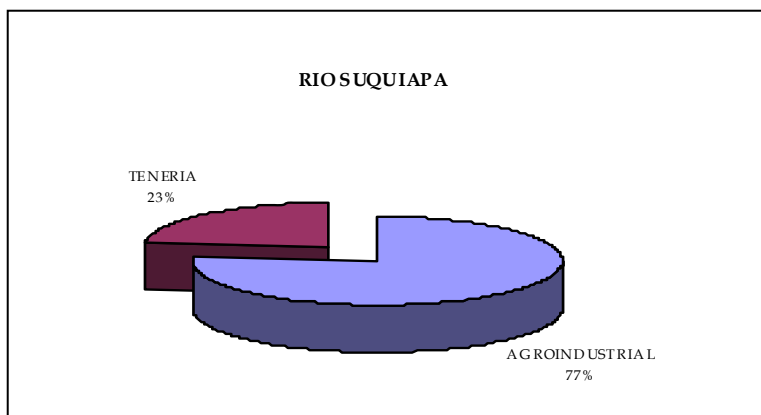


GRAFICO No. 3 Composición de Fuentes Contaminantes que descargan directamente al Río Suquiapa



## **2.2 Localización de puntos de muestreo**

La red de 72 puntos para modelación de OD-DBO<sub>5</sub> fue diseñada en base a los objetivos del proyecto y tomando en cuenta aspectos importantes como accesibilidad del sitio, la topografía del área, la conformación del drenaje superficial de la subcuenca, fuentes contaminantes, etc.. Con la finalidad de evaluar el grado de contaminación de los recursos hídricos superficiales de cada una de las cuencas se escogieron 11 sitios de control de contaminación en base a la teoría del centroide la cual ubica los puntos o puntos de control en base a la carga contaminante (en este caso Volumen por DBO<sub>5</sub>), en el inicio y desembocadura del sistema. Este trabajo fue realizado por el Programa Ambiental de El Salvador en el período de julio a septiembre de 2000. En Figura No. 2 se presenta la disposición de los puntos.

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

Los parámetros tomados en campo fueron los siguientes: temperatura de la muestra, temperatura ambiente, pH, conductividad, oxígeno disuelto, salinidad. Dichos análisis fueron realizados con el Equipo de Calidad de Agua (Water Checker Modelo U-10).

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

Se tomaron cuatro tipos de muestras:

- Físico-químicas
- Bacteriológicas
- Metales pesados
- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días

Las muestras fueron analizadas principalmente en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables y un porcentaje menor en un Laboratorio privado. Todas las muestras contaron con custodia de campo y laboratorio.

Los análisis realizados se detallan a continuación

TABLA N°1: Parámetros seleccionados para ser medidos en la red

**MEDICIONES "IN SITU"**

N°.	PARAMETROS	UNIDAD	METODOLOGIA	MODELO	CONTROL
1	Temp. Ambiente	°C	Termómetro		x
2	Temp.del Curso	°C	Sensor de campo Horida U-10	X	
3	pH	u Ph	Sensor de campo Horida U-10	X	
4	Conductividad	µmho/cm	Sensor de campo Horida U-10	X	
5	Turbidez	UFT	Sensor de campo Horida U-10	X	
6	Oxígeno Disuelto	mg/l	Sensor de campo Horida U-10	X	

**MEDICIONES EN LABORATORIO**

N°.	PARAMETROS	UNIDAD	METODOLOGIA	MODELO	CONTROL
1	DBO <sub>5</sub>	Mg DBO <sub>5</sub> /L	Método 5210 B *	X	
2	DQO	Mg O <sub>2</sub> /L	Método 5220 D *		X
3	Grasas y Aceites	mg Aceites y Grasas/L	Método 5520 B-D *		X
4	Sulfuro	Mg S/L	Método 4500-S <sup>2</sup> D-F *		X
5	Detergentes	Mg SAAM/L	Método 5540 C *		X
6	Fosforo de Ortofosfatos	Mg P-PO <sub>4</sub> /L	Método 4500-P *		X
7	Fosforo total	Mg P-total/L	Método 4500-P *		X
8	Nitrógeno de Nitratos	mg N-NO <sub>3</sub> /L	Método 4500-NO <sub>3</sub> *	X	
9	Nitrógeno de Nitritos	MgN-NO <sub>2</sub> /L	Método 4500-NO <sub>2</sub> B *	X	
10	Nitrógeno Amoniacal	MgN-NH <sub>3</sub> /L	Método 4500 NH <sub>3</sub> B y C *	X	
11	Nitrógeno Total Kjeldhal	mg NTK/L	Método 4500 Norg - C *	X	
12	Sólidos Totales	mg Sólidos Totales /L	Método 2540 B *		X
13	Sólidos Suspendidos Totales	mg Sólid.Susp. Totales /L	Método 2540 B *		X
14	Sólidos Disueltos Totales	mg Sólidos Disueltos /L	Método 2540 B *		X
15	Sólidos Fijos	mg Sólidos Fijos/L	Método 2540 E *		X
	Sólidos Sedimentables 10 min	mL Sólidos Sedimen./L	Método 2540 F *		X
16	Sólidos Sedimentables 2 hs	mL Sólidos Sediment./L	Método 2540 F *		X
17	Color	u Co-Pt	Método 2120 C *		X
18	Fenoles	Mg Fenol/L	Método 5530 A,B,C *		X
19	Cloruros	mg Cl-/L	Método 4500Cl B *	X	
20	Alcalinidad	MgCaCO <sub>3</sub> /L	Método 2320 B *	X	
21	Dureza	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Método 2340 C *	X	
22	Coliformes Totales	Col.Coliformes/100ml	Método 9222 B *	X	
23	Coliformes Fecales	Col.Coliformes Fecales/100ml	Método 9222 D *	X	

\* Según Standard Methods 19 th. Edition

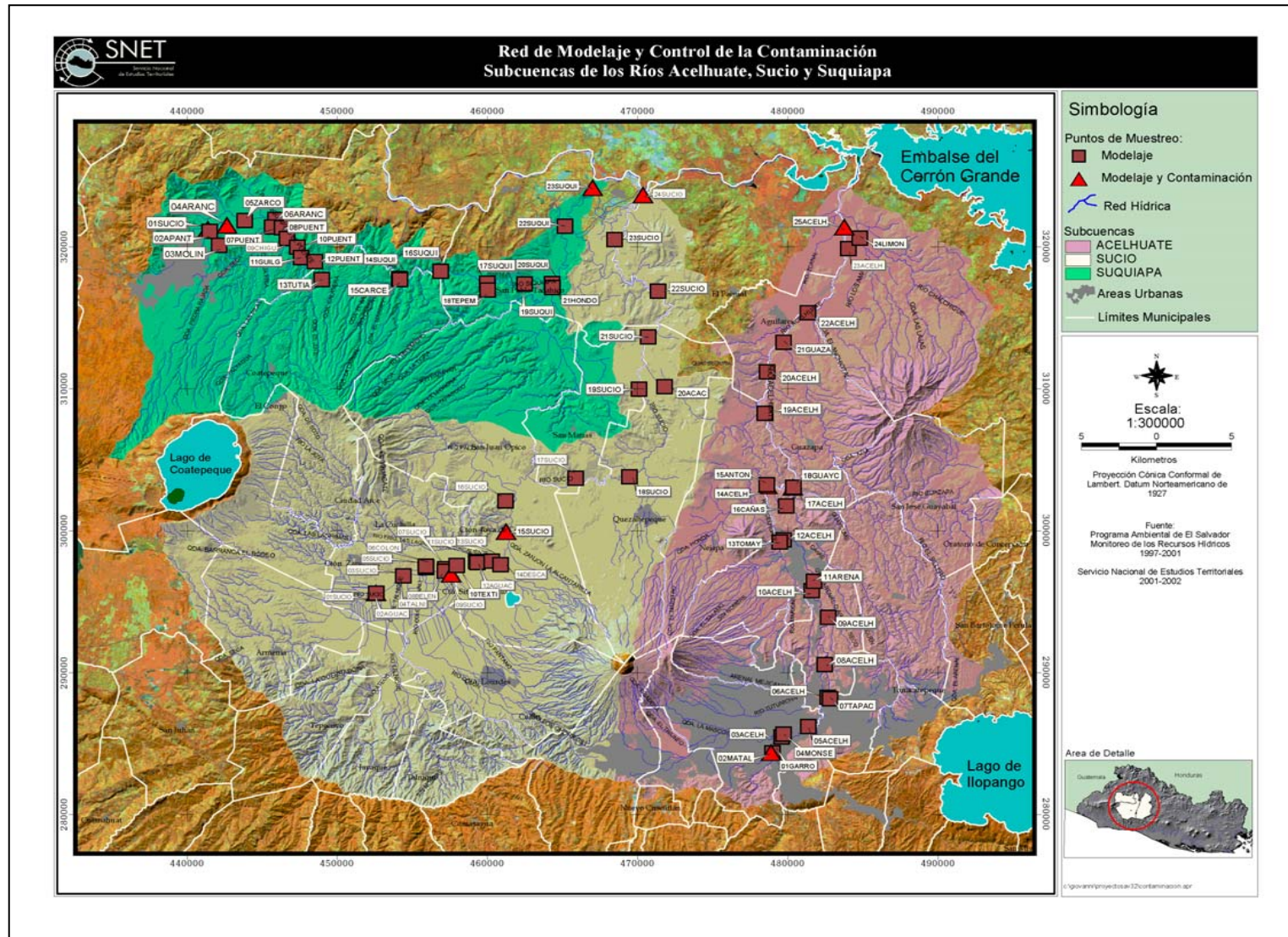
El muestreo objeto del presente trabajo se realizó en el período de noviembre de 2000 a noviembre de 2001, el muestreo de modelación se realizó cada mes y medio en los 72 puntos pertenecientes a las tres subcuencas y el muestreo de control se realizó de forma trimestral a los 11 puntos seleccionadas de las tres subcuencas.

Toda la información recopilada se encuentra en la Base de Datos desarrollada que incluye los datos de calidad de agua de los puntos de muestreo con un período de trabajo de 1998-2002. Esta base de datos cuenta con información de ubicación geográfica de sitios de muestreo, caracterización de los sitios, accesos, fotografías, mapas y descripción física de la estación con promedios de sección transversal del río, caudales. Adicionalmente la base de datos presenta un análisis estadístico básico para el manejo de la información, contando con herramientas gráficas y de tabulación.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> MAG-DGRNR-PAES, Base de datos de Consultoría “Monitoreo de los Afluentes al Embalse del Cerrón Grande” 1999-2002

FIGURA No. 2 Red de Puntos de Toma de Muestra de la Contaminación en las subcuencas de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa.





### **III. APLICACION DEL MODELO MATEMATICO DE CALIDAD DE AGUAS. ASPECTOS METODOLOGICOS PARTICULARES.**

#### **3.1 Principios de Modelación.**

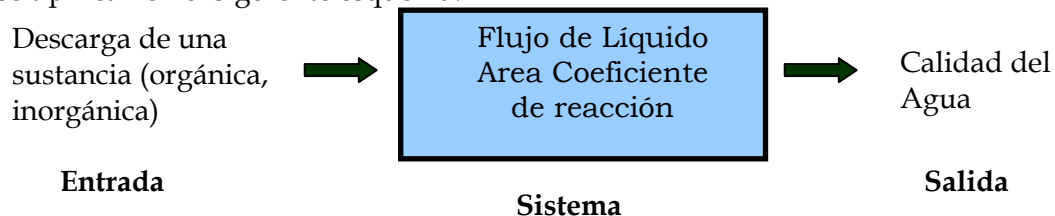
Los modelos matemáticos son herramientas de suma utilidad para analizar soluciones ingenieriles de problemas de control y manejo de problemas de calidad de aguas, dado que relacionan las entradas de aguas residuales con la calidad del cuerpo receptor.

Los diversos grados de tratamiento, la ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales, el aumento de los flujos mínimos, los sistemas de tratamiento regional vrs. Tratamientos múltiples, constituyen algunas de las alternativas cuya influencia sobre la calidad de las aguas puede analizarse mediante el uso de un modelo.

Los componentes de un sistema que define un problema de calidad de aguas son los siguientes:

1. La entrada de descargas puntuales provenientes de las actividades del hombre y la naturaleza en la cuenca alta del río Lempa.
2. Las reacciones y transformaciones químicas y biológicas, así como el movimiento del agua que producen niveles diferentes de calidad de agua en determinado tiempo y espacio del ecosistema acuático.
3. La salida o concentración resultante de una sustancia, tal como el oxígeno disuelto o nutriente en una ubicación específica en el cuerpo de agua, durante un tiempo específico del día o del año.

Estos se tipifican en el siguiente esquema:



### **3.2 Características principales del modelo RIOS 4.**

El Programa RIOS 4.0 se puede aplicar para el análisis en el estado permanente de oxígeno disuelto en ríos donde la dispersión no es significativa en comparación con el transporte advectivo. Se puede evaluar el efecto de fuentes puntuales o dispersas de contaminantes en relación a la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea ( $DBO_C$ ) y la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada ( $DBO_N$ ). También se incluyen fuentes puntuales de déficit de oxígeno disuelto, demanda de oxígeno disuelto de los sedimentos, y fotosíntesis y respiración de las algas. Para el caso del modelo empleado las ecuaciones utilizadas son las desarrolladas por “Streeter-Phelps”. La característica más significativa de este modelo es su capacidad de operar en situaciones de bajos niveles de oxígeno o en ausencia del mismo. Esta modificación fue introducida en base a estudios realizados por Gundelach y Castillo, y se basa en la aseveración que aún en condiciones de bajos o nulos niveles de oxígeno disuelto se produce una degradación de la  $DBO_C$  (carbonácea) pero con cinéticas de reacción mucho más lentas. Además durante los períodos anaeróbicos no se produce degradación de compuestos de nitrógeno. Por definición cuando el modelo simula un oxígeno disuelto igual o menor a 1,5 mg/l automáticamente inhibe la reacción de los compuestos nitrogenados los cuales se comportan como si fueran casi conservativos. Además para este caso el modelo no considera la Demanda Béntica ni el efecto de generación de oxígeno por fotosíntesis

### **3.3 Análisis de las simulaciones realizadas**

Se realizaron distintas simulaciones de las condiciones reales de calidad del río utilizando la información disponible, a fin de verificar el grado de ajuste del modelo a la misma. Los datos de calidad de aguas de entrada al modelo fueron los valores de las medianas determinadas en distintos períodos de tiempo.

Cuando se analiza una simulación, debe considerarse la tendencia general del modelo y su capacidad de reproducir la realidad dentro de cierto ámbito. Debe considerarse que se representa la calidad del curso de agua desde su nacimiento hasta casi su desembocadura en el río Lempa, lo cual determina que para el río Acelhuate se modelen 60 Km, para el río Sucio 69 Km y para el río Suquiapa 43 Km.

En estas distancias se encuentran comprendidos una multiplicidad de factores urbanísticos, sociales, políticos y ambientales, de una previsibilidad difícil de evaluar por estar asociada a aspectos a veces meramente coyunturales.

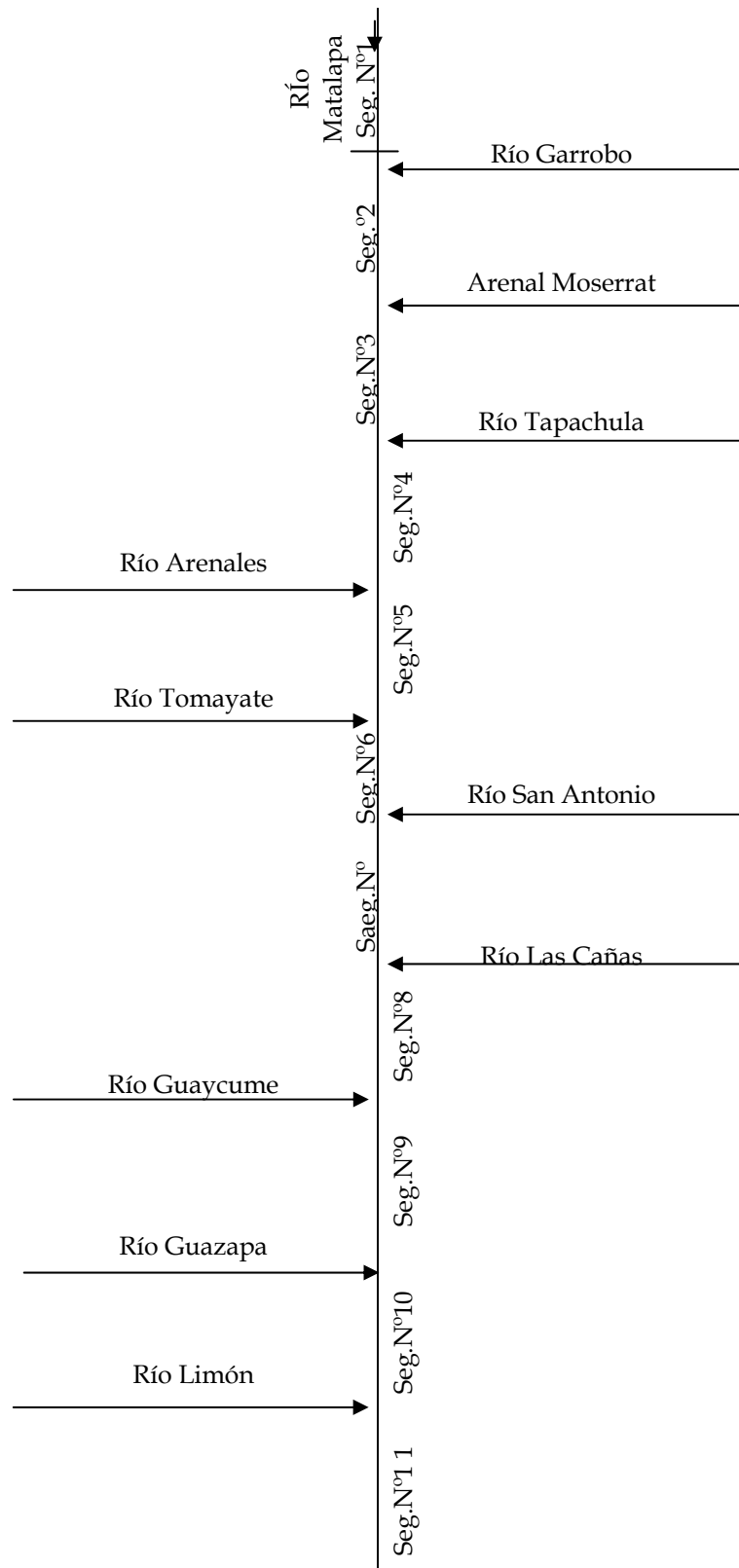
### 3.4 Segmentación del río Acelhuate

El curso del Acelhuate se dividió en once segmentos de acuerdo a los preceptos enunciados. Como criterio, se realizó un análisis previo del caudal y calidad de todas las descargas basándose en tareas de relevamiento realizadas en estudios anteriores. Se eligieron solo aquellas significativas por su magnitud, concentración o ambos. En la tabla No.2 se presenta la segmentación del río y la ubicación de los puntos de muestreo con la medida progresiva de las distancias hasta cada punto de interés a partir del kilómetro cero.

