

**Mon  
628.16  
M737  
2008**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**RECINTO UNIVERSITARIO "SIMÓN BOLÍVAR"**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



Monografía para optar al grado de  
Ingeniero Químico

**“Evaluación de la calidad del agua potable en cuatro Plantas  
Potabilizadoras de la región Boaco-Chontales para el período de  
tiempo 2003 - 2007”**

JUSTINA DEL ROSARIO MONCADA ROMERO  
ESTELA ALEJANDRA MUNGUÍA ACOSTA

TUTOR: LIC. ENG. INDIANA GARCÍA GRANADOS

MANAGUA, NICARAGUA.  
NOVIEMBRE, 2008.

# Índice

	<b>Páginas</b>
Índice	i
Resumen	xii
Dedicatorias	xiii
Agradecimiento	xvi
<b>Capítulo I: Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	4
<b>Capítulo II: Marco Teórico</b>	<b>5</b>
2.1 Características del Agua	5
2.1.1 Características Físicas	5
2.1.2 Características Químicas	9
2.1.3 Características Microbiológicas	13
2.1.4 Características Orgánicas	14
2.2 Calidad del Agua	18
2.3 Descripción General del Tratamiento Convencional en una PTAP	20
2.4 Índice de Calidad del Agua	27
<b>Capítulo III: Metodología</b>	<b>28</b>
3.1 Recolección de Datos	28
3.2 Análisis de Datos	28
3.3 Parámetros a Evaluar	30
3.4 Criterios de Remoción	31
3.5 Índices de Calidad	31
<b>Capítulo IV: Descripciones de las Cuatro Plantas Potabilizadoras</b>	<b>34</b>
4.1 Planta Potabilizadora de Boaco	34
4.1.1 Generalidades	34
4.1.2 Disposición General de la Planta	35
4.1.3 Entrada del Agua Cruda a la Planta	36
4.1.4 Bombeo del Agua Cruda	36
4.1.5 Adición de Coagulante y Floculación	36
4.1.6 Sedimentación	38
4.1.7 Filtros Rápidos	39

4.1.8	Tanque de Agua Filtrada y Aplicación de Cloro	40
4.1.9	Bombeo de Agua Filtrada	41
4.1.10	Manejo y Almacenamiento de Productos Químicos	41
4.2	Planta Potabilizadora de Camoapa	42
4.2.1	Municipio de Camoapa	42
4.2.2	Sistema de Abastecimiento de la Planta Potabilizadora de Camoapa	42
4.2.3	Planta Potabilizadora	43
4.2.4	Dosificación de Productos Químicos	46
4.3	Planta Potabilizadora Santo Tomás, Chontales	47
4.3.1	Descripción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santo Tomás, Chontales	47
4.3.2	Departamento de Almacenamiento de Químicos	50
4.4	Planta Potabilizadora de Juigalpa, Chontales	51
4.4.1	Componentes de la Planta de Potabilización	51
4.4.2	Edificio de Operaciones	54
<b>Capítulo V:            Discusión de Resultados</b>		<b>55</b>
5.1	Agua Cruda	56
5.1.1	Características Físicas	56
5.1.2	Características Químicas	58
5.1.3	Características Orgánicas	62
5.1.4	Características Microbiológicas	64
5.2	Agua Sedimentada	64
5.2.1	Características Físicas	64
5.2.2	Características Químicas	67
5.2.3	Características Orgánicas	71
5.2.4	Características Microbiológicas	73
5.3	Agua Potable	74
5.3.1	Características Físicas	74
5.3.2	Características Químicas	77
5.3.3	Características Orgánicas	82
5.3.4	Características Microbiológicas	83
5.3.5	Desinfección y Subproductos	83
5.3.6	Cumplimientos de las PTAP con las Normas CAPRE	84
5.4	Tendencias Anuales	86
5.4.1	PTAP de Santo Tomás	86
5.4.2	PTAP de Juigalpa	93
5.4.3	PTAP de Camoapa	100
5.4.4	PTAP de Boaco	107
5.5	Cálculo de los Índices de Calidad para el Agua Cruda	114
<b>Capítulo VI:            Conclusiones y Recomendaciones</b>		<b>118</b>
6.1	Conclusiones	118
6.2	Recomendaciones	120

Referencias  
Anexos

121  
124

## Lista de Tablas

Tabla 2.1	Clasificación de las Aguas según su Dureza	11
Tabla 2.2	Microorganismos y Enfermedades	13
Tabla 2.3	Relación DOC/TOC respecto al tipo de Materia Orgánica	16
Tabla 2.4	SUVA, Composición, Coagulación y Remoción de DOC	18
Tabla 2.5	Parámetros Organolépticos	19
Tabla 2.6	Parámetros Físico-Químicos	19
Tabla 2.7	Parámetros para Sustancias no Deseadas	19
Tabla 2.8	Ventajas y Desventajas del Sulfato de Aluminio y el Cloruro de Hierro	24
Tabla 3.1	Parámetros de Calidad Evaluados	30
Tabla 3.2	Criterios de Remoción	31
Tabla 3.3	Criterios Generales según el ICA	33
Tabla 5.1	Valores Promedios de las Características Físicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V)	65
Tabla 5.2	Valores Promedios de las Características Químicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V)	68
Tabla 5.3	Valores de las Características Químicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V)	69
Tabla 5.4	Valores de las Características Orgánicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V)	72
Tabla 5.5	Valores de las Características Físicas del Agua Sedimentada (AS), Agua Potable (AP) y Porcentaje de Variación (%V)	75
Tabla 5.6	Valores de las Características Químicas del Agua Sedimentada	78