TABLA N° 2 : Listado de puntos de calidad de aguas operadas en el río Acelhuate

Código de estación	Descripción	Distanc. desemboc. (km)
01 MATAL	R. Matalapa antes R. Garrobo	59,51
02 GARRO	R. Garrobo antes R. Matalapa	59,49
03 ACELH	R. Acelhuate Pte.6° Av. Sur	57,7
04 MONSE	Arenal Monserrat Pte. Malespin	57,57
05 ACELH	R. Acelhuate Colonia Quiñones	54,1
06 ACELH	R. Acelhuate antes R. Tapachula	51,2
07 TAPAC	R. Tapachula antes Univ Don Bosco	51,19
08 ACELH	R. Acelhuate Troncal norte Km 5,5	47,95
09 ACELH	R. Acelhuate Col. El Toril	44,15
10 ACELH	R. Acelhuate Pte, ciudad Mariona	41,15
11 ARENA	R. Arenales antes R.Acelhuate	40,2
12 ACELH	R. Acelhuate Col. Valle del Sol	35,65
13 TOMY	R.Tomayate Navas Monserrat	35
14 ACELH	R. Acelhuate antes R. San Antonio	30,8
15 ANTON	R. San Antonio antes R. Acelhuate	30,15
16 CAÑAS	R. Las Cañas Canton Joya Grande	30
17 ACELH	R. R. Acelhuate antes R. Guaycume	29,5
18 GUAYC	R. Guaycume antes R. Acelhuate	28,3
19 ACELH	R. Acelhuate Est. Ferrov. Guazapa	22,3
20 ACELH	R. Acelhuate Cantón Las Tunas	17,3
21 GUAZA	R. Guazapa antes R. Acelhuate	15,5
22 ACELH	R. Acelhuate Ing. San Francisco	11,95
23 ACELH	R. Acelhuate Hda. San Diego	8,95
24 LIMON	R. Limón antes R. Acelhuate	4
25 ACELH	R. Acelhuate Pte. Las Tunas	0

### Esquema de cuenca del río Acelhuate



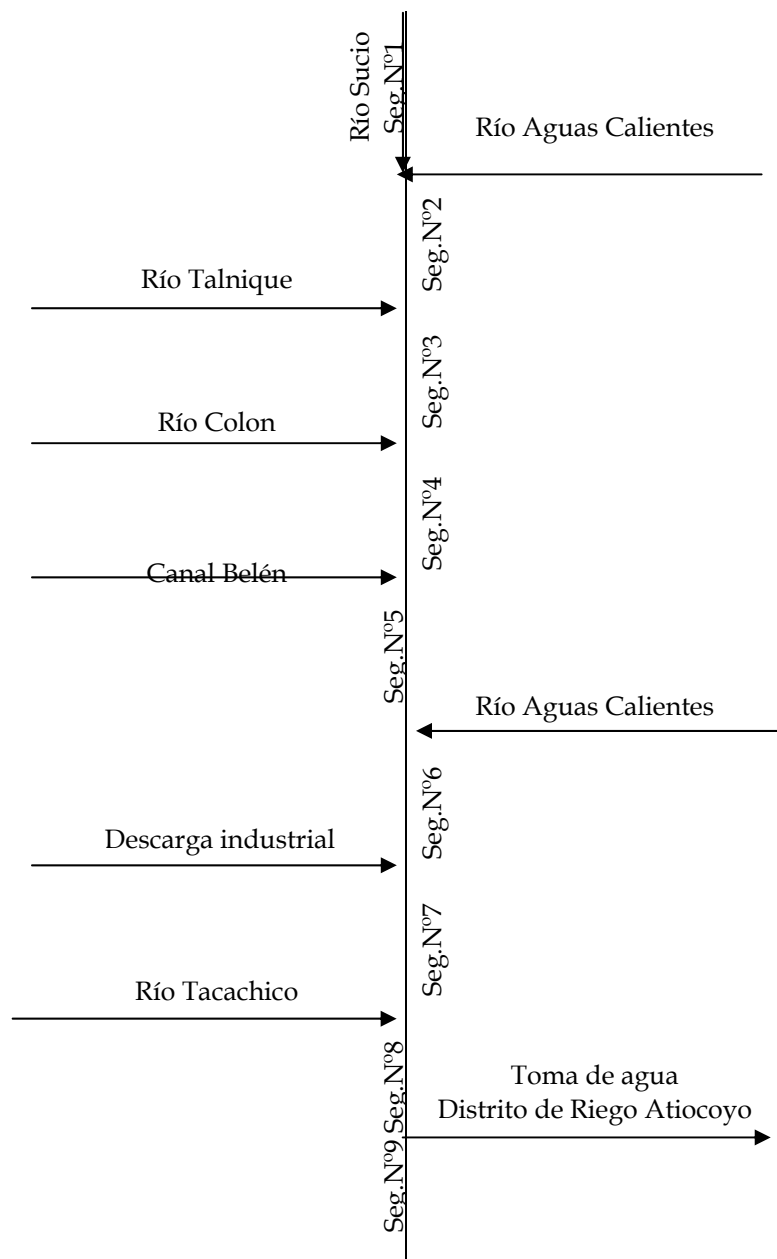
### 3.5 Segmentación del río Sucio

El río Sucio se dividió en nueve segmentos, utilizando los mismos criterios que para el río Acelhuate. A continuación en la Tabla No.3 se presenta la segmentación del río y la ubicación de las puntos de muestreo con las distancias progresivas medidas hasta cada punto de interés a partir del kilómetro cero.

TABLA N° 3 : Listado de puntos de calidad de aguas operadas en el río Sucio

Código de estación	Descripción	Distanc. Desemboc. (km)
01 SUCIO	R. Sucio antes R. Aguas Calientes	68,85
02 AGUAC	R. Aguas Calientes antes R.Sucio	68,75
03 SUCIO	R. Sucio antes R.Talnique	66,35
04 TALNI	R. Talnique antes R. Sucio	66,25
05 SUCIO	R. Sucio antes R.Colon	64,65
06 COLON	R. Colon antes R. Sucio	64,55
07 SUCIO	R. Sucio antes Canal Belen	63,4
08 BELEN	Canal Belen antes R. Sucio	63,3
09 SUCIO	R. Sucio Pte. CEDEFOR	62,5
11 SUCIO	R. Sucio antes R. Aguas Calientes	60,95
12 AGUAC	R. Aguas Calientes antes R. Sucio	60,75
13 SUCIO	R. Sucio Nuevo Sitio del Niño	59
14 DESCA	Descarga industrial	58
15 SUCIO	R. Sucio Nueva Joya de Ceren	54,75
16 SUCIO	R. Sucio N.S de los Encuentros	51,75
17 SUCIO	R. Sucio presa Hda. San Lorenzo	36,2
18 SUCIO	R. Sucio Pte. Ruta Quetzaltepeque	30,95
19 SUCIO	R. Sucio Est. Hidrom. El Jocote	22,4
20 TACAC	R. Tacachico antes R. Sucio	20,4
21 SUCIO	R. Sucio Hda. Rancho Quemado	17,45
22 SUCIO	R. Sucio Hda. El Refugio	12,95
23 SUCIO	R. Sucio Hda. Atiocoyo	5,5
24 SUCIO	R. Sucio Est. Hid. S Fco. Dos Cerros	0

## Esquema de cuenca del Río Sucio



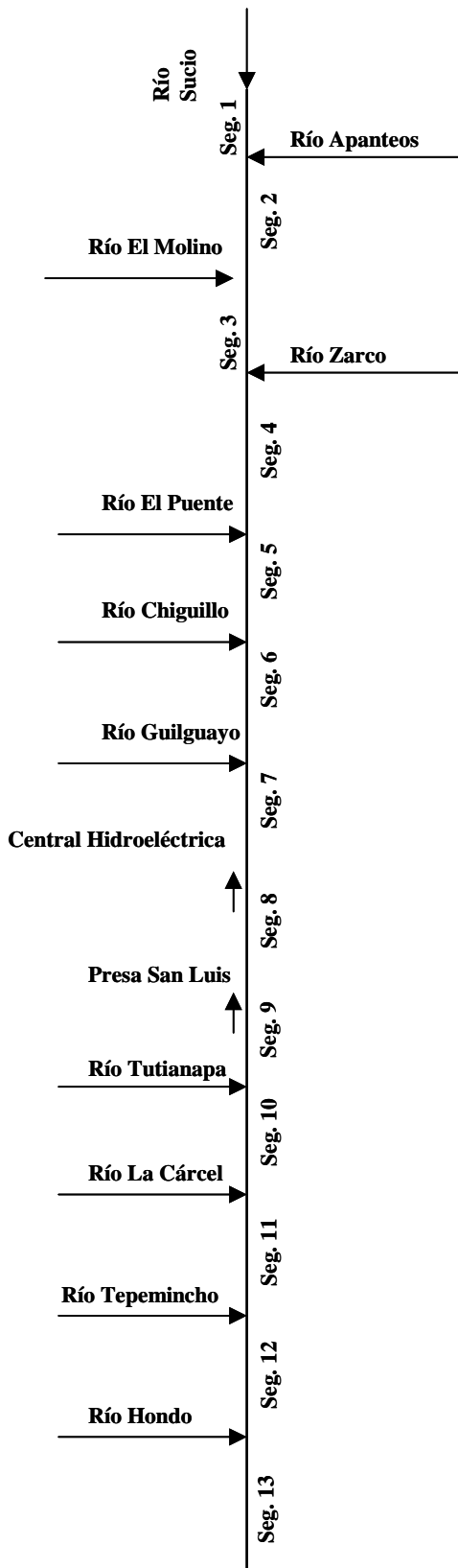
### 3.6 Segmentación del río Suquiapa

El río Suquiapa se dividió originalmente en nueve segmentos, utilizando los criterios ya enunciados. De la observación de los datos de campo de oxígeno disuelto y revisando la planimetría del curso se determinó que se producía una oxigenación importante debida a dos caídas de agua ocasionadas por la presa San Luis y la central hidroeléctrica. En la siguiente figura se presenta la segmentación del río y en la Tabla N°4 se presentan las distancias progresivas medidas hasta cada punto de interés a partir del kilómetro cero.

TABLA N° 4 : Listado de puntos de calidad de aguas operadas en el Río Suquiapa

Código de estación	Descripción	Distanc. desemboc. (km)
01 SUCIO	R. Sucio antes R. Apanteos	42,75
02 APANT	R. Apanteos antes R. Sucio	42
03 MOLIN	R. El Molino aguas abajo tenería	41,5
04 ARANC	R. Aranchacal abajo Pta. Cutumay	40,25
05 ZARCO	R. Zarco antes R. El Puente	39
06 ARANC	R. Aranchacal antes R. El Puente	37,75
07 PUENT	R. El Puente antes R. Aranchacal	36,5
08 PUENT	R. El Puente antes R. Chiguillo	36
09 CHIGU	R. Chiguillo antes R. El Puente	34,8
10 PUENT	R. El Puente antes R. Guilguayo	33,55
11 GUILG	R. Guilguayo antes R. El Puente	33,05
12PUENT	R. El Puente presa San Luis	31,8
13 TUTIA	R. Tutianapa antes R. Suquiapa	30,05
14 SUQUI	R. Suquiapa antes R. La Carcel	21,65
15 CARCE	R. La Carcel antes R. Suquiapa	21,55
16 SUQUI	R. Suquiapa luego R. Solimancito	19,55
17 SUQUI	R. Suquiapa antes R. Tepemicho	14,05
18 TEPEM	R. Tepemicho antes R. Suquiapa	13,55
19 SUQUI	R. Suquiapa Cement. S.P. Tacachico	9,8
20 SUQUI	R. Suquiapa antes R. Pazo Hondo	7,8
21 HONDO	R. Pazo Hondo antes R. Suquiapa	7,55
22 SUQUI	R. Suquiapa Puente Sifón	1,7
23 SUQUI	R. Suquiapa aguas abajo ANDA	0

**Esquema de  
cuenca del Río  
Suquiapa**





#### **IV. EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA DE LOS RIOS SUCIO, SUQUIAPA Y ACELHUATE A TRAVES DE LA APLICACIÓN DE UN INDICE DE CALIDAD GENERAL**

Para calificar la calidad de agua de los ríos estudiados se elaboró un índice de calidad general ponderando en una escala numérica simple los puntos de monitoreo y de esta forma estudiar su evolución a través del tiempo, la información de calidad de agua utilizada para el cálculo de los índices es de época seca y la de transición de época seca-lluviosa.

Este índice toma en cuenta los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, nitrógeno total kjeldalh, fósforo total, temperatura, turbidez y sólidos totales. Los parámetros cuentan con diferentes ponderaciones basadas en la importancia de ellos referente a la calidad o estado de sanidad del agua del río.

El Índice de Calidad de Agua se expresa de la siguiente manera:

<u>Calidad de Agua</u>	<u>Valor</u>
Excelente	91 a 100
Buena	71 a 90
Regular	51 a 70
Mala	26 a 50
Pésima	0 a 25

#### **4.1 Resultados Obtenidos**

##### **4.1.1 Río Acelhuate**

El Río Acelhuate se forma a partir de la confluencia de los ríos Hiloapa, Matalapa y el Garrobo en el sector sureste de la ciudad de San Salvador. La subcuenca del río Acelhuate tiene un área de 706 Km<sup>2</sup>, recibe desde su inicio descargas industriales con altos niveles de contaminación y es objeto de descargas de desechos sólidos a lo largo de su recorrido pero principalmente en la zona urbana.

Para la cuenca del Río Acelhuate los puntos de control de la contaminación asignados en base a la teoría del centroide son:

01 MATAL: Río Matalapa contiguo a parque Saburo Hirao en San Salvador, a 59.49 km antes de la desembocadura

14 ACELH: Río Acelhuate antes de confluencia con Río San Antonio en Cantón Bonete, a 30.8 km antes de la desembocadura

17 ACELH: Río Acelhuate luego de desembocadura del Río San Antonio en Cantón Joya Grande, a 28.55 km antes de la desembocadura

25 ACELH: Río Acelhuate en Cantón El Tule, antes de desembocadura al Río Lempa

GRAFICA No. 4 Índice de Calidad de Agua (ICA) de los puntos de control del Río Acelhuate.

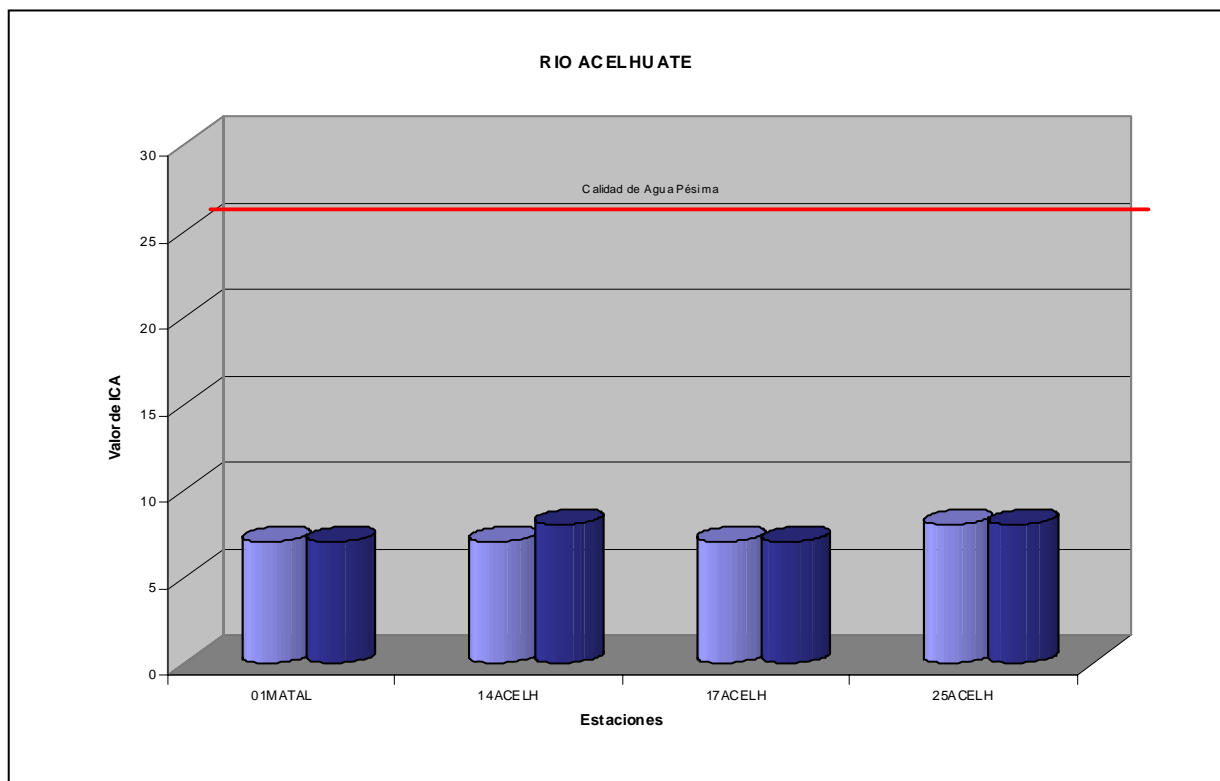
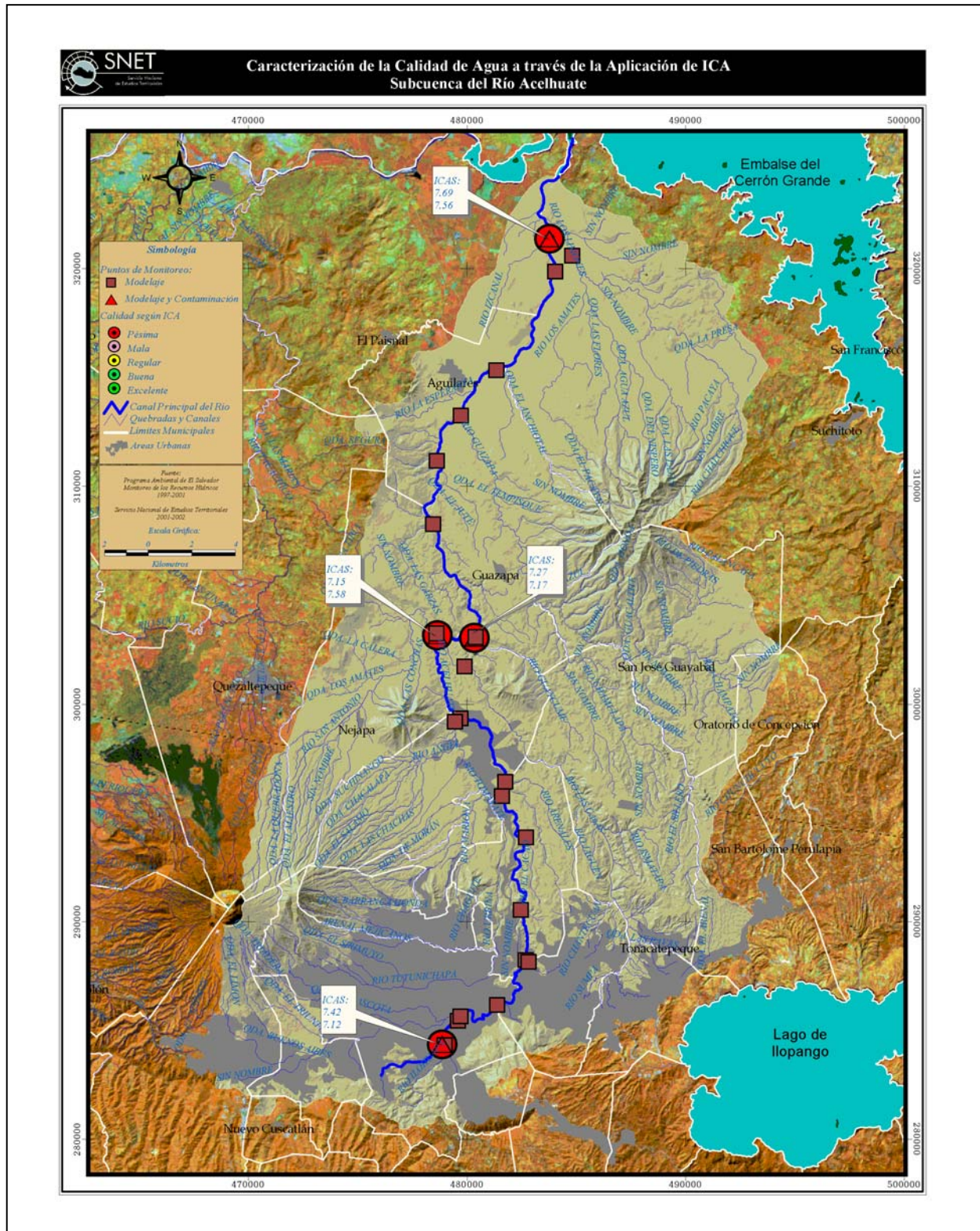


FIGURA No. 3 Índice de Calidad de Agua ubicado en los puntos de control del canal principal del Río Acelhuate.



Al observar los índices de calidad general en la Gráfica No. 4 para los cuatro puntos del canal principal del Río Acelhuate se observa que el valor no varía manteniéndose una calidad pésima de sus aguas en todo el recorrido del canal principal con un valor ponderado alrededor de siete. La Figura No. 3 muestra un mapa del Río Acelhuate con los valores de ICA obtenidos para los puntos de control.

Es importante mencionar que el canal principal del río cuenta con buena oxigenación debido a la topografía del mismo, la cual permite se realicen procesos de estabilización o depuración de la carga contaminante biodegradable cuantificada a través de la DBO<sub>5</sub>. Este proceso de oxigenación convectiva evita que el río presenta condiciones anaeróbicas en muchos tramos del río, lo cual permite la estabilización de la materia orgánica biodegradable con una baja producción de olores desagradables y contaminación del aire por la generación de compuestos como metano, ácido sulfídrico y fosfina, lo que afecta directamente a los pobladores de las áreas adyacentes.

Adicionalmente la carga orgánica sumada por la descarga de desechos sólidos a lo largo de su recorrido es muy elevada y complica el manejo del recurso, mucho se lograría deteniendo esta fuente dispersa de contaminación en el Río Acelhuate.

#### **4.1.2 Río Sucio**

La subcuenca del río Sucio tiene un área de 830 Km<sup>2</sup>, con una superficie de contaminación del 88%, dicha contaminación es producida principalmente por las descargas de aguas negras del área urbana, vertidos agroindustriales e industriales. El Río Sucio nace en el Cerro de Plata dentro del Distrito de Riego de Zapotitán y cuenta con más de 68 Km de longitud antes de su desembocadura al Río Lempa.

Para la cuenca del Río Sucio los puntos de control de la contaminación asignadas en base a la teoría del centroide son:

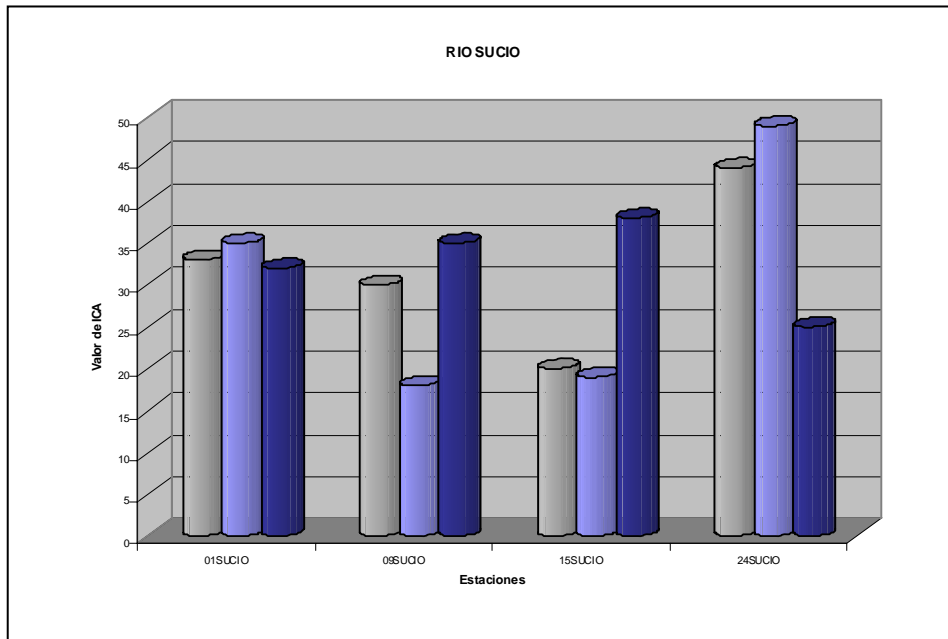
O1 SUCIO: Río Sucio en Cerro de Plata dentro del Distrito de riego de Zapotitan, a 68.85 km antes de desembocadura

O9 SUCIO: Río Sucio entrada a CEDEFOR carretera a Santa Ana km 31.5, a 62.5 km antes de desembocadura

15 SUCIO: Río Sucio Aguas abajo de Colonia Joya de Cerén, a 54.75 km antes de desembocadura

24 SUCIO: Río Sucio en Hacienda San Francisco Los Dos Cerros, antes de la desembocadura al Río Lempa

GRAFICA No. 5 Índice de Calidad de Agua (ICA) de los puntos de control del Río Sucio.



GRAFICA No. 6 Medianas del Índice de Calidad de Agua (ICA) de los puntos de control del Río Acelhuate.

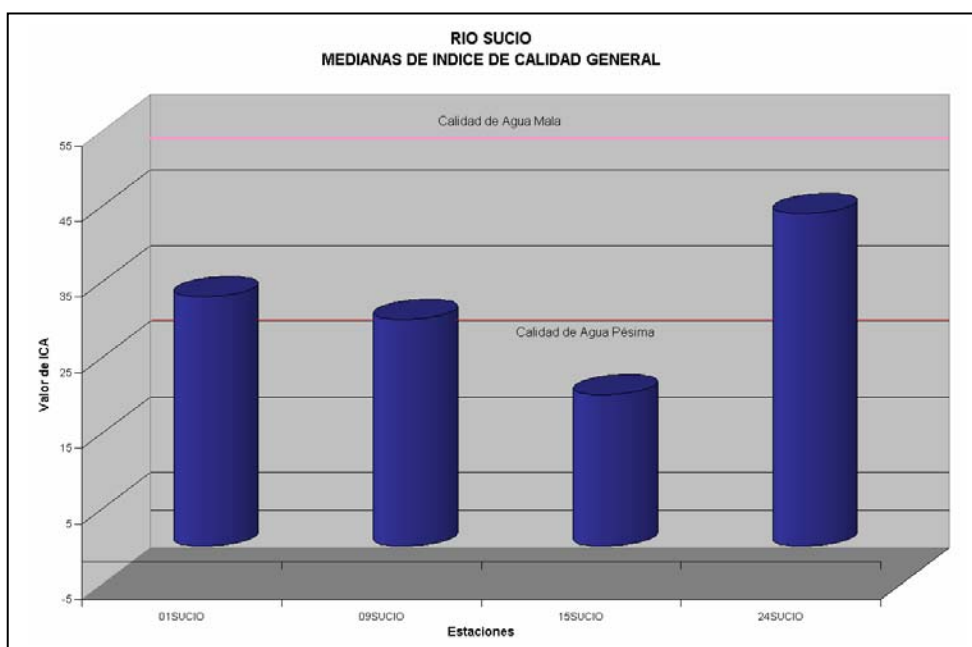
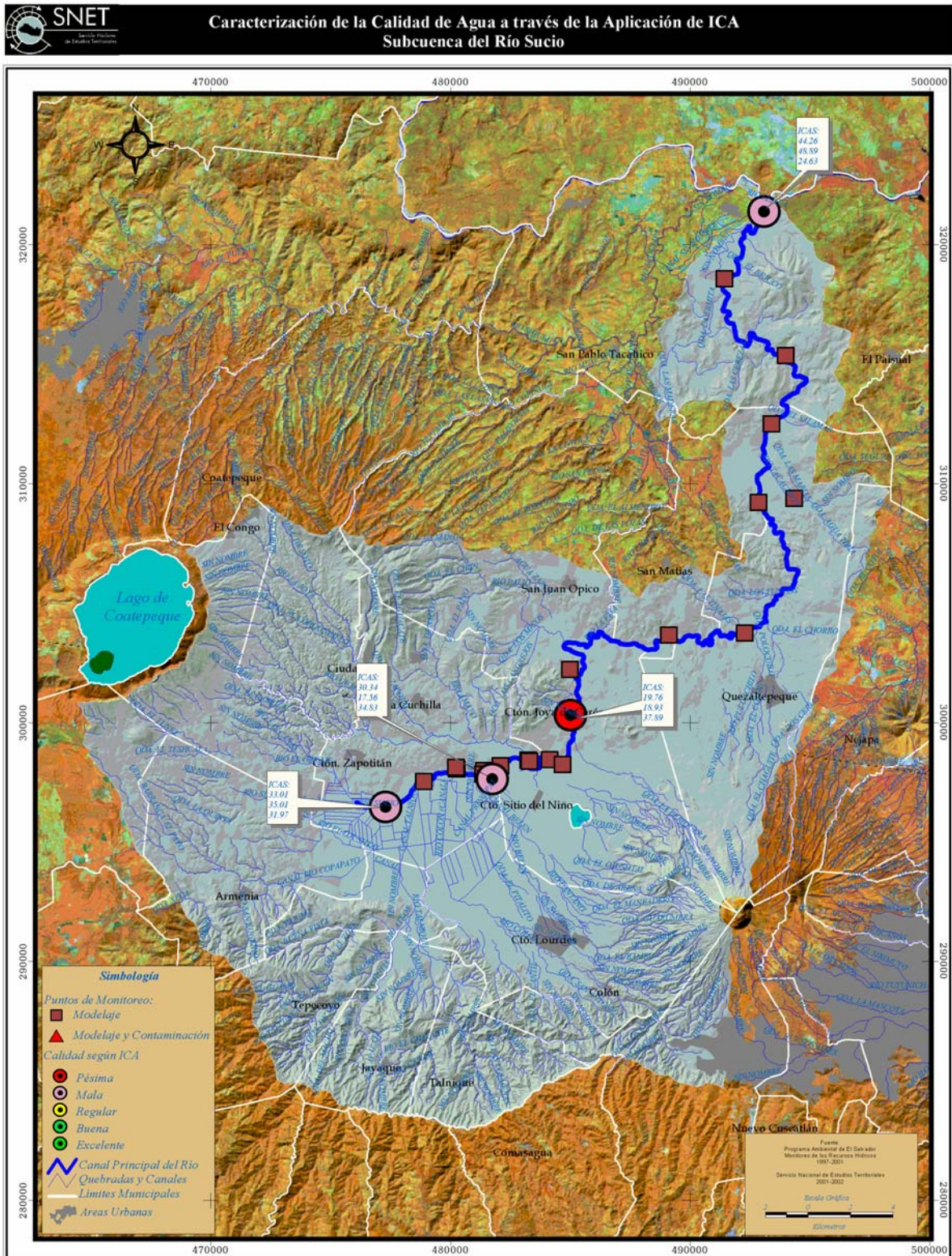


FIGURA No. 4 Índice de Calidad de Agua ubicado en los puntos de control del canal principal del Río Sucio.



En las Grafica No. 5 se observa que los índices de calidad en la estación que corresponde al inicio o nacimiento del río Sucio, la calidad del agua es mala con valores que varían de 32 a 35 unidades, en esta estación los niveles de oxígeno disuelto están arriba de las 4 mg/L, pero los niveles de coliformes fecales y nitrógeno total kjeldalh son elevados lo que hace que decaiga el índice.

Siempre en la misma grafica que observa que la estación que corresponde a la salida del Río Sucio del Distrito de Riego de Zapotitan se observa un valor de 18 unidades lo que clasifica el agua como pésima para el mes de abril, aunque el 67% de los datos la clasifica como de mala calidad con una variación en el valor de 30 a 35 unidades; En esta estación los niveles de oxígeno disuelto están abajo de 4 mg/L y los niveles de coliformes fecales son elevados con respecto a la estación anterior debido al manejo inadecuado de los desechos sólidos orgánicos del ganado en los establos y de los cerdos en las porquerizas.

En la estación que corresponde al Cantón y Caserío Joya de Cerén el 67 % de los datos valora el agua como de pésima calidad y solamente en el mes de junio la clasifica como de mala calidad, como se observa en la Grafica No. 5. En el mes de junio los niveles de oxígeno disuelto son regulares, se encuentran arriba de 4mg/L y los niveles de coliformes fecales son bajos lo que aunado permite que el índice tenga una mejor calificación que en fechas distintas.

En la última estación del Río Sucio la cual corresponde a la desembocadura, el índice clasifica en un 67% de los datos el agua como de mala calidad pero con un valor cercano a calidad regular. En esta estación los niveles de oxígeno disuelto son regulares y andan arriba de los 5 mg/L y los niveles de coliformes fecales abajo de los 500 NMP/100 ml.

La Grafica No. 6 presenta las medianas de los índices de calidad de agua para los puntos de control del canal principal del Río Sucio donde se observa existe un proceso de auto depuración dentro del río y la calidad asciende de pésima a mala antes de desembocar al Río Lempa, luego de un recorrido de un poco más de 54 Km desde la última estación valorada.

### 4.1.3 Río Suquiapa

La subcuenca del río Suquiapa tiene un área de 425 Km<sup>2</sup>, en el 21% de ésta área se encuentran localizadas las fuentes que contaminan el río principal y sus afluentes. La contaminación es producida principalmente por las descargas de aguas negras de las áreas urbanas, beneficios de café que aún descargan a los ríos (algunos sin darle tratamiento a sus aguas mieles), tenerías, industrias alimenticias y otros tipos de vertidos en la ciudad de Santa Ana.

Para la cuenca del Río Suquiapa los puntos de control de la contaminación asignada en base a la teoría del centroide son:

01 SUCIO: Río Sucio contigua a Beneficio El Sauce carretera a Metapán, a 42.75 km antes de desembocadura

04 ARANC: Río Aranchacal o Sauce en Hacienda San Francisco aguas abajo de Planta Cutumay, a 40.25 km antes de desembocadura

23 SUQUI: Río Suquiapa sobre vado sur a planta de potabilización de ANDA, antes de la desembocadura al Río Lempa

GRAFICA No. 7 Medianas del Índice de Calidad de Agua (ICA) de los puntos de control del Río Suquiapa.