(AS), Agua Potable (AS) y Porcentaje de Variación (%V)

Tabla 5.7	Valores de las Características Químicas del Agua Sedimentada (AS), Agua Potable (AP) y Porcentaje de Variación (%V)	80
Tabla 5.8	Valores de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada (AS), Agua Potable (AP) y Porcentaje de Variación (%V)	82
Tabla 5.9	Cumplimiento de las PTAP con la Normativa CAPRE	85
Tabla 5.10	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Cruda en la planta de Santo Tomás	87
Tabla 5.11	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Santo Tomás	87
Tabla 5.12	Valores de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Santo Tomás	88
Tabla 5.13	Valores de las Características Físicas del Agua Sedimentada en la planta de Santo Tomás	89
Tabla 5.14	Valores de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Santo Tomás	90
Tabla 5.15	Valores de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada de la planta de Santo Tomás	90
Tabla 5.16	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Potable en la planta de Santo Tomás	91
Tabla 5.17	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Santo Tomás	92
Tabla 5.18	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro, Bromuro y Amonio de Agua Potable en la planta de Santo Tomás	92
Tabla 5.19	Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Potable en la planta de Santo Tomás	93
Tabla 5.20	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Cruda en la planta de Juigalpa	94

Tabla 5.21	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Juigalpa	94
Tabla 5.22	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Cruda en la planta de Juigalpa	95
Tabla 5.23	Valores de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Juigalpa	95
Tabla 5.24	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Sedimentada en la planta de Juigalpa	96
Tabla 5.25	Valores de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Juigalpa	97
Tabla 5.26	Valores de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada en la planta de Juigalpa	97
Tabla 5.27	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Potable en la planta de Juigalpa	98
Tabla 5.28	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Juigalpa	99
Tabla 5.29	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Potable en la planta de Juigalpa	99
Tabla 5.30	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Cruda en la planta de Camoapa	100
Tabla 5.31	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Camoapa	101
Tabla 5.32	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Cruda en la planta de Camoapa	101
Tabla 5.33	Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Camoapa	102
Tabla 5.34	Valores Anuales de las características Físicas del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa	102
Tabla 5.35	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa	103
Tabla 5.36	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa	103

Tabla 5.37	Valores de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa	104
Tabla 5.38	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Potable en la planta de Camoapa	105
Tabla 5.39	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Camoapa	105
Tabla 5.40	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Potable en la planta de Camoapa	106
Tabla 5.41	Valores de las Características Orgánicas del Agua Potable en la Planta de Camoapa	106
Tabla 5.42	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Cruda en la planta de Boaco	107
Tabla 5.43	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Boaco	108
Tabla 5.44	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio y Hierro del Agua Cruda en la planta de Boaco	108
Tabla 5.45	Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Boaco	109
Tabla 5.46	Valores Anuales de las Características Físicas de Agua Sedimentada en la planta de Boaco	109
Tabla 5.47	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Boaco	110
Tabla 5.48	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Sedimentada en la planta de Boaco	111
Tabla 5.49	Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada en la planta de Boaco	111
Tabla 5.50	Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Potable en la planta de Boaco	112
Tabla 5.51	Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Boaco	113
Tabla 5.52	Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio	113

del Agua Potable en la planta de Boaco

Tabla 5.53	Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Potable en la planta de Boaco	114
Tabla 5.54	Datos Ponderados de cada Parámetro para el cálculo de ICA	116
Tabla 5.55	Resultados Anuales de los ICA para cada planta	117

## Lista de Figuras

Figura 2.1	Composición de la Materia Orgánica Natural	14
Figura 2.2	Distribución del Carbono Total	15
Figura 2.3	Modelo esquemático del proceso de Coagulación	22
Figura 2.4	Modelo Esquemático del proceso de Floculación	24
Figura 3.1	Flujograma del Proceso de Potabilización	28
Figura 3.2	Rangos de Clasificación del ICA según el Uso del Agua	32
Figura 4.1	Ubicación de la Ciudad de Boaco	34
Figura 4.2	Río Fonseca	35
Figura 4.3	PTAP de Boaco	35
Figura 4.4	Entrada del Agua Cruda	36
Figura 4.5	Adición de Coagulante	37
Figura 4.6	Mezcla Rápida	37
Figura 4.7	Floculador	38
Figura 4.8	Sedimentadores	38
Figura 4.9	Filtros Rápidos	39
Figura 4.10	Tanque de Almacenamiento de Cloro	40
Figura 4.11	Dosificador de Cloro	40
Figura 4.12	Ubicación Geográfica de Camoapa	42
Figura 4.13	Planta Potabilizadora de Camoapa	43
Figura 4.14	Cámara de Entrada	44
Figura 4.15	Floculador Hidráulico de Flujo Vertical	44

Figura 4.16	Decantadores de alta tasa a Flujo Laminar	45
Figura 4.17	Tanque de Almacenamiento y Filtro	45
Figura 4.18	Dosificador de Cloro	46
Figura 4.19	Dosificador de Sulfato de Aluminio	46
Figura 4.20	Modulo de Tratamiento	47
Figura 4.21	Cámara de Llegada y Proceso de Coagulación	48
Figura 4.22	Floculadores Hidráulicos	48
Figura 4.23	Sedimentador	49
Figura 4.24	Filtros	49
Figura 4.25	P.T.A.P de Santo Tomás	50
Figura 4.26	Dosificador de Sulfato de Aluminio	50
Figura 4.27	Dosificador de Cloro	51
Figura 4.28	Vista Panorámica de la PTAP de Juigalpa, Chontales	52
Figura 4.29	Cámara de Entrada de Agua	53
Figura 4.30	Sedimentadores	53
Figura 4.31	Filtros Rápidos de Arena	53
Figura 5.1	Promedios de las Características Físicas del Agua Cruda	56
Figura 5.2	Promedio de pH, Acidez, Alcalinidad, y Dureza del Agua Cruda	59
Figura 5.3	Promedios de Nitratos, Sulfatos, Aluminio y Hierro del Agua Cruda	61
Figura 5.4	Promedios de las Características Orgánicas en el Agua Cruda	63
Figura 5.5	Promedios de las Características Físicas del Agua Sedimentada	67
Figura 5.6	Promedios de pH, Acidez, Alcalinidad y Dureza del	68