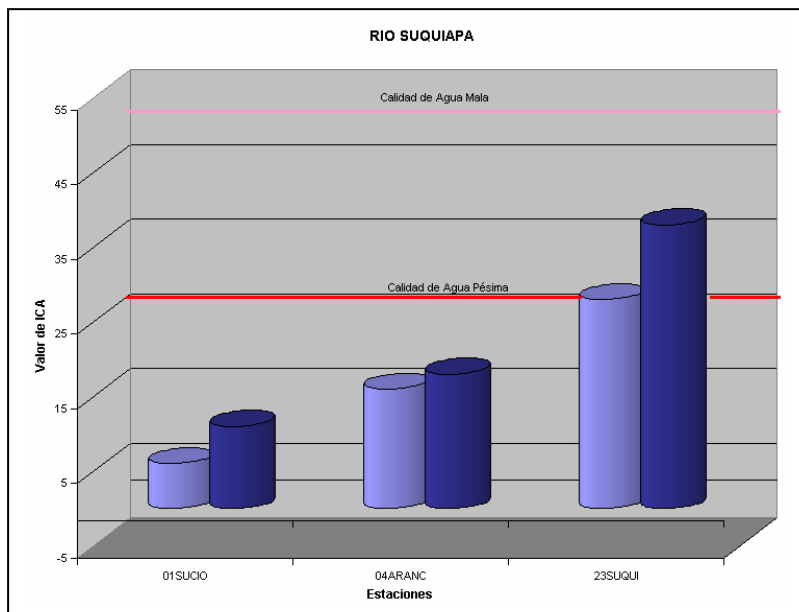
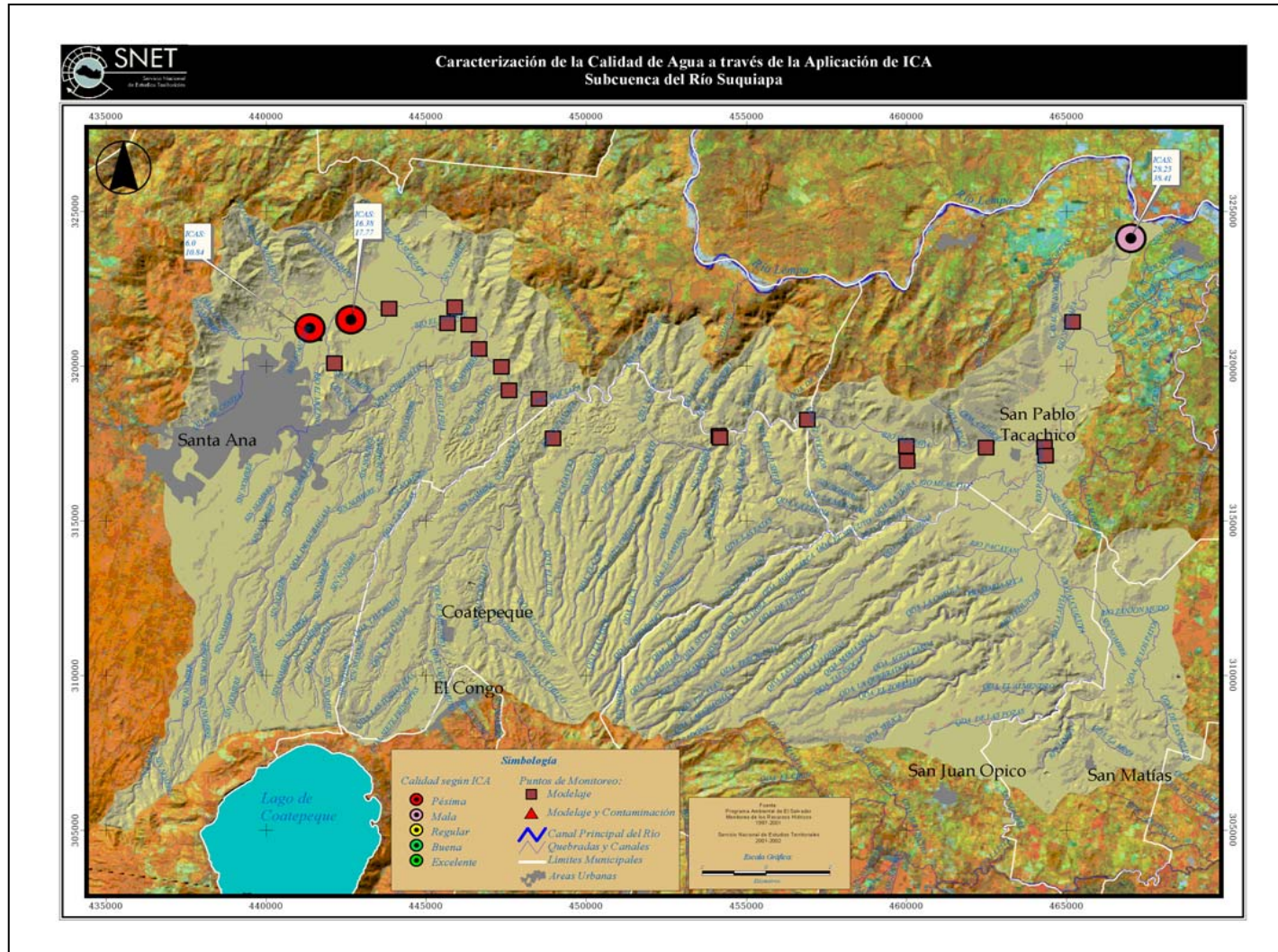




FIGURA No. 5 Índice de Calidad de Agua ubicado en los puntos de control del canal principal del Río Sucio.



En la Grafica No. 7 se observa que el ICA en las puntos de control del nacimiento del Río Suquiapa, que corresponde a los ríos Sucio de Santa Ana y Aranchacal la calidad del agua es pésima debido a que los niveles de oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, coliformes fecales y nitrógeno total kjeldalsh son característicos de aguas contaminadas y en la estación que corresponde a la desembocadura del Río Suquiapa al Río Lempa el agua presenta una mala calidad debido a los altos niveles de coliformes fecales y nitrógeno total kjeldalsh producido probablemente por descargas no puntuales.

La Figura No. 5 presenta la caracterización de la subcuenca del Río Suquiapa a través de la aplicación del Índice de Calidad General y se observa que la contaminación del río Suquiapa se origina en la cabecera departamental por la descarga de aguas negras y vertidos agroindustriales sin tratamiento, este sufre un proceso de estabilización de la materia orgánica en los cuarenta kilómetros antes de la desembocadura al Río Lempa. La contaminación por bacterias coliformes de origen fecal y nitrógeno total kjeldalsh descargado por fuentes no puntuales, no permite que la ponderación del índice de calidad mejore más antes de desembocar al río Lempa.

## V. USO DE LOS CURSOS DE AGUA EN LAS SUBCUENCAS

### 5.1 Usos Propuestos

En el Anexo No. 2, se realiza un análisis de los usos de los ríos de las subcuencas en estudio, en base al cual se proponen los siguientes usos para los mismos, los cuales se resumen en la siguiente tabla. Estos usos son posibles solamente en el caso de la aplicación de las Estrategias de Descontaminación presentadas en este documento.

Es importante mencionar que los usos propuestos pueden ser corregidos posteriormente cuando la investigación sea ampliada y se modelen metales pesados o compuestos orgánicos no biodegradables como plaguicidas.

Tabla No. 5 Tabla resumen de Usos Propuestos para los ríos estudiados si se aplica Estrategias de Descontaminación propuestas

SUBCUENCA	USO ACTUAL	USO PROPUESTO	USOS COMPATIBLES CON USO PROPUESTO
SUCIO	Agropecuario	Vida Acuática	Agropecuario, Recreativo, Pesca, Abastecimiento Industrial Generación de Energía
SUQUIAPA	Agropecuario	Vida Acuática	Agropecuario, Recreativo, Pesca, Abastecimiento Industrial Generación de Energía
ACELHUATE (Tramo 1) 29.51 Km que van del nacimiento en la ciudad de San Salvador hasta desembocadura de río Las Cañas	Urbano	Urbano	Riego de especies algunas arbóreas
ACELHUATE (Tramo 2) 30 Km que van de desembocadura de río las Cañas a desembocadura del río a altura del Puente El Tule carretera a Chalatenango	Agropecuario	Agropecuario	Contacto Humano* Abastecimiento Industrial* Generación de Energía*

## **VI. DISEÑO DE ESCENARIOS CON PROYECCIONES HACIA EL FUTURO DEL PROBLEMA DE CONTAMINACION DE LOS RIOS ACELHUATE, SUCIO Y SUQUIAPA. PROPUESTA DE DESCONTAMINACION.**

Tal como fue definido anteriormente los modelos de calidad son herramientas utilizadas para determinar el nivel de descargas de contaminantes a un recurso hídrico de forma que se respeten los valores de calidad del mismo fijados por los usos establecidos. De esta forma se pueden definir distintas situaciones donde se planteen reducciones de los niveles de vuelco basándose en los niveles de crecimiento de población, políticas de saneamiento, establecimiento de nuevos centros urbanos o radicaciones industriales, nuevos usos a dar al recurso hídrico, trasvase de cuencas, etc. Debemos recordar que los modelos de calidad son restricciones a los modelos económicos de manejo de cuencas.

### **6.1 Estimación de diversos parámetros hidráulicos relativos al caudal del río en el año 2012.**

La variación de caudal del río debida al aumento de los flujos de los vertidos y afluentes por el incremento de población en las proyecciones a 10 años, trae aparejado una variación en la velocidad, la profundidad y el área de las secciones. Para evaluar estos parámetros se emplearon las expresiones empíricas desarrolladas por Leopold y Maddock (1953) que relacionan el caudal con la profundidad, la velocidad y el ancho. Las expresiones son las siguientes.

$$P = a \cdot (Q^b)$$

$$V = c \cdot (Q^d)$$

$$A = e \cdot (Q^f)$$

Los valores de las constantes y los exponentes se determinaron por medio de relaciones log-log.

### **6.2 Proyecciones de calidad propuestas para los ríos en la actualidad y el año 2012**

Se proponen los siguientes escenarios para diferentes situaciones de calidad.

- (I) Proyección de la calidad actual con tratamiento de las descargas
- (II) Proyección de la calidad futura dentro de diez años si no se lleva a cabo tratamiento de las descargas

(III) Proyección de la calidad futura dentro de diez años con tratamiento de las descargas

En los casos donde se determina la calidad del recurso luego de aplicar un nivel de tratamiento a los efluentes, se evalúa el grado de cumplimiento de los valores guías anteriormente seleccionados en el Capítulo de Zonificación de Cursos de Agua.

Para estimar la magnitud de las cargas futuras, se emplearon los porcentajes de crecimiento poblacional recopilados. El empleo de estos porcentajes de desarrollo implica ciertas suposiciones:

- ❑ Se asume que el aumento de masa y caudal de contaminantes volcados guarda una relación directa con el aumento de la población
- ❑ El crecimiento poblacional continuará al mismo ritmo que hasta ahora
- ❑ La distribución de la población en el territorio nacional seguirá la misma tendencia

### **6.2.1 Proyecciones del Río Acelhuate.**

De acuerdo a lo descrito anteriormente se emplearán dos valores guías de calidad, uno hasta el río Las Cañas (Tramo 1) y otro desde este hasta la desembocadura del Río Acelhuate al Río Lempa (Tramo 2). Se procedió a calcular el incremento de caudal de descargas y afluentes al río utilizando un porcentaje del 34.50% de incremento para el año 2012 derivado del porcentaje de crecimiento poblacional. Se realizaron las proyecciones detalladas en el apartado anterior, suponiendo que se aplicaría un tratamiento secundario.

El resultado de las simulaciones mostró que con el nivel de reducción de DBO y NTK propuestos no se cumplían los niveles guías pretendidos ya que en el tramo hasta el río Las Cañas la DBO<sub>5</sub> resultaba superior al valor especificado mientras que el OD cumplía solo en parte del trayecto con el valor guía. A partir de Las Cañas el OD fue inferior al requerido por la norma.

En virtud de estos valores hallados, se procedió a aplicar un nivel de tratamiento más exigente, empleando un sistema secundario con un nivel de reducción de DBO del 90% y de NTK del 30%.

A continuación se presentan las cargas contaminantes que son descargados al canal principal del Acelhuate por los tributarios de dicho río.

TABLA No.6 Tabla de Cargas Contaminantes Actuales y recomendadas para Río Acelhuate.

ESTACION	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Caudal (m3/seg)	Carga Contaminante (Kg/día)	CargaContaminante Propuesta (Kg/día)
02GARRO	73	0.134	845.16 Kg/ día	84.52 Kg/ día
04MONSE	59	0.498	2,538.60 Kg/ día	253.86 Kg/ día
07TAPAC	171	0.072	1,063.76 Kg/ día	106.38 Kg/ día
11ARENA	18.5	0.022	35.16 Kg/ día	3.52 Kg/ día
13TOMAY	71	2.431	14,912.73 Kg/ día	1490.13 Kg/ día
15ANTON	17	0.378	555.21 Kg/ día	55.52 Kg/ día
16CANAS	113	1.091	10,651.65 Kg/ día	1060.52 Kg/ día
18GUAY	16.6	0.060	86,05 Kg/ día	8.61 Kg/ día
21GUAZA	19.25	0.326	542.20Kg/ día	54.22 Kg/ día
24LIMON	26.5	0.584	1,337.13 Kg/ día	133.71 Kg/ día

NOTA: El tratamiento propuesto es del 90% de DBO<sub>5</sub> para todas los puntos.

GRAFICA No.8 Principales Cargas Contaminantes del Sistema del Río Acelhuate

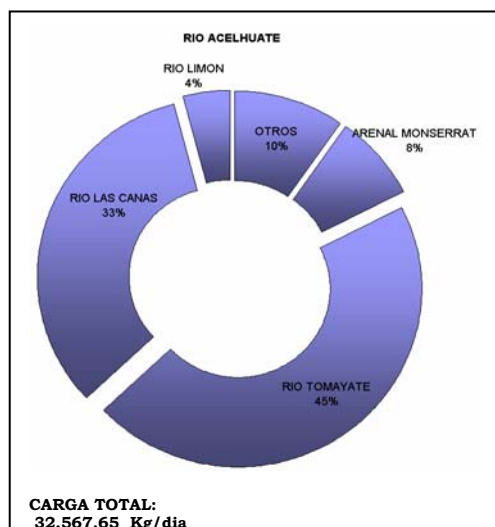
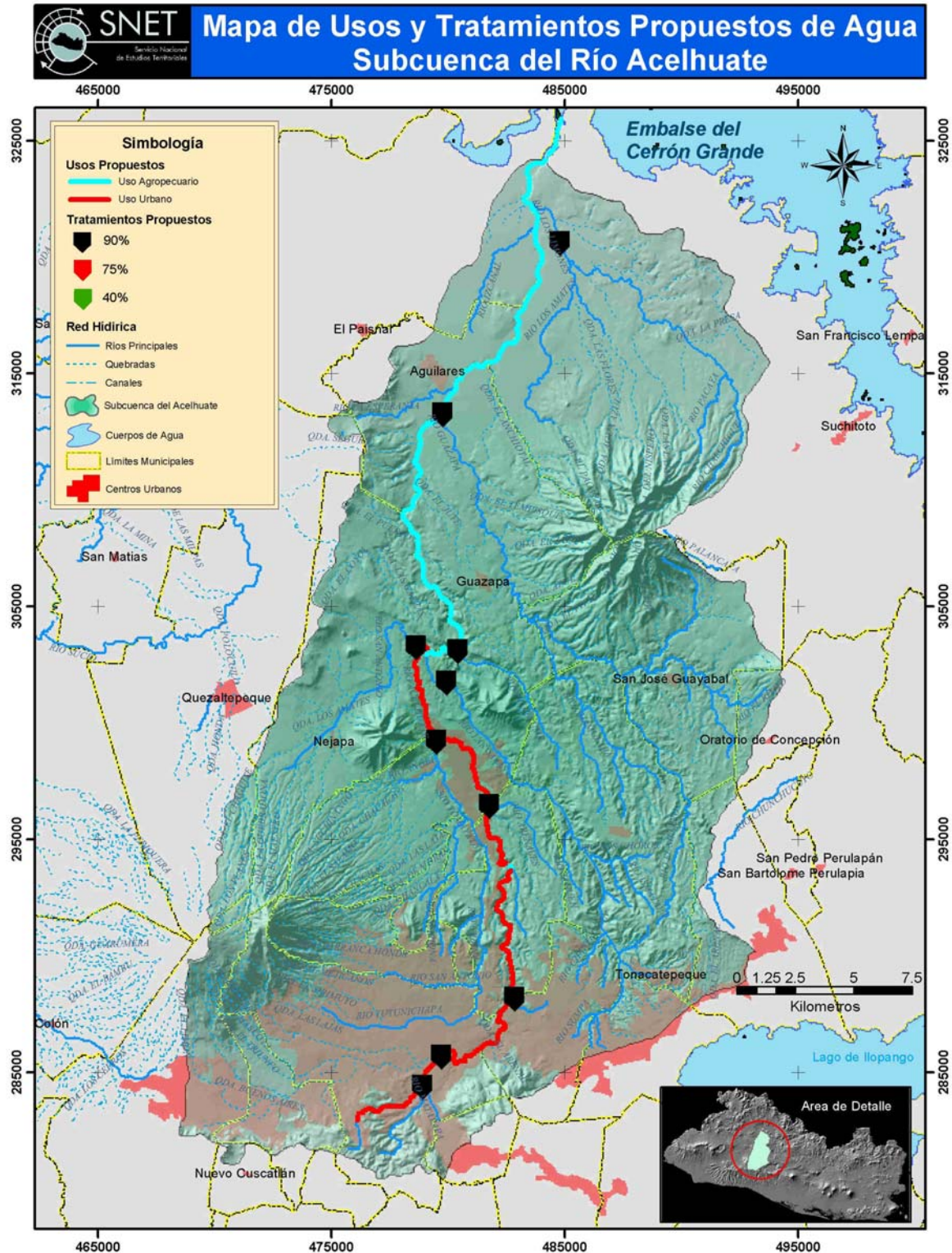
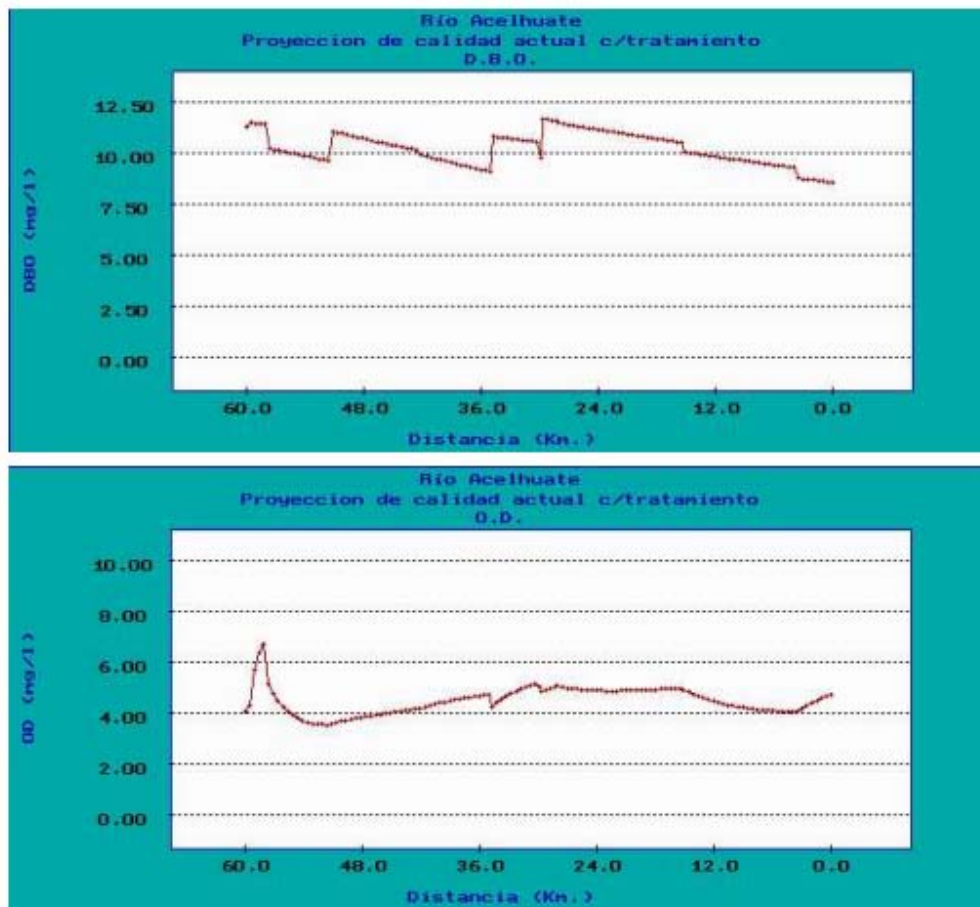


FIGURA No. 6 Niveles de tratamiento y usos propuestos para la subcuenca del Río Acelhuate



El análisis de la **Proyección I** muestra que se cumple con los valores guías establecidos para DBO en el segmento desde el nacimiento del Río Acelhuate hasta la confluencia con Las Cañas en el Km 28 antes de la desembocadura al Río Lempa. El OD tiene un pequeño tramo que se halla abajo de 4 mg/l que es valor pretendido pero se recupera rápidamente. Para el tramo final el nivel de DBO debe ser tal que permita una concentración de OD en el río  $\geq 5$  mg/l. En este caso el OD se mantiene en el valor deseado hasta la entrada del río Guazapa en el Km 15.5 antes de su desembocadura al Río Lempa, desde donde desciende hasta la entrada del río Limón por una disminución en la aereación debido a condiciones hidráulicas exclusivamente. En el último segmento el OD se recupera rápidamente y desemboca al Río Lempa con el valor deseado.

PROYECCION I Río Acelhuate. Calidad actual con tratamiento.

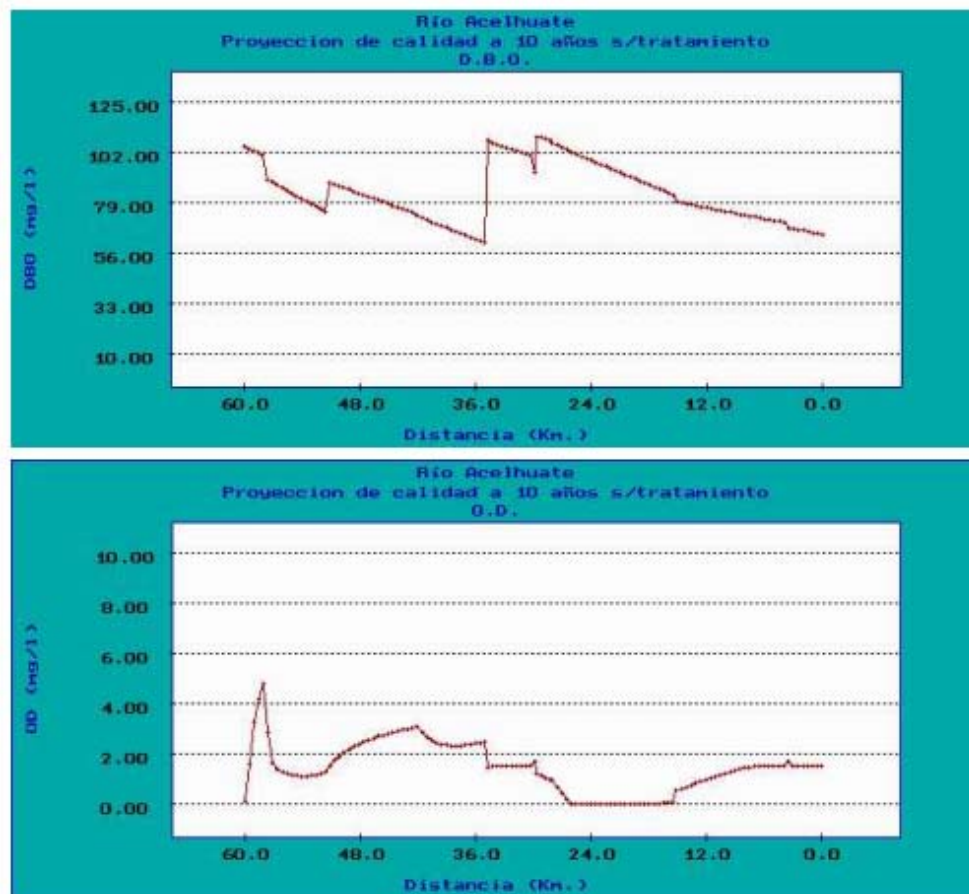


El análisis de la **Proyección II** demuestra que la concentración de DBO es mayor a la actual y el OD no alcanza el nivel satisfactorio en ninguno de los dos tramos. Los valores de OD se



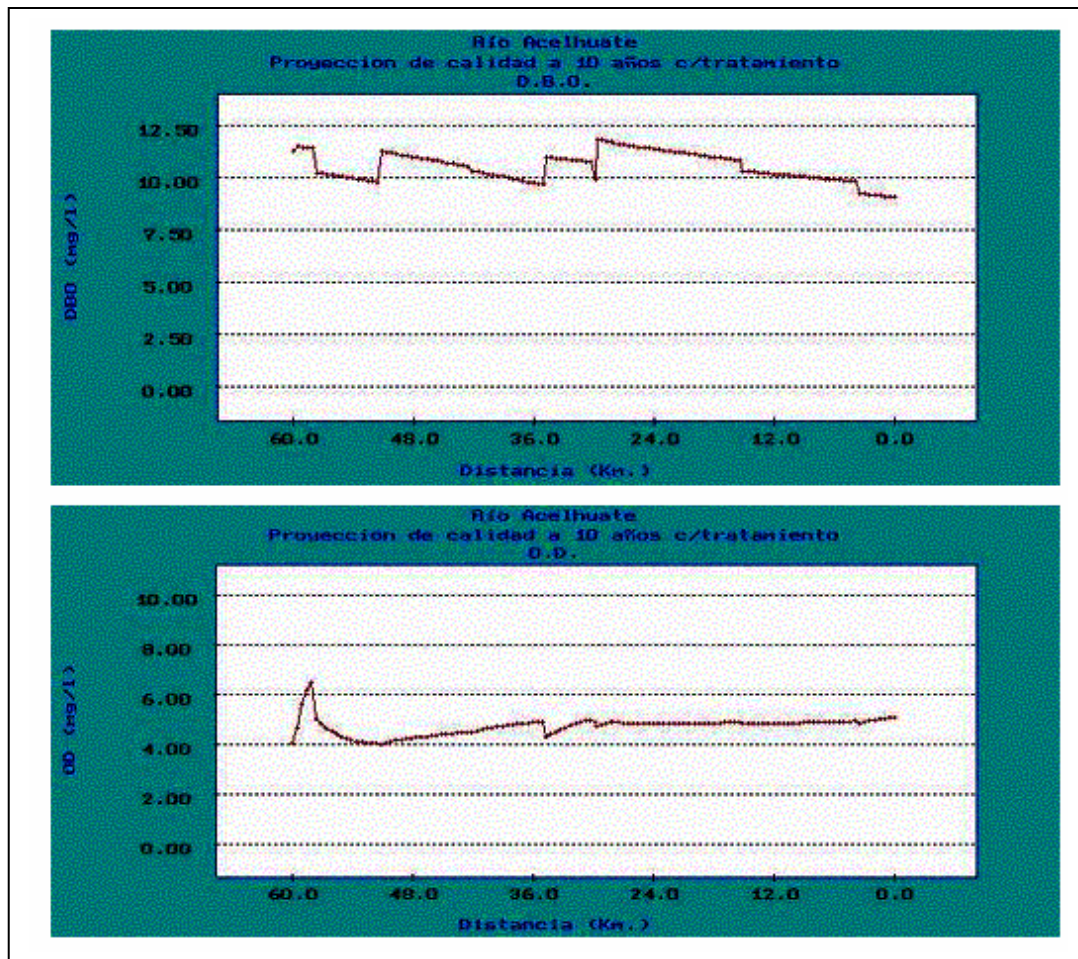
reportan bajo los 3 mg/L y en un tramo el valor se encuentra alrededor del cero, lo que indica que las condiciones generales del río son anaeróbicas, lo anterior convierte a este río en un lugar de riesgo para los pobladores que residen cerca del río a lo largo del departamento de San Salvador, por la contaminación del aire por compuestos de descomposición anaeróbica y además sus aguas son un factor de riesgo para las personas que tienen contacto con el. Es importante tomar en cuenta el impacto negativo que tiene la descarga del Río Acelhuate en el Embalse del Cerrón Grande en la Cuenca del Río Lempa, debido a los usos relacionados con el contacto humano y la pesca artesanal.

PROYECCION II Río Acelhuate. Calidad a 10 años sin tratamiento.



La **Proyección III** por el contrario muestra que se cumplen todos los valores guías satisfactoriamente, en el primer tramo el OD está siempre por encima de 4 mg/l y la DBO se encuentra por abajo del valor guía antes de desembocar al Río Lempa. Para el segundo tramo el OD es siempre  $\geq$  a los 5 mg/l que exige el Decreto 40.

PROYECCION III Río Acelhuate. Calidad a 10 años con tratamiento.



## PROPUESTA DE DESCONTAMINACION DEL RIO ACELHUATE

Para descontaminar el Río Acelhuate, es necesario aplicar tratamiento de 90% de remoción de  $\text{DBO}_5$  y 30% de remoción de Nitrógeno total Kjeldalh a todos los tributarios del canal principal

del Río Acelhuate, pero principalmente las descargas del *Río Tomayate, Río Las Cañas y Arenal Monserrat* que representan el **86% del total de carga** que recibe el Río Acelhuate.

Es necesario construir 10 sistemas de tratamiento para disminuir la carga total que recibe el Río Acelhuate, en la Figura No. 7 se ubican las estaciones de tratamiento en la desembocadura de cada río a tratar pero es claro, que para realizar inversiones de este tipo es necesario realizar estudios económicos donde se contemple el tipo de tratamiento a aplicar, la ubicación del sistema de tratamiento, mantenimiento del sistema de tratamiento y buscar financiamiento para la construcción y sostenibilidad del buen funcionamiento del sistema. Es posible que en algunos casos sea necesario unir dos ríos para aplicar tratamiento, esas definiciones depende de los estudios económicos a realizar.

El financiamiento puede ser inicialmente aportado por el gobierno central y buscar la sostenibilidad del sistema cargando tarifas de tratamiento a las empresas que contaminan estos tributarios las que pueden ser empresas del sector industrial, agroindustrial, farmacéuticos, alimenticia o la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), es necesario unificar líneas de trabajo con empresas tanto privadas como gubernamentales.

Otra solución es revisar los planes de adecuación de las empresas que descargan a los tributarios en mencionada empresa de los tributarios en mención para sumar con todos la carga máxima que puede transportar cada uno.

### **6.2.2 Proyecciones del Río Sucio**

Este río presenta características marcadamente diferentes al río Acelhuate. Tiene a su favor que no discurre por una zona tan urbanizada como el anterior y por lo tanto no está sometido a una presión de flujo de contaminación de origen antropogénico tan elevada. No obstante en la cuenca alta recibe la descarga de DBO proveniente de afluentes como el río Colón y el Canal Belén. Aguas abajo de la confluencia con el río Agua Caliente se produce la descarga localizada de efluentes de por lo menos una industria de gran porte a altura del Km 58 antes de la desembocadura al Río Lempa. Para la proyección del año 2012 se utilizó el porcentaje de crecimiento poblacional acumulado del 25.40 % calculado anteriormente como elemento para el cálculo en el incremento de los nuevos caudales. Se realizaron las proyecciones suponiendo que

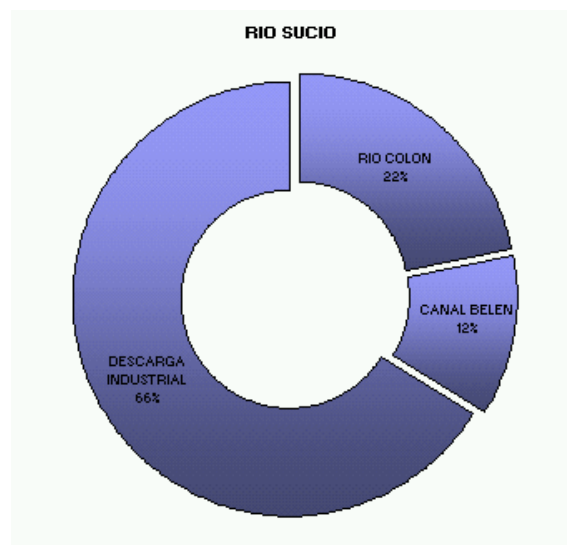
se aplicaría un tratamiento a los ríos Colon, Canal Belén y a la 14 DESCA en cuanto a reducción de DBO<sub>5</sub>.

A continuación se presentan las cargas contaminantes que son descargados al canal principal del Sucio.

TABLA No. 7 Tabla de tratamiento recomendado para el Río Sucio

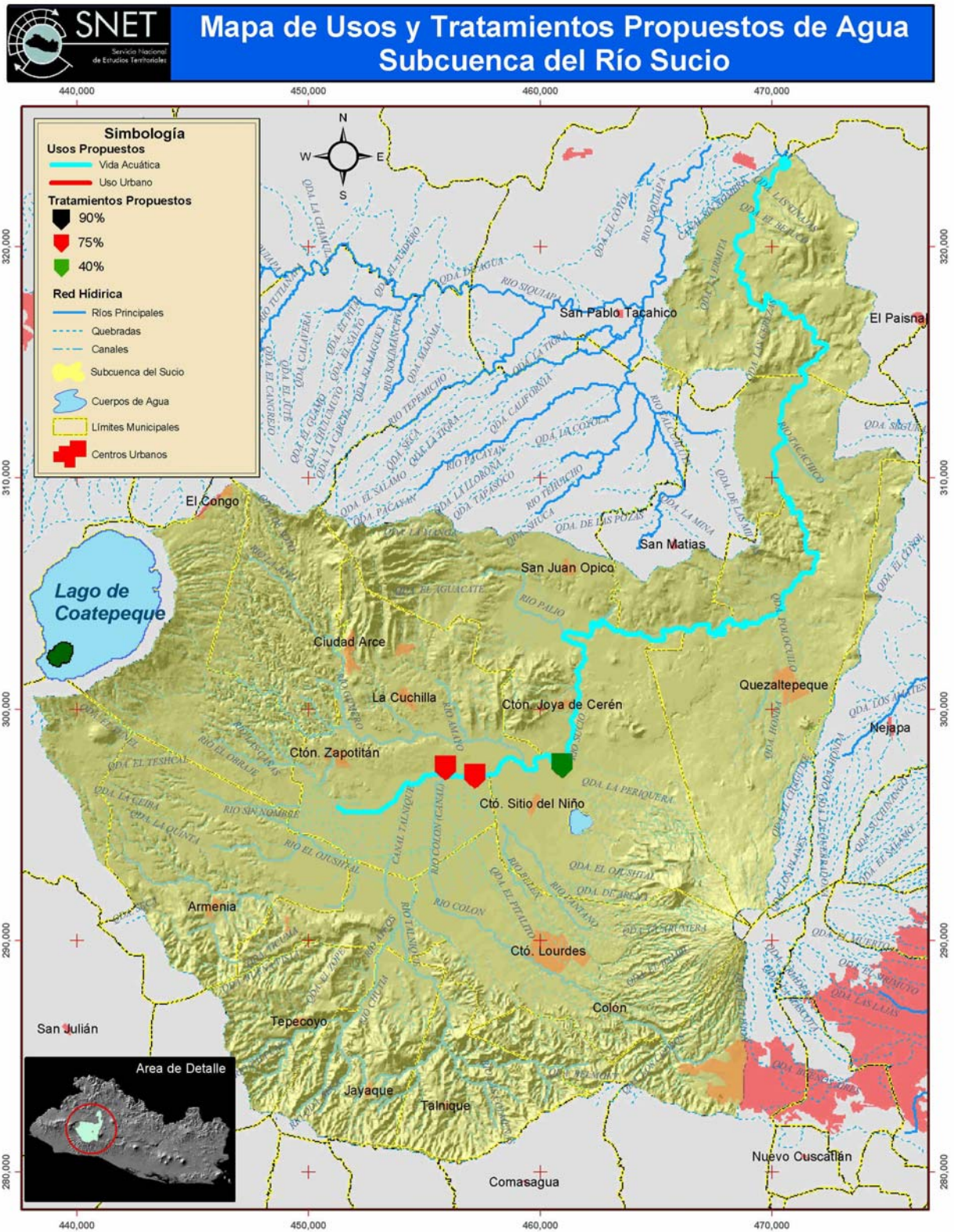
ESTACION	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Caudal (m3/seg)	Carga Contaminante (Kg/día)	Tratamiento Recomendado	CargaContaminante Propuesta (Kg/día)
06COLON	13	0.843	946.86 Kg/día	75%	236.72 Kg/día
08BELEN	33	0.180	513.22 Kg/día	75%	128.31 Kg/día
14DESCA	312	0.318	2,857.42 Kg/8horas	40%	1142.96 Kg/día

GRAFICA No. 9 Principales Cargas Contaminantes del Sistema del Río Sucio



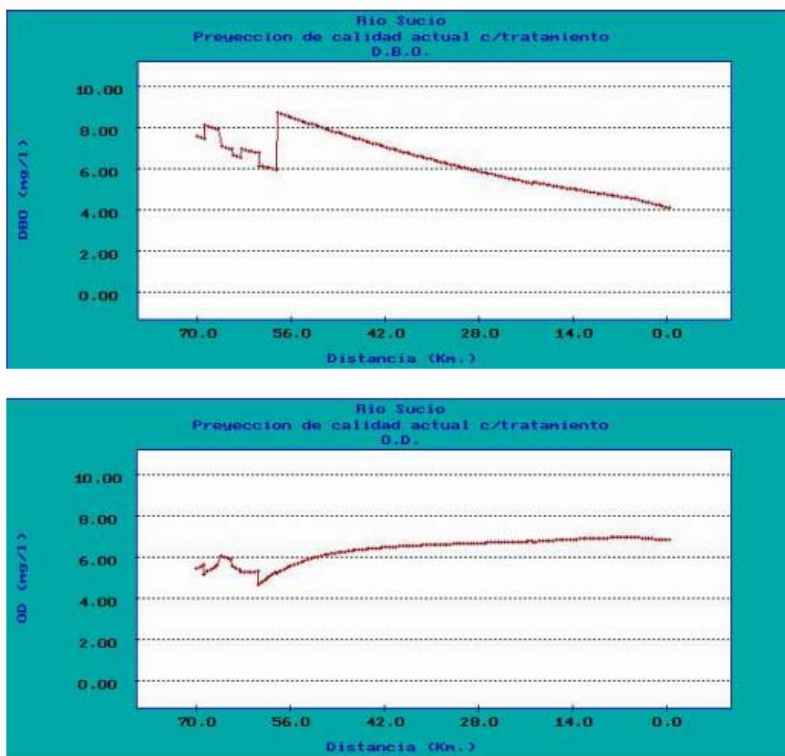
CARGA TOTAL: 4,317.50 KG/día

FIGURA No. 7 Niveles de tratamiento propuestos para la subcuenca del Río Sucio.



Para la **Proyección I**: se supuso aplicar tratamiento al río Colon y al Canal Belén y las descargas existentes aguas abajo del río Agua Caliente dado que de las simulaciones realizadas se determinó que tratando estos tres efluentes se lograba el nivel de calidad deseado. De acuerdo a lo previsto, con el nivel de tratamiento propuesto se logra que el OD se encuentre a lo largo del río con un valor por encima de 5 mg/l fijado por el DECRETO N° 40 “Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental”.