	Agua Sedimentada	
Figura 5.7	Promedios de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Sedimentada	70
Figura 5.8	Promedios Características Orgánicas en el Agua Sedimentada	73
Figura 5.9	Promedios de Características las Físicas del Agua Potable	77
Figura 5.10	Promedios de pH, Acidez, Alcalinidad y Dureza del Agua Potable	79
Figura 5.11	Promedios de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Potable	81
Figura 5.12	Promedios de Características Orgánicas del Agua Potable	83
Figura 5.13	Resultados de Cloro Residual y THMs para Agua Potable	84
Figura 5.14	Índices de la Calidad para el Agua Cruda de Santo Tomás y Juigalpa	115
Figura 5.15	Índices de la Calidad para el Agua Cruda de Boaco y Camoapa	115

## **Resumen**

El presente estudio tuvo como objetivo realizar una evaluación de la calidad del agua haciendo uso de parámetros físicos, químicos, orgánicos y microbiológicos en cuatro plantas potabilizadoras ubicadas en los municipios de Santo Tomás, Juigalpa, Camoapa y Boaco, para tres etapas del tratamiento convencional como son: agua cruda, agua sedimentada y agua filtrada-potable durante el periodo de estudio (2003-2007).

En la primera etapa se observó que el agua cruda de cada planta estaba muy contaminada por lo que en las etapas posteriores, como son la sedimentación y la filtración, se dificultó la remoción de ciertos parámetros. El cálculo del Índice de Calidad comprobó que el agua cruda más contaminada es la de la planta de Santo Tomás.

Los porcentajes de remoción se determinaron para conocer las eficiencias de estas unidades de tratamiento en cada planta, los cuales al ser comparados con los establecidos en la literatura, se encontró que estaban por debajo de los porcentajes teóricos.

La valoración de la calidad del agua potable se realizó a través de la comparación de las normas establecidas por el Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE), de esta forma se pudo conocer que ninguna de las plantas cumplió a cabalidad con esta normativa y por lo tanto el agua que esta siendo distribuida tiene deficiencias en cuanto a su calidad.

También se analizó la tendencia que ha tenido la calidad del agua en las diferentes etapas a lo largo de los años evaluados, en la que todas las PTAP presentaron variaciones, debido a la época en que se realizaron los muestreos y al tipo de invierno.

## *Dedicatoria*

*El presente trabajo es dedicado a Dios y a todas las personas que me apoyaron para hacer realidad este sueño.*

*A Dios por iluminarme con su sabiduría.*

*A mis padres; Luis Munquía y Estelvína Acosta por su amor inmenso y por que creyeron en mí, dándome la oportunidad de ser quien soy.*

*A mi abuelita Justa a quien quiero mucho, que me enseñó a crecer en los caminos de Dios.*

*A Paula Jarquín por su apoyo moral e incondicional en todos los momentos de mi vida.*

*A mi Hija, Alejandra Jolie que es mi mayor inspiración y el motivo que me impulsa siempre a seguir adelante.*

*A Roberto Rojas, el hombre que amo, quien con su comprensión, apoyo y paciencia me ayudó a finalizar este proyecto de mi vida.*

*A mis compañeros de clase, por su amistad y su cariño, en especial a Justina en quien he encontrado un verdadero apoyo y del cual ha surgido una gran amistad.*

*Estela Alejandra Munquía Acosta*

## *Dedicatoria*

*Todo el esfuerzo y el amor entregado en la realización de este trabajo monográfico se lo ofrezco en primer lugar a mi padre celestial Jehová Dios dador de sabiduría e inteligencia quién me ha bendecido desde el primer día de mi existencia dándome la oportunidad de poder realizar uno de mis grandes sueños.*

*A mi madre Doña María Romero Sandino por ser fuente de mi inspiración y motivación, por darme fuerzas y confianza a lo largo de mi vida, a mis hermanos María Soledad y Jorge Moncada por siempre haber estado a mi lado en las buenas y las malas, a mis lindas sobrinas Thais y Fernanda que han llenado de felicidad mi vida, gracias.*

*A mis tías Sofía Leon, Magdalena Toruno, Martha Romero y Elizabeth Romero por brindarme siempre su apoyo y ayuda en todo momento no importando la distancia ni el tiempo.*

*A mi novio Milton Espinoza Sandoval amigo inseparable, por siempre haberme apoyado en todo momento y por brindarme su ayuda incondicional.*

*A aquellas persona que han puesto su confianza y fe en mí.*

*A mis amig@s (Silvita, Sbietita, Estela, Yanina, Jonathan, Juan, Nelson, Boris, Chester y Ramiro) con quienes disfrute al máximo la vida universitaria.*

*Y de manera muy especial a la memoria de mi querido abuelo Norberto del Carmen Romero López cuyo recuerdo colma mi vida de esperanzas y de felicidad por los buenos recuerdos que llenan mi mente y mi corazón.*

*Justina del Rosario Moncada Romero*

## AGRADECIMIENTOS

*Al culminar esta tesis le agradecemos en primer lugar a nuestro Padre celestial, Dios, por habernos dado sabiduría y fortaleza para finalizarlo con éxito.*