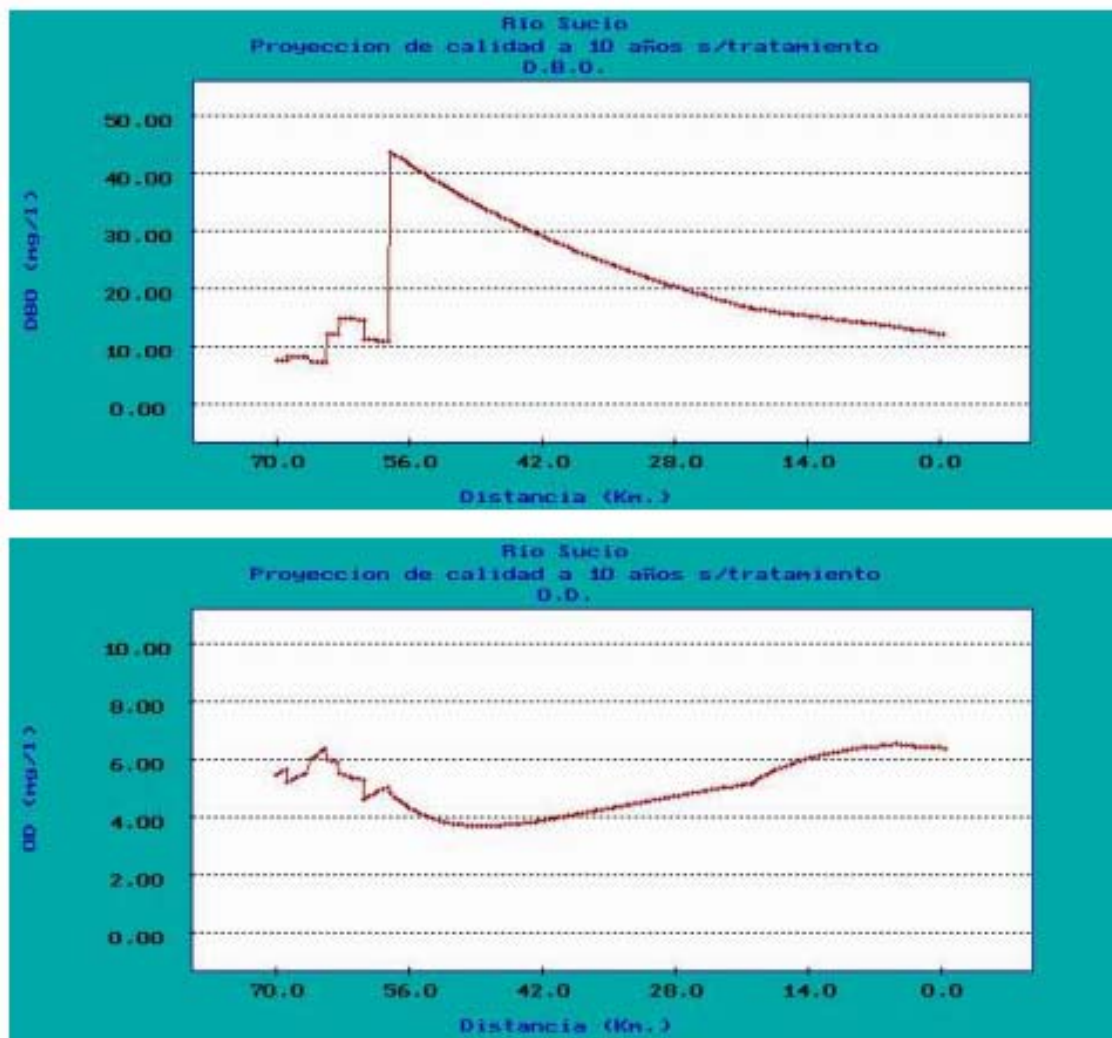
#### PROYECCION I Río Sucio. Calidad actual con tratamiento.



La **Proyección II**: al aplicar el incremento del 25.4 % en el caudal de las dos descargas principales se aprecia que a partir de la confluencia con el río Colón la concentración de OD comienza a disminuir. Luego de la entrada del Canal Belén el nivel de OD se establece por abajo del valor guía. La entrada del río Agua Caliente eleva dicho nivel pero los efluentes volcados posteriormente por la estación 14 DESCA el cual causa una disminución sustancial del OD sin cumplir con el valor guía. El río se recupera lentamente mediante su proceso de autodepuración

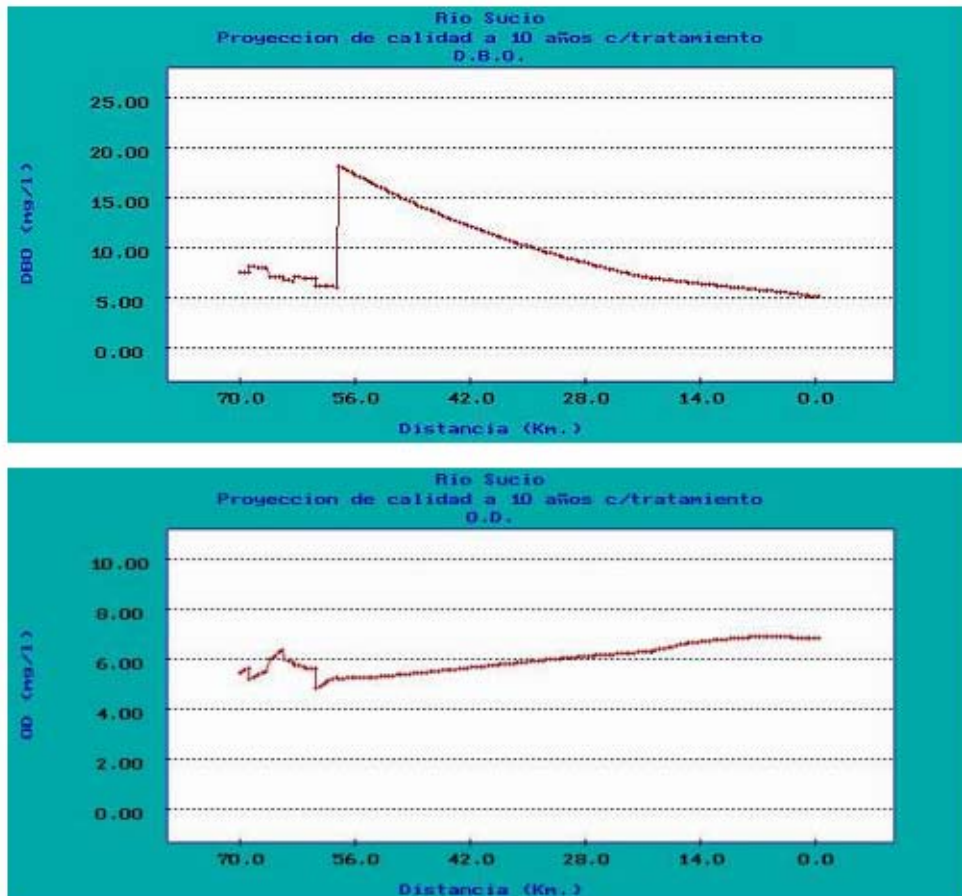
y poco antes de la confluencia del Río Tacachico el nivel de OD alcanza los 5 mg/l. Por lo anterior en 30 de los 70 km de río no se cumple con el valor guía.

#### PROYECCION II Río Sucio. Calidad a 10 años sin tratamiento.



Para la **Proyección III**: al igual que en la Proyección I se trataron los tributarios río Colon y Canal Belén, así como el vertido de la 14 DESCA. El nivel de tratamiento propuesto resulta adecuado dado que el nivel de OD se mantiene por encima de los 5 mg/l. Para la recuperación del río Sucio se propone tratar las aguas del río Colon y Canal Belén con un 75% de eficiencia en el tratamiento de  $DBO_5$  y el de la estación 14 DESCA con un 40% de eficiencia en el tratamiento de  $DBO_5$ .

### PROYECCION III Río Sucio. Calidad a 10 años con tratamiento



### PROPUESTA DE DESCONTAMINACION DEL RIO SUCIO

Para descontaminar el Río Sucio, es necesario aplicar un tratamiento de 75% de remoción de  $DBO_5$  y 20% de remoción de Nitrógeno total Kjeldahl a los ríos Colón y Canal Belén, así como, un 40% de remoción de  $DBO_5$  al punto 14 DESCA.

Al aplicar el tratamiento anteriormente recomendado el Río Sucio tiene la capacidad de depurar la carga orgánica del río y obtener niveles de Oxígeno Disuelto de 5 ppm, según los resultados de las proyecciones realizadas con el modelo.



Para abordar el problema de la carga orgánica en el Río Colón probablemente lo más fácil es definir cual es el uso que se le quiere dar al río y a partir del uso ubicar tratamientos en cada descarga del sector industrial de Lourdes y las descargas de aguas negras o aplicar tratamiento al final del Río Colón para proteger el uso del Río Sucio.

El caso del canal Belén el cual en su nacimiento se llama Canal Flor Amarilla, lo mas adecuado es revisar los planes de adecuación de las empresas que vierten y acordar descargas que sumen el total permitido para la carga del Canal Belén que como se observa en la tabla No. 13 es 128.31 Kg/día de DBO<sub>5</sub>.

Como en el caso del Río Acelhuate es necesario elaborar estudios económicos tomando en cuenta todos los factores y actores.

### 6.2.3 Proyecciones del Río Suquiapa

Este río presenta la característica de tener su mayor contaminación en las nacientes, formada por los ríos Sucio, Apanteos y El Molino. En el resto del curso no se encontraron fuentes de contaminación apreciables. Se procedió a aplicar un porcentaje de tratamiento equivalente al 75% de depuración de la DBO<sub>5</sub>. El caudal previsto para el 2012 fue obtenido incrementando el caudal actual el 18.2% de acuerdo a las proyecciones de crecimiento de la población. De acuerdo a lo establecido los resultados obtenidos se evaluaron con los valores guías del DECRETO N° 40 “Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental”.

A continuación se presentan las descargas realizadas por los tributarios en la subcuenca del Río Suquiapa

TABLA No. 8 Tabla de tratamiento recomendado para río Suquiapa

ESTACION	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	Carga Contaminante (Kg/día)	CargaContaminante Propuesta (Kg/día)
01SUCIO	24.40	0.626	1,319.71 Kg/día	329.93 Kg/día
02APANT	24.00	0.676	1,401.75 Kg/día	350.44 Kg/día
03MOLIN	32.00	0.489	1,351.99 Kg/día	338.00 Kg/día

NOTA: El tratamiento recomendado es del 75% de DBO<sub>5</sub> para los tres puntos con aireación forzada para lograr un efluente de 6 m/L.

GRAFICA No. 10 Principales Cargas Contaminantes del Sistema del Río Suquiapa

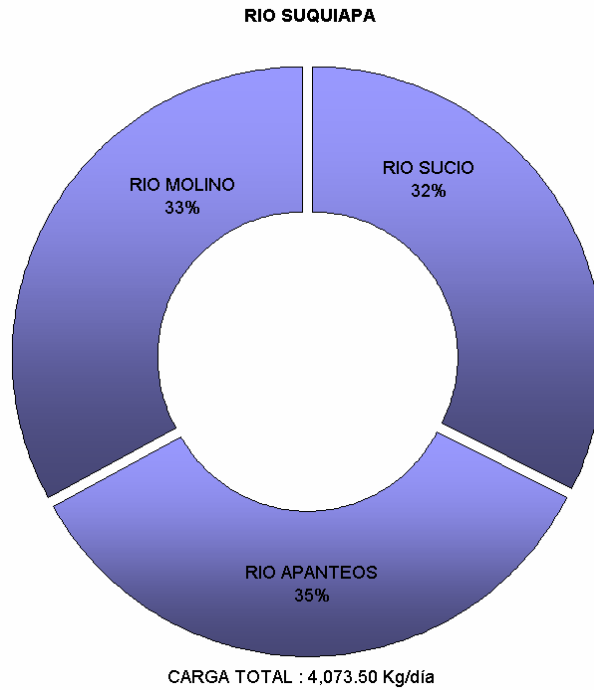
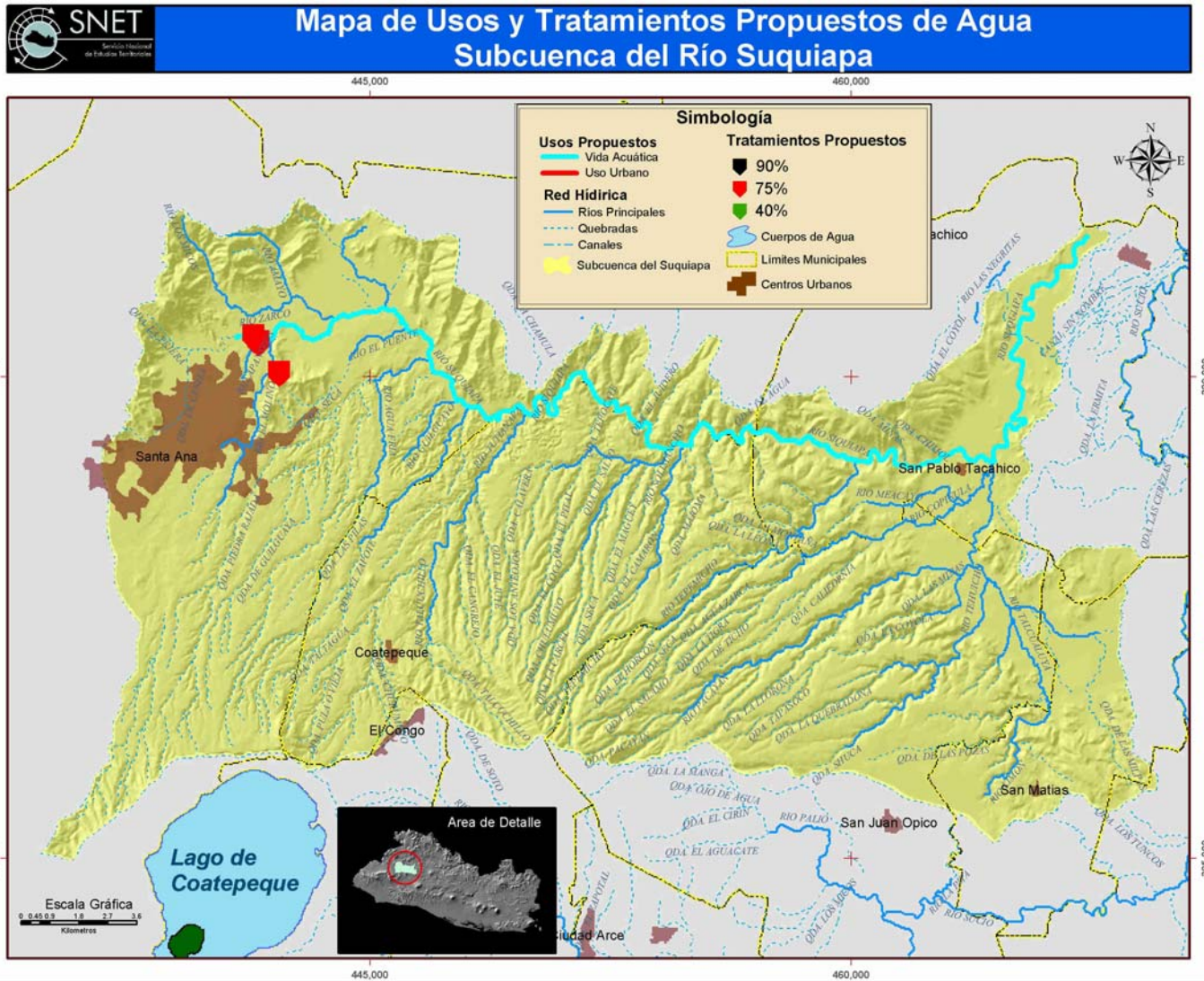
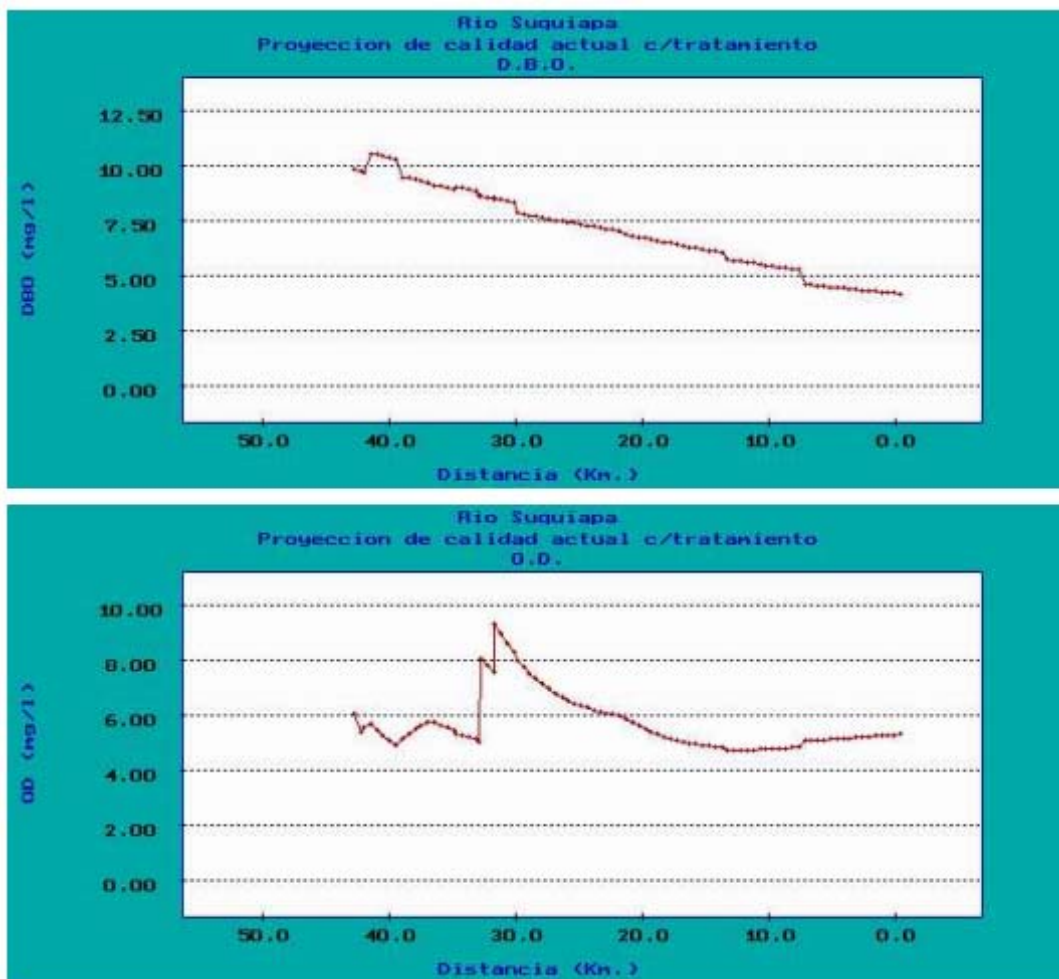


FIGURA No. 8 Niveles de tratamiento propuestos para la subcuenca del Río Suquiapa



Para la **Proyección I** no obstante que se logró una buena reducción de la DBO, en los primeros tramos del río no se pudo cumplir con el valor guía de calidad de OD de 5 mg/l. A fin de subsanar este inconveniente y no incrementar los costos se aumentó el OD del efluente de salida de 4 mg/l a 6 mg/l mediante aereación forzada. De esta manera se logró cumplir con el valor guía deseado siendo el OD es en todo momento mayor a 5 mg/l como se observa en la proyección de OD de calidad actual con tratamiento.