*A nuestra querida y apreciada Tutora Prof. Indiana García Granados quien con sus consejos y regaños nos guió paso a paso para la culminación de este trabajo monográfico.*

*A todos los profesores que en algún momento de nuestra vida universitaria nos brindaron su apoyo y nos dieron la pauta para ser profesionales éticos y responsables.*

*Y de manera muy especial a Doña Marlene responsable del PIDT por su amabilidad y disponibilidad en el transcurso de toda nuestra carrera.*

*Al Ing. Julio Solís de la empresa INAA y la Lic. Norma Ortiz de la empresa ENACAL por brindarnos la información que solicitamos.*

*Estela Munguía y Justina Moncada*

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION Y OBJETIVOS**

#### **1.1 Introducción**

Hasta hace unos años la calidad de un agua destinada a ser consumida por seres humanos estaba libre de sabores, olores, no era muy dura y no contenía bacterias patógenas, confiándose en gran medida en que el poder autodepurador de los embalses o ríos, y la protección de las zonas de captación eran suficientes para lograr una aceptable calidad que se completaría con un tratamiento simple, pero hoy en día de cara al futuro, y como consecuencia de la contaminación creciente por seres humanos y la naturaleza misma, se debe de considerar otros parámetros que también inciden de forma perjudicial en la salud del consumidor entre los cuales están: pesticidas, detergentes, subproductos de la desinfección y otras sustancias orgánicas e inorgánicas así como protozoos, virus, y bacterias, entre otros.

Actualmente muchos países desarrollados presentan problemas de escasez de recursos hídricos por la industrialización que ha provocado que estos se encuentren sometidos a un proceso de degradación progresivo que arriesga la disponibilidad futura de agua para el uso de la población, sin embargo en Nicaragua el mayor problema es la calidad del agua, debido a la gran contaminación de las aguas superficiales en las últimas décadas por la intervención humana en actividades agrícolas, ganaderas, de deforestación, transporte, turismo, etc.; aunque la contaminación también ocurre por desastres naturales como huracanes e inundaciones.

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua a través del Índice de Calidad del Agua (ICA). Éste índice agrupa de manera simplificada algunos parámetros indicadores tales como: físicos, químicos, orgánicos y microbiológicos y es una manera de evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Para que el

índice sea práctico debe de reducir la cantidad de parámetros a una forma más simple. El diseño del ICA debe ser adecuado para que el valor arrojado pueda ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

El conocimiento de la calidad de las fuentes de agua es uno de los puntos de partida para determinar el tratamiento adecuado según sus características físicas, químicas y microbiológicas. La calidad del agua varía de acuerdo a la estación, ya sea en invierno o verano. En época lluviosa el caudal de los ríos incrementa, ocasionando una disminución de la calidad de agua debido al arrastre de materia particulada, pero al mismo tiempo reduce la concentración de otros compuestos por dilución. Las Plantas Potabilizadoras de Agua (PTAP) reducen en gran medida este problema, pues remueven la materia orgánica e inorgánica que transporta el agua.

El tratamiento convencional del agua consiste en cinco fases fundamentales las cuales son: Mezcla Rápida, Coagulación-Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección. En Nicaragua existen diez plantas potabilizadoras de agua de las cuales nueve se encuentran ubicadas en la región central y a su vez siete de estas son tipo convencional (Mendoza y Morazán, 2003). En la región del Pacífico hay una planta de tipo filtro lento de arena (FLA) la cual se encuentra ubicada en el municipio de San Rafael del Sur y la región atlántica es abastecida por medio de pozos.

En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua cruda, agua sedimentada y agua potable de cuatro de las diez plantas existentes en todo el país las cuales están localizadas en los departamentos de Boaco y Chontales y a su vez en los municipios de Camoapa, Boaco, Juigalpa y Santo Tomás. Estas plantas emplean Tratamiento Convencional como el descrito anteriormente. También se hizo un análisis del comportamiento anual de los diferentes parámetros en el periodo de estudio. Para ello se recopiló información de investigaciones anteriores realizadas durante época seca y lluviosa comprendida entre los años de 2003 al 2007. Además se analizó la calidad del

agua cruda mediante el cálculo del índice de calidad (ICA) para determinar el estado de las fuentes de agua cruda. También se evaluó la eficiencia de las unidades sedimentadoras y filtradoras a través de los porcentajes de remociones teóricos establecidos en la literatura. Así mismo se compararon los resultados de la evaluación del agua potable de las distintas Plantas Potabilizadoras con las normas de calidad (CAPRE) utilizadas en Nicaragua.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Establecer la calidad del agua en las diferentes etapas de tratamiento en cuatro Plantas Potabilizadoras de la región Boaco-Chontales para el período 2003-2007.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la calidad física, química y microbiológica del agua cruda, sedimentada, filtrada y potable de cuatro Plantas Potabilizadoras.
- Comprobar si las diferentes unidades de tratamiento están operando de acuerdo a los porcentajes de remoción establecidos en la literatura.
- Calcular los índices de calidad del agua cruda correspondiente a cada Planta Potabilizadora.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

El agua para consumo humano es aquella abastecida a la población mediante cañería intradomiciliar, pozos, nacientes o fuentes públicas (fácil acceso). Esta es utilizada para la ingesta humana, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios, ropa y otros menesteres domésticos. El agua potable además debe ser inocua para la salud de los usuarios, aparte de cumplir con los requisitos físico-químicos y microbiológicos que dictan las normas nacionales o las Guías de Calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1997).

En este capítulo se presenta un consolidado de los diferentes parámetros a través de los cuales se caracteriza el agua (Romero, 1999) así como los diferentes procesos de tratamiento convencional y el significado del Índice de Calidad (ICA).

#### **2.1 Características del Agua**

Las características físicas, químicas y microbiológicas son los parámetros que determinan la calidad del agua. La presencia de materia orgánica, sustancias químicas y microorganismos patógenos en el agua de consumo humano representan un alto riesgo para la salud de la población.

##### **2.1.1 Características Físicas**

Las características físicas del agua son las que tienen que ver en el aspecto de la misma: Color, Sabor, Olor, Temperatura, Turbiedad, Sólidos Totales Disueltos y Conductividad.

#### ❖ **Color**

Las aguas superficiales son por lo general coloreadas cuando han tenido contacto con desperdicios orgánicos en estado de descomposición, pero el mayor aporte de color es debido principalmente a los compuestos húmicos, férricos o pigmentos de algas.

El color causado por la materia suspendida se conoce como *color aparente*. Las partículas que lo causan son cargadas negativamente y su remoción se efectúa por medio de coagulación. El color verdadero es producido por sustancias de tipo coloidal.

La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es inseguro por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objeto esencial de tratamiento.

#### ❖ **Olor y Sabor**

El agua de consumo humano debe estar exenta de olor y sabor. Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Aunque son muchas las causas que lo ocasionan, se debe principalmente a la presencia de compuestos químicos como fenoles, hidrocarburos, cloro, materia orgánica en descomposición o sustancias liberadas por algas u hongos que pueden dar olores o sabores muy fuertes al agua, no obstante se encuentren en pequeñas concentraciones.

Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos al agua y en ocasiones ningún olor. La eliminación de los olores se realiza a través de procesos como la aireación, adición de carbón activado y otros tratamientos.

#### ❖ **Temperatura**

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. También ocasiona un aumento a la velocidad de reacción de metabolismo, acelerando la putrefacción.

La temperatura también afecta la eficiencia de unidades de tratamiento tales como la desinfección, mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración. A temperaturas bajas la viscosidad de agua aumenta y esto con lleva a una menor velocidad de sedimentación de sólidos debido a la resistencia que brinda la viscosidad al movimiento descendente de las partículas. La temperatura óptima del agua para beber está entre 20 y 25°C.

#### ❖ **Turbiedad**

La turbiedad es una expresión del efecto óptico causada por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua; en otras palabras la luz es reemitida y no transmitida a través de la suspensión.

La turbiedad del agua se debe a partículas que están en suspensión en forma coloidal. Las mediciones de turbidez se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causa que la luz se disperse o se absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La arcilla es quizás la causa más común de turbiedad en las aguas, está compuesta principalmente por sílice, aluminio y agua, frecuentemente con cantidades apreciables de hierro, álcalis y tierra alcalina.

La turbiedad no tiene efectos sobre la salud, pero afecta la calidad estética del agua y al presentarse puede ocasionar el rechazo de los consumidores. Un alto grado de turbiedad puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular el desarrollo de bacterias.

La determinación de turbiedad es de suma importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

#### ❖ **Sólidos Totales Disueltos**

Los sólidos en agua constituyen todos los contaminantes presentes a excepción de los gases, son clasificados de acuerdo a su estado, tamaño y características químicas.

La definición práctica de sólidos suspendidos es aquellas partículas mayores a 1  $\mu\text{m}$  debido a que la mayoría de los filtros estándares retienen las partículas debajo de ese tamaño

Los sólidos disueltos, que son medidos por filtración, incluyen la materia coloidal. En la mayoría de las aguas naturales casi todos los materiales que componen los STD son inorgánicos. Los componentes orgánicos presentes son complejos, principalmente material húmico de alto peso molecular en concentraciones de unos cuantos mg/l.

#### ❖ **Conductividad**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en el análisis de agua para obtener un estimado rápido del contenido de sólidos disueltos.

### **2.1.2 Características Químicas**

El agua contiene múltiples compuestos químicos que pueden ser de origen natural o industrial y ser benéficos o dañinos de acuerdo con su composición y concentración. Las principales características químicas utilizadas para la evaluación de la calidad del agua son la alcalinidad, hierro y manganeso, oxígeno disuelto, pH, dureza y compuestos nitrogenados.

#### **❖ Alcalinidad**

La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, reaccionar con iones hidrógeno, aceptar protones, o como la medida del contenido total de sustancias alcalinas. La alcalinidad total y las distintas formas de alcalinidad son importantes en el proceso de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

En agua naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de iones:

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos

Desde el punto de vista de la salud, el agua alcalina no es perjudicial, pero presenta sabor desagradable. El CO<sub>2</sub> influye en el proceso de coagulación, reacciona con las sales de hierro y aluminio (coagulantes hidrolizantes) para dar origen al proceso de floculación.

❖ **Hierro y Manganeseo**

El hierro como el manganeseo crea problemas en suministros de agua. Estos problemas son más comunes en aguas subterráneas; en algunos casos también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses.

La presencia de hierro en el agua no tiene efecto de salubridad, pero afecta el sabor. El hierro produce manchas indelebiles en los accesorios sanitarios y en la ropa blanca. Por lo general el hierro en las aguas superficiales se presenta en estado férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) y en este estado se puede precipitar como hidróxido férrico mediante la adición de cal.

El manganeseo está asociado con el hierro, son raras las aguas que los contienen en forma independiente. Se presenta por regla general en su estado reducido ( $\text{Mn}^{+2}$ ) y su exposición al aire lo lleva a óxidos muchos menos solubles.