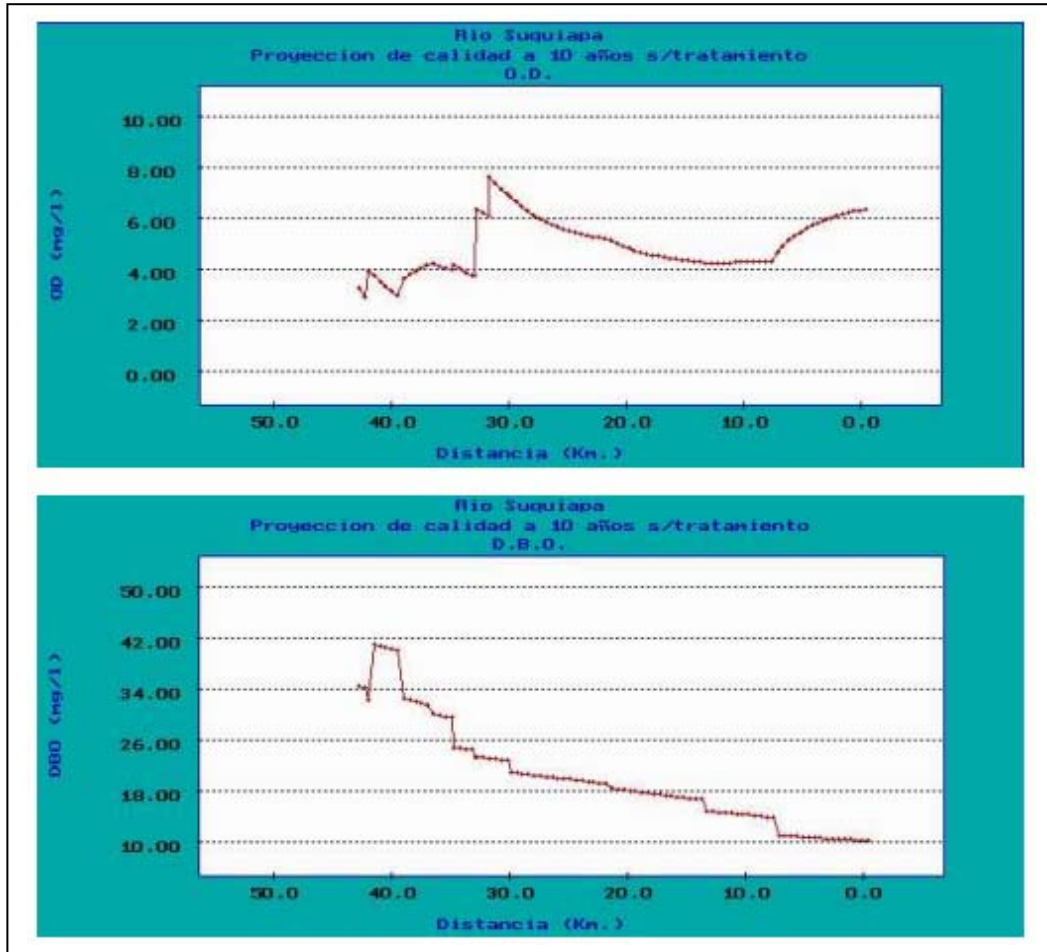
#### PROYECCION I Río Suquiapa. Calidad actual con tratamiento



La **Proyección II** demuestra que el río no alcanza a cumplir el valor guía de OD desde su nacimiento hasta la Central Hidroeléctrica ubicada en el Km 32 luego de la estación 12 PUENTE en la Hacienda Jardín sobre la carretera a San Pablo Tacachico. Desde este punto a la confluencia con el río La Cárcel en el Km 21 se cumple el valor guía. Desde este punto el nivel

de oxígeno comienza a bajar de 5 mg/l hasta la confluencia con el río Paso Hondo donde el nivel de OD se recupera a 7.5 Km antes de la desembocadura al Río Lempa.

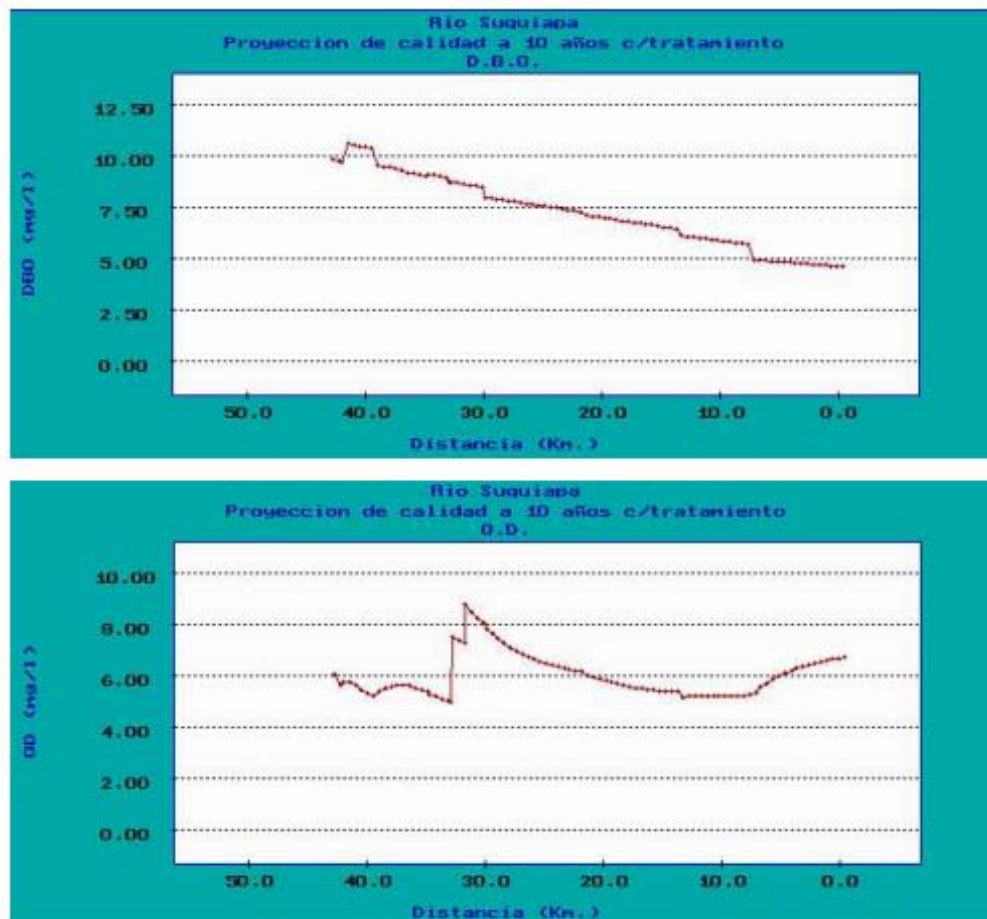
### PROYECCION II Río Suquiapa. Calidad a 10 años sin tratamiento



Para el caso de la **Proyección III** el nivel de tratamiento empleado en la Proyección I resulta adecuado dado que el OD solo desciende de 5 mg/l en un muy pequeño tramo luego de la confluencia con el río Guilguayo en el Km 33 antes de la desembocadura al Río Lempa.

Para la recuperación del río Suquiapa se propone instalar sistemas de tratamiento con un 75% de eficiencia en el tratamiento de DBO<sub>5</sub> a los ríos tributarios de la cabecera del río Suquiapa como son el río Sucio, Apanteos y Molino, además se propone, adicionar aireación forzada que permita el incremento del nivel de oxígeno disuelto de 4 a 6 mg/L.

### PROYECCION III Río Suquiapa. Calidad a 10 años con tratamiento.



### PROPUESTA DE DESCONTAMINACION DEL RIO SUQUIAPA

Para descontaminar el Río Suquiapa, es necesario aplicar un tratamiento de 75% de remoción de  $\text{DBO}_5$  y 20% de remoción de Nitrógeno total Kjeldalh a los ríos Molino, Apanteos y Sucio de Santa Ana. Adicionalmente en este caso es necesario aplicar aireación al agua al salir de los sistemas de tratamiento para que el río observe los niveles requeridos de Oxígeno Disuelto.

Al aplicar el tratamiento anteriormente recomendado el Río Suquiapa tiene la capacidad de depurar la carga orgánica del río y obtener niveles de Oxígeno Disuelto de 5 ppm, según los resultados de las proyecciones realizadas con el modelo.

De los tres ríos estudiados (Sucio, Acelhuate y Suquiapa) este es el que presenta mejores condiciones, pero el problema se centra en las descargas de los beneficios con gasto de altos niveles de agua y sin sistemas de tratamiento que descargan a los tributarios y las descargas de las aguas negras.

Como en el caso del Río Suquiapa es necesario elaborar estudios económicos tomando en cuenta todos los factores como los actores.

## **VII. CONCLUSIONES**

- El Índice de Calidad de Agua (ICA) en los cuatro puntos del canal principal del Río Acelhuate, califica la calidad del agua como pésima en todo el recorrido del canal principal con un valor ponderado alrededor de siete.
- El ICA calculado para los cuatro puntos en el canal principal del Río Sucio, decrece a medida avanza el recorrido del río de mala a pésima en la estación aguas abajo del punto 14 DESCA. Luego se observa un proceso de auto depuración en el río y la calidad asciende de pésima a mala antes de desembocar al Río Lempa, luego de un recorrido de un poco más de 54 kms desde la última estación valorada.
- El ICA calculado para los tres puntos del canal principal del Río Suquiapa varía de calidad de agua pésima en su nacimiento a mala en la desembocadura al Río Lempa. La contaminación del río Suquiapa originada en la cabecera departamental por la descarga de aguas negras y vertidos agroindustriales sin tratamiento alguno, sufre un proceso de estabilización de la materia orgánica en los cuarenta kilómetros antes de la desembocadura.
- En la subcuenca del Río Acelhuate es necesario aplicar un tratamiento de 90% de depuración de DBO<sub>5</sub> a diez ríos tributarios principalmente a los ríos Tomayate, Las Cañas y Arenal Monserrat que presentan un 86% de la carga contaminante total.
- La descarga de desechos sólidos a lo largo del canal principal del Río Acelhuate, vuelve más complicado el manejo de su carga contaminante y colabora para que varios tramos del río se conviertan en anaeróbicos.
- En la subcuenca del Río Sucio es necesario aplicar un tratamiento del 75% de depuración de DBO<sub>5</sub> a los ríos Canal Belén y Río Colón; además de restringir a la empresa 14 DESCA a no descargar más de 1,142 Kg por día o la cantidad de aguas de desecho equivalente a 22,859 personas ya que actualmente descarga diariamente la



carga equivalente a 57, 148 personas o un tercio de la población actual de la Ciudad de Santa Tecla.

- En la subcuenca del Río Suquiapa es necesario aplicar un tratamiento del 75% de depuración de DBO<sub>5</sub> a los tributarios más contaminados de su nacimiento: Río Sucio, Apanteos y El Molino.
  
- El uso de agua propuesto para el Río Acelhuate en el primer tramo es uso urbano para transportar aguas de desecho, la norma propuesta para este tramo es la CONAMA No.20 la cual evitará la producción de malos olores en todo el trayecto hasta llegar a la desembocadura del río Las Cañas. Actualmente no se cumple con la presente norma en este tramo pero con la aplicación de la depuración propuesta se puede alcanzar esta meta a corto plazo, posibilitando un manejo adecuado y sostenible del recurso.
  
- El uso de agua propuesto para el segundo tramo que inicia luego de la desembocadura del Río Las Cañas esta proyectado utilizarlo para uso agropecuario pero en base al *“Principio Antidegradatorio”* se ha propuesto el Decreto 40 que corresponde al Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental emitido en mayo del año 2000 por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el cual propone un nivel guía de calidad de vida acuática. Con la aplicación de los tratamientos se puede alcanzar esta norma a mediano plazo como se observa en la Proyección I del Río Acelhuate.
  
- Los usos propuestos para el canal principal de los ríos Sucio y Suquiapa según los planes de ordenamiento es básicamente agropecuario pero en base al *“Principio Antidegradatorio”* del recurso hídrico se propone un nivel guía de calidad de vida acuática en base al Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar una revisión de los Planes de Adecuación de las industrias que vierten a los ríos Canal Flor Amarilla-Canal Belén y Río Colón y la descarga 14 DESCA en la subcuenca del Río Sucio con la finalidad de verificar las cargas propuestas a verter por las empresas a los ríos mencionados y evaluar si los planes son adecuados o es necesario adaptarlos a los niveles presentados en este documento para mejorar la calidad del río en forma más integral.
  
- Los ríos Tomayate, Las Cañas y el Arenal Monserrat suman el 86% de la carga total de DBO<sub>5</sub> que llega al Río Acelhuate, estos transportan tanto aguas negras como vertidos industriales. Por lo anterior se recomienda buscar inicialmente una solución a la depuración de las fuentes puntuales (domésticos, industriales) de cada uno de los ríos o instalar un sistema de tratamiento en la desembocadura de cada río según lo propuesto en el numeral 6.2.1 (90% de tratamiento para DBO<sub>5</sub>) y establecer un canon por verter al río.
  
- Es necesario por principio manejar por separado aguas negras, aguas lluvias y desechos sólidos, por lo anterior adicionar desechos sólidos a las aguas del Río Acelhuate es incrementar su carga. Por lo anterior es necesario buscar una solución a los botaderos de basura en las riberas del río Acelhuate, ya que esto es una práctica normal en la población residente en sus alrededores pero complica el manejo del problema de la contaminación de sus aguas.
  
- En la subcuenca del Río Suquiapa es importante realizar un monitoreo y control de los beneficios descargan sus vertidos a las quebradas o ríos de la naciente del Río Suquiapa.

## **IX. BIBLIOGRAFIA**

- APHA,AWWA, WEF      **“Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales”**. 19 Edición, 1995.
- CEPIS                      **“RIOS 4.0 Modelos de Simulación de OD-DBO5”**. Perú, Lima 1995.
- Fair, Geyer                **“Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales”**. Mexico 1994.
- Lobos, José                **“Monitoreo de la Contaminación Hídrica de los Afluentes del Embalse del Cerrón Grande”**. Consultoría PAES 2000/09/04/07-MRH.
- Melcatf& Eddy            **“Ingeniería de las Aguas Residuales”**. 3a Edición Mexico 1996

## **ANEXO NO. 1**

### **METODOLOGIA DE TRABAJO**

## **Anexo Nº 1: Actividades involucradas en el manejo de una red de monitoreo de Calidad de Aguas**

### **Diseño de Redes de Monitoreo de Calidad de Aguas**

- Ubicación de estaciones de monitoreo representativas del área en estudio y cuerpo hídrico analizado.
- Selección de las fases y parámetros a muestrear (en agua, sedimentos).
- Determinación de bases estadísticas para emplear en los resultados a obtener acorde a los Objetivos del estudio, para fijar con la precisión y confianza la cantidad de datos, estaciones y la frecuencia de monitoreo a fin de efectuar evaluaciones válidas que sirvan a los responsables del Proyecto Ambiental.



#### **Muestreo en campaña**

- Selección de equipamiento, medios y técnicas para efectivizar la extracción o colecta de muestras “representativas” en el cuerpo hídrico o tramo del mismo analizado.
- Implementación y ejecución de las mediciones “de campo”, filtrado y preservación de muestras a efectuar en las matrices analizadas y tareas complementarias : aforos, meteorología, etc.
- Definición de estaciones de monitoreo y de los “puntos de toma” de muestras.
- Preservación y transporte de las muestras recolectadas al laboratorio

#### **Análisis en Laboratorio**

- Técnicas de medición acorde a matrices y niveles de concentración factibles.
- Metodología analítica empleada en la detección del parámetro.
- • Controles de calidad de la medición en campo y Laboratorio.
- Registro simple de datos analíticos, informes y reportes de los análisis de campo y laboratorio a los operadores de la Red de Monitoreo de C.A.



#### **Análisis de la información**

Incluye tareas que responden a los objetivos del Proyecto Ambiental encarado y pueden ser satisfechos mediante los siguientes ítems:

- Reporte estadístico “básico” de los datos, cumplimiento de normativas de Calidad en el cuerpo receptor y/o en efluentes (valores promedio, desvío estándar, coeficientes de variación, percentil de excedencia respecto a estándares, etc.).
- Empleo de Índices de Calidad de Agua (ICA), sedimentos, etc.
- Evaluación de tendencias mediante el empleo de análisis por regresión, series de tiempo, Modelos de Calidad de Agua / interpretación y aplicación a los objetivos del estudio.



#### **Manejo de datos**

- Registro computarizado de datos analíticos de calidad de agua y de datos complementarios ( hidrológicos, atmosféricos) de otras fuentes.
- Chequeo y verificación ( consistencia, precisión, confiabilidad) de la información suministrada.
- ← • Formatos de presentación de la información en reportes de datos “crudos” y procesados por el Ente responsable, a nivel “oficial” de la Red y documentación a elevar a usuarios, a las autoridades regionales y resúmenes para consulta para la prensa y el público en general.

#### **Uso de la información recolectada**

Respuesta frente a los requisitos del estudio ( nivel de precisión, confiabilidad) y utilidad respecto los objetivos del estudio a efectuar / requisitos operacionales / Evaluación del grado de utilidad de los datos buscados vs datos reportados y vs Objetivos del estudio.

**ANEXO NO. 2**  
**ANTECEDENTES DE USOS**

## **ANTECEDENTES DE LA ZONIFICACION DE LOS RIOS ACELHUATE, SUCIO Y SUQUIAPA.**

### **Introducción.**

Los Planes de Ordenamiento Territorial, son los lineamientos rectores de las actividades socio-económicas que serán desarrolladas en las áreas de competencias. Por ser planes de tipo general, se incluyen en los mismos todos los elementos relevantes como por ejemplo los aspectos físicos del territorio y los recursos naturales, la población y las actividades económicas, la planificación de las áreas urbanas y el problema habitacional, el transporte y las comunicaciones y los aspectos sociales como educación, salud, etc. De la conjunción de todos los elementos objetivos y subjetivos necesarios nace la o las alternativas que se consideran mas adecuadas en términos globales.

En el caso de este trabajo se cuenta con el “Plan de Desarrollo Territorial para El Valle de San Andrés” (Contrato FOSEP-INYPSA, 1999) y, con El “Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial - Informe Inicial -Prediagnóstico” (MARN-VMVDU, 2002).