❖ **Oxígeno Disuelto (OD)**

Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

El oxígeno disuelto es muy importante por ser un factor que determina la existencia de condiciones aerobias o anaerobias de un medio particular; también sirve como base para cuantificar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aerobicidad de los procesos de tratamiento, tasas de aireación en los procesos de tratamiento aerobio y grado de contaminación de ríos.

❖ **pH**

Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO<sub>2</sub> disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO<sub>2</sub> formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.

Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.

❖ **Dureza (Magnesio, Calcio)**

La dureza se debe a la presencia de cationes de calcio y magnesio, que se encuentran disueltos en el agua en forma de bicarbonatos, los que al calentarse forman carbonatos menos solubles que precipitan. Existen dos métodos para ablandar las aguas duras, los cuales son precipitación aplicando cal cruda y permutación iónica mediante un filtro de zeolita. La dureza del agua no tiene ningún efecto nocivo para la salud. Sus desventajas son que consumen más jabón para producir espuma y provocan incrustaciones en las tuberías. En términos de dureza las aguas pueden clasificarse de acuerdo a la Tabla 2.1 y la dureza se expresa en mg/L como CaCO<sub>3</sub>

Tabla 2.1 Clasificación de las Aguas según su Dureza.

Valor	Unidad	Clasificación
0 - 75	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Blanda
75 - 150	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Moderadamente Dura
150 - 300	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Dura
> 300	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Muy Dura

*Fuente: Romero, 1999.*

### ❖ **Compuestos Nitrogenados**

Los compuestos del nitrógeno son de gran importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales. La química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser efectuados por organismos vivos. Las formas de mayor interés en el caso del agua son:

- Nitrógeno Amoniacal
- Nitrógeno de Nitritos
- Nitrógeno de Nitratos
- Nitrógeno Orgánico

*Nitrógeno Amoniacal:* Se considera como nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno que existe como ion amonio en el equilibrio:



*Nitrógeno de Nitritos:* Raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, aun en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración es generalmente 0.1 mg/L, su presencia es generalmente indicativo de procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato.

*Nitrógeno de Nitratos:* Subproductos de los procesos metabólicos biológicos del nitrógeno de nitritos, los nitratos pueden ser determinados mediante la reacción con ácido fenoldisulfónico, también pueden ser determinados mediante electrodo de membrana o por cromatografía.

*Nitrógeno Orgánico:* Todo el nitrógeno presente en compuestos orgánicos puede considerarse como nitrógeno orgánico. El contenido de nitrógeno orgánico de un agua

incluye el nitrógeno de aminoácidos, aminas, polipéptidos, proteínas y otros compuestos orgánicos de nitrógeno. El Nitrógeno orgánico se utiliza en la determinación de Método Kjeldahl y usa sulfato de mercurico como catalizador y ácido sulfúrico como agente oxidante para convertir, mediante digestión, el nitrógeno orgánico en bisulfato de amonio (Romero, 1999a).

### 2.1.3 Características Microbiológicas

Los microorganismos constituyen la parte biológica de la contaminación del agua. Aunque la mayoría son inofensivos, los hay también “infecciosos”. De los muchos microorganismos infecciosos que se encuentran en el medio ambiente, en el agua se pueden hallar bacterias (como *Shigella*, *Escherichia coli*, *Vibrio* y *Salmonella*), virus (como el virus Norwalk y rotavirus) y protozoos (como *Entamoeba*, *Giardia* y *Cryptosporidium*). Las bacterias y los virus contaminan las aguas superficiales y subterráneas, mientras que los protozoos parasitarios contaminan el agua superficial. Según el tipo de microorganismo estos pueden causar grandes epidemias como las que se mencionan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Microorganismos y Enfermedades.

<b>Microorganismos</b>	<b>Algunas Enfermedades y Síntomas</b>
Bacterias	Gastroenteritis (incluye diarrea y dolores abdominales), salmonelosis (intoxicación por alimentos), cólera, otitis, conjuntivitis, enfermedades respiratorias, de la piel, etc.
Virus	Fiebre, resfríos, gastroenteritis, diarrea, infecciones respiratorias, hepatitis.
Protozoarios	Gastroenteritis, criptosporidiosis y giardiasis (incluye diarrea y calambres abdominales), disentería.
Lombrices	Perturbaciones digestivas, vómito, inquietud, tos, dolor en la caja torácica, fiebre y diarrea.

*Fuente: Romero, 1999.*

Los microorganismos infecciosos pueden estar presentes en los excrementos de personas y animales. Los pozos y demás fuentes de agua pueden resultar contaminados por las aguas pluviales procedentes de carreteras, granjas y explotaciones ganaderas, vertidos de plantas de tratamiento de aguas residuales o vertidos de sistemas sépticos.

#### 2.1.4 Características Orgánicas

Cualquier residuo vegetal o animal es materia orgánica, y su descomposición lo transforma en materiales importantes en la composición del suelo y en la producción de plantas. La materia orgánica bruta es descompuesta por microorganismos y transformada en materia adecuada para el crecimiento de las plantas principalmente esta compuesto por materiales de alto peso molecular muy complejos, caracterizados como sustancias húmicas: ácidos húmicos y fúlvicos y por materia no húmica principalmente proteínas y aminoácidos, azúcares y polisacáridos.

Debido a que la materia orgánica es difícil de caracterizar se hace uso de una serie de parámetros sustitutos que describen el comportamiento de ésta (USEPA, 1999). Una mejor representación de la composición de la materia orgánica natural (MON) se muestra en la Figura 2.1.