Una parte de los elementos considerados en los Planes de Ordenamiento son los recursos hídricos y de los mismos surge la calidad requerida para suplir las necesidades derivadas de los usos del territorio. Esta es una forma de definir la calidad que se pretende preservar de un curso de agua. En otras ocasiones la calidad pretendida del curso de agua esta asociada a los usos efectivos que se realizan del mismo, que pueden ser en áreas restringidas y por ello responder solo en parte a las expectativas del plan propuesto, si es que dichos usos no fueron contemplados o no fueron considerados como entidad de peso suficiente frente a la totalidad.

Se presentan distintos criterios para definir usos y uno de los principios propuestos es el *“Principio Antidegradatorio del Recurso Hídrico”* que establece que el uso a asignar no debe ser menor que aquel que el recurso está en condiciones naturales de ofrecer. Otro de los principios que suelen aplicarse para definir la calidad pretendida el recurso hídrico es establecerlo en el ámbito de su efecto en los usos asociados a la totalidad de la cuenca. De esta forma debe considerarse su posible influencia aguas abajo de su confluencia, por ejemplo contribuir a la eutrofización de embalses.

### **“Plan de Desarrollo Territorial para el Valle de San Andrés”**

Dentro de la complejidad del Plan de Desarrollo Territorial para el Valle de San Andrés (Elaborado por el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano en el año 2000), dada la multiplicidad de factores y elementos que conjuga, se identificaron como base para el análisis los siguientes elementos:

El Plan Estratégico, tiene como objetivo general es “Propiciar el Desarrollo Sostenible de la Región a través de instrumentos y propuestas que favorezcan la gestión integral del Valle”. Este plan cuenta con numerosos planes y proyectos y de los primeros dentro del plan de ordenamiento ambiental, en componente gestión de los recursos hídricos propone las siguientes metas:

- ❑ Garantizar la permanencia de los cafetales
- ❑ Mantener el funcionamiento hidráulico de los cauces en la cuenca y la calidad del agua
- ❑ Control de la calidad del agua a través de proyectos de monitoreo
- ❑ Almacenamiento de agua superficial para riego
- ❑ Tratamiento de aguas residuales

El Plan de Ordenamiento Ambiental es el que se ha elegido para definir el uso del terreno aledaño al río. Este plan la zonificación del territorio se efectúa en base a Categorías de Ordenación. Estas categorías son recintos territoriales identificados con criterios diversos, cada uno de los cuales se adopta como base para definir niveles de uso del territorio y la forma en que pueden desarrollarse las actividades humanas para que se garantice la conservación y explotación racional y sostenida de los recursos que contiene. Las categorías propuestas son:

- ❑ Zonas de máxima protección
- ❑ Zonas de desarrollo restringido
- ❑ Bosque cafetal
- ❑ Bosque degradado y matorrales con ejemplares arbóreos
- ❑ Zonas de desarrollo agropecuario



- ❑ Reserva para agricultura intensiva
- ❑ Zona de agricultura pluvial sostenible
- ❑ Zonas de desarrollo especial
- ❑ Zonas de valorización de recursos culturales arqueológicos
- ❑ Zonas de desarrollo turístico ecosostenible
- ❑ Zonas de recuperación ambiental
- ❑ Áreas con procesos de erosión activos
- ❑ Complejos de rivera
- ❑ Zonas compatibles con la utilización urbanística

Del análisis de los territorios definidos por la clasificación enunciada, se concluyó que la casi totalidad de las áreas cercanas al río se clasificaban como Zonas de Desarrollo Agropecuario en sus dos alternativas: reserva para agricultura intensiva y zona de agricultura pluvial sostenible. Solo en unas pequeñas áreas las zonas anteriores son compartidas con zonas de desarrollo restringido-bosque degradado y matorrales con ejemplares arbóreos.

Existe la premisa explícita de mantener y aumentar los distritos de Riego de Zapotitán y Atiocoyo.

#### **“Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Informe Inicial -Prediagnóstico”**

Tal como se expresa en su título, el plan se encuentra en su fase de prediagnóstico, por lo cual no se hallan en el mismo los usos del suelo en las cuencas de los ríos Acelhuate y Suquiapa. Este trabajo es sumamente minucioso en cuanto al planteamiento del problema y en los elementos de juicio que a recogido para las fases siguientes. De su lectura detallada se tiene una visión global muy rica de la problemática del ordenamiento territorial en El Salvador, los factores que intervienen, la interrelación de instancias políticas, los antecedentes y la filosofía que se pretende aplicar en el plan.

La sanción de la Ley del Medio Ambiente en 1998, y con la posterior aprobación de la Política Nacional del Medio Ambiente, en el 2000, constituye uno de los puntos clave en el desarrollo de la política territorial.

Con referencia a la protección de los recursos hídricos, en el Plan se enfatiza el grado de contaminación de los mismos derivado de la falta de tratamiento de los efluentes domésticos e industriales los cuales son descargados a los cursos receptores, lo que ocasiona pérdidas económicas y lo que es muy importante constituye un permanente factor de riesgo para la salud de la población. Sintetiza la problemática de los recursos hídricos en los siguientes factores:

- ❑ Confusión y elevada dispersión de competencias.
- ❑ Altos niveles de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- ❑ Irregularidad y variabilidad de las precipitaciones.
- ❑ Reducción en la captación por deforestación e impermeabilización.
- ❑ Escasa regulación y control de los aprovechamientos.

**a. El uso de los suelos en El Salvador**

En el “Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Informe Inicial - Prediagnóstico”, se efectuó una distribución de los usos actuales del suelo en la totalidad del territorio del país. Un resumen del trabajo se presenta en la Tabla No. 4.

TABLA 1 : Porcentajes del territorio de El Salvador dedicado a uso agropecuario

Potencial Agropecuario	Superficie (Ha)	% Territorio
Tierras aptas para agricultura intensiva	354,409	16.84
Tierras aptas para agricultura semi-intensiva	271,640	
Tierras aptas para cultivos permanentes	235,858	11.21
Tierras aptas para la ganadería	103,953	4.94
Subtotal	965,860	45.90
Tierras de vocación forestal	739,488	35.15
Tierras de protección	276,927	13.16
Subtotal	1,016,415	48.31
Superficie para usos no agropecuarios ni forestales	121,825	5.79

Fuente: Rubio, Fabian; Germain, Anne y Góchez, Roberto, 1996: “La situación ecológica de El Salvador en cifras”, UCA editores, San Salvador, El Salvador, 187 pp.

TABLA 2: Relación entre los usos del suelo actual en El Salvador

USOS DEL SUELO	Superficie (Hectáreas)	% del Uso Principal	% de la Superf. del País
Urbanos e infraestructuras de gran ocupación espacial	43,957.17	100	2.08
• Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)	(*) 10,000	22.74	0.47
Zonas turísticas	5,169.32	100	0.24
Usos agropecuarios	1,592,249.4	100	75.62
Usos naturales (bosques)	381,188.13	100	18.10
Cuerpos de agua	54,467.60	100	2.58
• Artificiales (Embalses)	16,078.07	29.51	0.76
• Naturales	38,389.53	70.48	1.82
Otros usos del suelo	28,286.7	100	1.34
• Lava	9,395.75	33.21	0.44
• No aptos	18,890.95	66.70	0.89
TOTAL	2,105,318.2	100	100

FUENTE: “Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Informe Inicial -Prediagnóstico”, 2002

Del mismo trabajo se ha seleccionado la Tabla N° 5 donde se presenta en porcentaje del territorio con efectivo potencial agropecuario.

De la comparación de los valores presentados surge que existe un exceso de uso de la tierra para actividades agropecuarias del 30% mientras que inversamente el 48,31 % del territorio es apto para uso forestal y tierras protegidas y se dedica a ello solo el 18%. Si bien las autoridades se encuentran abocadas a corregir estas diferencias no se prevé que los mismos puedan ser solucionados en corto plazo dado que muchas de las áreas agrícolas están dedicadas a cultivos de subsistencia por parte de la población de bajos recursos. Atento a estas consideraciones se estima que el uso primordial del terreno en El Salvador continuará siendo agrícola al menos en el corto plazo.

#### **b. Tendencias demográficas**

Dado que las cuencas hidrográficas sometidas a estudio comprenden parte de los municipios de cada uno de los departamentos y municipios de departamentos adyacentes, las Tablas de la No. 6 a la No.8, presenta los aspectos demográficos solamente a los involucrados.

TABLA No.3 : La población en los municipios de la cuenca del río Sucio

MUNICIPIO	Departamento	Pob.2000	Pob.1971	Supf.(km <sup>2</sup> )	Densidad	Crecim. Anual
NUEVA SAN SALVADOR	La Libertad	158,206	53,067	112.2	1410	3.84%
COLON	La Libertad	72,583	20,116	84.05	864	4.52%
SAN JUAN OPICO	La Libertad	63,261	34,327	218.94	289	2.13%
QUEZALTEPEQUE	La Libertad	57,592	30,329	125.38	459	2.24%
CIUDAD ARCE	LA LIBERTAD	49,591	25,132	86.76	572	2.37%
SAN PABLO TACACHICO	La Libertad	22,456	13,089	129.48	173	1.88%
TAMANIQUE	La Libertad	14,728	6,493	59.04	249	2.86%
JAYAQUE	La Libertad	14,018	7,470	47.53	295	2.19%
SACACOYO	La Libertad	12,527	4,525	25.22	497	3.57%
TEPECOYO	La Libertad	12,252	8,941	61.14	200	1.09%
SAN MATIAS	La Libertad	8,987	4,910	52.53	171	2.11%
TALNIQUE	La Libertad	7,370	4,438	29.72	248	1.76%
PROMEDIO CRECIMIENTO ANUAL : 2,54 %						

FUENTE : Elaboración propia en base a “Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Informe Inicial -Prediagnóstico”

TABLA No. 4 : La población en los municipios de la cuenca del río Acelhuate

MUNICIPIO	Departamento	Pob.2000	Pob.1971	Supf.(km <sup>2</sup> )	Densidad	Crecim. Anual
SAN SALVADOR	San Salvador	479,605	338,154	72.25	6638	1.29%
SOYAPANGO	San Salvador	285,286	43,158	29.72	9599	6.73%
MEJICANOS	San Salvador	189,392	69,359	22.12	8562	3.52%
APOPA	San Salvador	171,833	18,980	51.84	3315	7.89%
CIUDAD DELGADO	San Salvador	153,350	64,048	33.42	4589	3.06%
ILOPANGO	San Salvador	132,231	23,757	34.63	3818	6.10%
SAN MARTÍN	San Salvador	107,212	14,220	55.84	1920	7.21%
SAN MARCOS	San Salvador	70,610	28,451	14.71	4800	3.18%
TONACATEPEQUE	San Salvador	41,277	12,857	67.55	611	4.10%
AYUTUXTEPEQUE	San Salvador	39,953	8,379	8.41	4751	5.53%
TONACATEPEQUE	San Salvador	41,277	12,857	67.55	611	4.10%
NEJAPA	San Salvador	32,172	15,368	83.36	386	2.58%
AGUILARES	San Salvador	30,184	10,209	33.72	895	3.81%
GUAZAPA	San Salvador	26,996	10,100	63.65	424	3.45%
EL PAISNAL	San Salvador	16,345	11,874	125.49	130	1.11%
SUCHITOTO	CUSCATLAN	16,347	34,101	329.32	50	-2.50%
SAN JOSE GUAYABAL	CUSCATLAN	10,577	9,639	42.74	247	0.32%
ORATORIO DE CONCEPCION	CUSCATLAN	2,552	2,523	24.32	105	0.04%
PROMEDIO CRECIMIENTO ANUAL : 3,45 %						

FUENTE : Elaboración propia en base a "Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Informe Inicial -Prediagnóstico"

TABLA No. 5 : La población en los municipios de la cuenca del río Suquiapa

MUNICIPIO	Departamento	Pob.2000	Pob.1971	Supf.(km <sup>2</sup> )	Densidad	Crecim. Anual
SANTA ANA	SANTA ANA	248,964	160,382	400.05	622	1.53%
COATEPEQUE	SANTA ANA	45,887	27,654	126.85	362	1.76%
SAN PABLO TACACHICO	La Libertad	22,456	13,089	129.48	173	1.88%
SAN MATIAS	La Libertad	8,987	4,910	52.53	171	2.11%
PROMEDIO CRECIMIENTO ANUAL: 1,82 %						

### Síntesis de los usos probables de los cursos de agua asociados al Ordenamiento Territorial

El caso mas claro de uso del territorio lo constituye la parte de la cuenca del río Sucio que se encuentra comprendida en el valle de San Andrés. Como ya fue detallado el uso primordial que se propone para el territorio es el agropecuario y en consecuencia las aguas del río deben tener una calidad que satisfaga dicho uso.

El caso del río Acelhuate es más complejo dado que discurre en áreas de gran influencia antrópica. No se cuenta todavía con un plan de uso del territorio definido para esta cuenca pero dado el crecimiento urbanístico y poblacional de los últimos años, se podría estimar que el uso del suelo continuará siendo el mismo tendiendo, si las políticas del gobierno se enfocan a una descentralización de los asentamientos poblacionales, a estabilizarse en el nivel actual sin aumentar. Como todos los cursos de agua que tienen estas características, los usos que se dan al mismo son bastantes degradantes en cuanto al aspecto ambiental y sanitario se refieren. Estos ríos como muchos otros que se encuentran en las grandes ciudades son los receptores directos o indirectos de descargas líquidas municipales e industriales con poco o ningún tipo de tratamiento. Desafortunadamente y como si con los desechos líquidos no fuese suficiente, se transforman también en receptores y diseminadores de desechos sólidos de carácter domiciliario. Dado lo expresado se intentará proponer un uso razonable de las aguas acorde a la realidad.

El río Suquiapa tampoco tiene definido el uso del suelo en su cuenca pero, basándose en la realidad general del uso del terreno en el país y en las características de sus tierras se podría suponer con cierto grado de certeza que las mismas serían dedicadas mayoritariamente a las actividades agropecuarias y este sería el uso primordial de las aguas. Este curso cuenta con la facilidad de poseer las aguas menos contaminadas de las tres cuencas estudiadas. Solo presenta contaminación en sus nacientes que se degrada por efecto de la autodepuración del curso.

### Niveles Guía de Calidad de Aguas seleccionados para los cursos considerando diferentes factores

En mayo del año 2000 el gobierno de emitió el **Decreto N° 40 “Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental”**, en cuyo Capítulo IV referente a la Calidad del Agua, en el apartado de calidad del agua como medio receptor (Art.19) ; establece una serie de parámetros y límites de concentración a ser cumplidos en el curso receptor los cuales se transcriben a continuación:

TABLA N° 6: Niveles Guía del Decreto N° 40 (Uso Protección de Vida Acuática)

PARÁMETRO	UNIDADES	LIMITE
Coliformes Totales	UFC/100ml	≤ 5000
Coliformes Fecales		≤ 1000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Mg/L	Oxígeno disuelto del río ≥ 5.0
Oxígeno disuelto	Mg/L	≥ 5.0
PH	Unidades de pH	Debe mantenerse en un rango de 6,5 a 7,5 unidades o no alterar en 0,5 unidades de pH el valor ambiental natural
Turbiedad	UNT	No deberá incrementarse mas de 5 unidades de turbiedad sobre los límites ambientales del cuerpo receptor
Temperatura	°C	Debe mantenerse en un rango entre los 20 °C y 30 °C o no alterar a un nivel de 5 °C la temperatura del cuerpo receptor
Toxicidad *	Mg/L	No debe exceder de 0,05 de plaguicidas organoclorados

\*Este parámetro no ha sido tomado en cuenta en el presente estudio y es objeto de posteriores investigaciones.

Para el caso de los ríos Sucio y Suquiapa se considera adecuado el empleo de estos valores como Nivel Guía de Calidad Ambiental del recurso no obstante que la cantidad de parámetros que incluye es reducida y no se refiere a un uso específico. El empleo de estos valores como complementarios de los referentes al uso agropecuario, aparte del hecho que tienen fuerza de ley, se basa en el principio de antidegradación del recurso dado que el potencial de los mismos es superior al uso derivado del ordenamiento territorial. En la Figura No. 6 se observa la propuesta de usos para estos ríos.

La selección de los valores de calidad de aguas para el río Acelhuate requirió como ya fue expresado de un análisis particular. Como es lógico, se debe verificar el cumplimiento de los valores del Nivel Guía de Calidad Ambiental enunciados precedentemente. No obstante, basándose en la realidad de los datos de calidad recopilados y en diversos factores socio-económicos, resulta difícil verificar el cumplimiento de estos valores por lo menos en el corto plazo, aunque esa debe ser la meta propuesta.

En base a este criterio se propuso lo siguiente, utilizar como Nivel Guía los valores fijados en la categorización de las aguas efectuada en BRASIL (Resolución CONAMA N° 20 de junio del año 1986), aguas Clase 3 destinadas a :

- ❑ Irrigación de especies arbóreas, cereales y forrajes
- ❑ Agua de bebida de ganado

Los límites son los siguientes:

Tabla No. 7 Niveles Guías CONAMA No. 20

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>NORMA</b>
Materias Flotantes y Espumas		Ausente
Aceites y Grasas		Ausente
Sustancias que comuniquen mal gusto u olor		Ausente
Colorantes artificiales que no se puedan remover por coagulación, sedimentación o filtración		Ausente
Sustancias que formen depósitos objetables		Ausente
DBO <sub>5</sub>	mg/l	≤ 10
Oxígeno Disuelto	mg/l	≥ 4
Turbidez	UNT	<100
Color	Uco-Pt	≤ 75
PH	Unidades de pH	6,0 a 9,0
Coliformes fecales	NMP/100ml	4,000
Coliformes totales	NMP/100ml	20,000

A partir de la confluencia del río Acelhuate con el río Las Cañas se plantea el empleo de los Niveles Guía de Calidad Ambiental del Decreto N° 40 por entenderse que esta zona esta más dedicada al cultivo y tambien es utilizada para usos de contacto directo con la población. Debe entenderse que este tramo del Río Acelhuate se esta proponiendo el decreto 40 pero exceptuando el parámetro de toxicidad debido a que es objeto de posteriores estudios.



**IX. BIBLIOGRAFIA**

- APHA,AWWA, WEF      **“Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales”**. 19 Edición, 1995.
- CEPIS      **“RIOS 4.0 Modelos de Simulación de OD-DBO5”**. Perú, Lima 1995.
- Fair, Geyer      **“Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales”**. Mexico 1994.
- Lobos, José      **“Monitoreo de la Contaminación Hídrica de los Afluentes del Embalse del Cerrón Grande”**. Consultoría PAES 2000/09/04/07-MRH.
- Melcatf& Eddy      **“Ingeniería de las Aguas Residuales”**. 3a Edición Mexico 1996