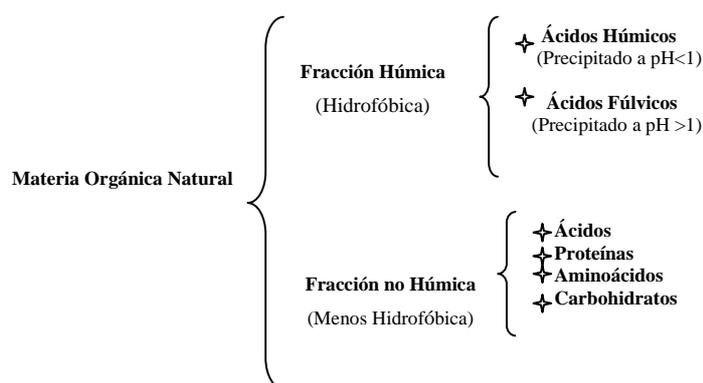


Figura 2.1 Composición de la Materia Orgánica Natural (MON).

### ❖ **Carbono Orgánico Total (COT)**

Este parámetro, como su nombre lo indica, es la medida del contenido total de carbono de los compuestos orgánicos presentes en las aguas. Se refiere tanto a compuestos orgánicos fijos como volátiles, naturales o sintéticos.

Cuando la alcalinidad asciende, el COT desciende (USEPA, 1999); en aguas de alta alcalinidad se ve una depresión de pH a un nivel en el que la eliminación de COT es óptima (pH de 5.5-6.5), lo que no es alcanzado con la simple adición de coagulante (USEPA, 1999). En la Figura 2.2 se presenta una distribución de carbono total disuelto en el agua.

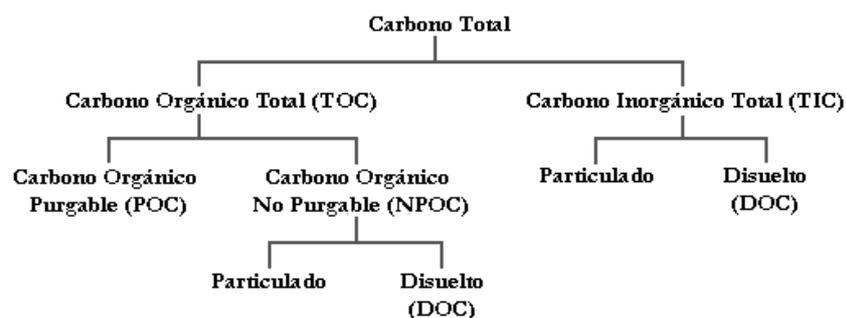


Figura 2.2 Distribución del Carbono Total.

### ❖ **Carbono Orgánico Disuelto (COD)**

COD es el término utilizado para describir los miles de compuestos disueltos en el agua que se derivan de la materia orgánica. En las aguas naturales, cerca del 50% del Carbón Orgánico Disuelto (COD) está compuesto por sustancias húmicas (Álvarez y Marín, 2006).

Tabla 2.3 Relación DOC/TOC respecto al tipo de Materia Orgánica.

<b>Proporción de COD/COT</b>	<b>Materia Orgánica</b>	<b>Procesos Propuestos</b>
Menor a 0.5 mg/L	En forma particulada	❖ Sedimentación ❖ Filtración
Mayor a 0.5 mg/L	En forma soluble	❖ Coagulación ❖ Adsorción de Carbón Activado ❖ Filtración por Membrana

*Fuente: Edzwald y Tobiason, 1999.*

Se presenta en la Tabla 2.3 la relación COD/COT respecto a la materia orgánica en el agua cruda. Si la proporción de COD/COT es relativamente baja  $< 0.5$  entonces la mayor cantidad de material orgánico está en forma de partículas y los procesos físicos como sedimentación y filtración remuevan un fragmento significativo de la materia orgánica natural. Por otro lado, las proporciones de COD/COT relativamente altas  $> 0.5$  indican que la materia orgánica está en forma soluble. Por consiguiente, otro proceso como coagulación, adsorción con carbón activo granular (CAG), y filtración de membrana son requeridos para lograr una remoción significativa (Altamirano y Núñez, 2004).

❖ **Absorbancia de Luz Ultravioleta a 254 nm ( $UV_{254}$ )**

La absorbancia  $UV_{254}$  indica la concentración de moléculas orgánicas con agrupaciones aromáticas o la unión extendida. Deben medirse muestras de UV en el agua antes de la adición de un oxidante o desinfectante. Esto es necesario porque los oxidantes reaccionan con compuestos orgánicos y se pegan los dobles enlaces que absorben UV. El análisis de las muestras no debe exceder 48 horas, después del muestreo. No pueden ajustarse los pH de muestra de UV.

❖ **Absorbancia Ultravioleta Específica (SUVA)**

El SUVA es un indicador del contenido húmico del agua. Es un parámetro calculado igual a la absorción ultravioleta (UV) a una longitud de onda de 254 nm dividida por el carbono orgánico disuelto (COD) contenido en el agua (mg/L). El principio detrás de este método es que los constituyentes de la absorción UV absorberán luz UV en proporción de su concentración. La ecuación es:

$$SUVA\left(\frac{l}{mg \cdot m}\right) = 100\left(\frac{cm}{m}\right) \left[ \frac{UV_{254}\left(\frac{cm^{-1}}{l}\right)}{COD\left(\frac{mg}{l}\right)} \right] \quad (2.2)$$

La Tabla 2.4 indica los valores de SUVA, la relación con respecto a su composición, proceso de coagulación y remoción de COD. Los valores de SUVA menores que 2 L/mg-m significan que el agua contiene principalmente material no húmico. Los valores de SUVA de 2 a 4 L/mg-m son típicos de agua que contiene principalmente material húmico. Las aguas con valores de SUVA bajos contienen principalmente material no húmico.

Dos métodos analíticos separados son necesarios para hacer esta medición:  $UV_{254}$  y COD. Las aguas con altos valores de SUVA exhiben reducciones grandes en SUVA y COT como resultado de la coagulación reforzada, indicando una remoción sustancial de la MON total.

Tabla 2.4 SUVA, Composición, Coagulación y Remoción de COD.

<b>SUVA</b>	<b>Composición</b>	<b>Coagulación</b>	<b>Remoción COD</b>
< 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mayormente no húmico</li> <li>❖ Poco hidrofóbico</li> <li>❖ Bajo peso molecular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ La MON tiene poca influencia</li> <li>❖ Poca remoción de COD</li> </ul>	< 25% para aluminio y un poco mayor con férrico
2-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mezcla de material húmico acuático y otro tipo MON</li> <li>❖ Mezcla de MON hidrofílica e hidrofóbica</li> <li>❖ Diversidad de pesos moleculares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Influencia de MON</li> <li>❖ Remoción de COD entre regular y buena</li> </ul>	25-50 % para aluminio y un poco mayor para férrico
> 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mayormente material húmico acuático</li> <li>❖ Alta hidrofobicidad</li> <li>❖ Alto peso molecular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Control de MON</li> <li>❖ Buena remoción de COD</li> </ul>	50% para el aluminio y un poco mayor con férrico

*Fuente: Edzwald y Tobiason, 1999.*

## 2.2 Calidad del Agua

La calidad del agua potable es un tema que preocupa a los países en todo el mundo, por su repercusión en la salud de la población. Esta se cuantifica por el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas, que internacionalmente se han definido se acuerdo a su origen e importancia sanitaria. La Normativa Regional de Agua de Consumo Humano para America Central y el Caribe (CAPRE, 2000) son las que se utilizan en Nicaragua. En las Tablas 2.5, 2.6 y 2.7 se presentan dichas normas.

Tabla 2.5 Parámetros Organolépticos.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Recomendado</b>	<b>Valor Máximo Admisible</b>
Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	NTU	1	5
Olor	Factor dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C
Sabor	Factor dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C

Tabla 2.6 Parámetros Físico-Químicos.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Recomendado</b>	<b>Valor Máximo Admisible</b>
Temperatura	°C	18 a 30	-
Concentración Iones Hidrógeno	Valor pH	6.5 a 8.5 (a)	-
Cloro Residual	mg/L	0.5 a 1.0 (b)	(c)
Cloruros	mg/L	25	250
Conductividad	μS/cm	400	-
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	400	-
Sulfatos	mg/L	25	250
Aluminio	mg/L	-	0.2
Calcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	100	-
Cobre	mg/L	1	2.0
Magnesio	mg/L MgCO <sub>3</sub>	30	50
Sodio	mg/L	25	200
Potasio	mg/L	-	10
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	1000
Zinc	mg/L	-	3.0

a) Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustaciones en las tuberías.

b) Cloro residual libre.

c) 5 mg/L en casos especiales para proteger a la población de brotes epidémicos.

Tabla 2.7 Parámetros para Sustancias no Deseadas.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Recomendado</b>	<b>Valor Máximo Admisible</b>
Nitrato	mg/L	25	45
Nitritos	mg/L	0.1	1
Amonio	mg/L	0.05	0.5
Hierro	mg/L	-	0.3
Magnesio	mg/L	0.1	0.5
Fluoruro	mg/L	-	0.7-1.5
Sulfuro Hidrógeno	mg/L	-	0.05

## **2.3 Descripción General del Tratamiento Convencional en una PTAP**

Los medios de tratamiento donde se aplican predominantemente fuerzas físicas, se llaman operaciones unitarias. Los medios de tratamiento en el cual la eliminación de los contaminantes se consigue mediante la adición de productos químicos o por actividad biológica se conocen como procesos unitarios.

En este acápite se presenta un consolidado de las diferentes etapas del proceso de potabilización del agua (Romero, 1985). Las etapas que comprenden el tratamiento convencional son las siguientes: aireación, mezclado, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

### **❖ Aireación**

La aireación es el proceso de introducir aire al agua, el cual tiene como propósito modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. La aireación tiene funciones importantes las cuales se citan a continuación:

- Transferencia de oxígeno al agua para aumentar el contenido de oxígeno disuelto.
- Disminución de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.
- Remoción de gases como: metano, cloro, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles y sustancias volátiles productoras de olores y sabores.
- Oxidación de Hierro y Manganeso.

La introducción de oxígeno constituye la primera etapa del proceso de eliminación de hierro y manganeso por filtración. La eliminación del dióxido de carbono mediante la aeración es un método para hacer que la acción corrosiva de las aguas de un abastecimiento sea mínima. También la aeración es buena para eliminar olores y sabores,

no pudiendo considerarse como sustituto del control preventivo o de procesos de tratamiento adecuados.

Como las temperaturas altas aumentan la volatilidad de los compuestos y disminuyen su valor de saturación, la aireación, para la remoción de sustancias volátiles, es más eficiente en aguas cálidas que frías. A la vez, la remoción, por aireación, de gases como  $H_2S$ ,  $CO_2$  y  $NH_3$  es función del pH del agua.

#### ❖ **Mezcla Rápida**

La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. Este proceso consiste en distribuir el coagulante en forma rápida e instantánea en toda la masa de agua. La mezcla debe ser instantánea porque las reacciones de coagulación apenas demoran entre 0.1 y 7 segundos (Gutiérrez y Medrano, 2003), dependiendo de la turbiedad del agua.

En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente un propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua. La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos.

Esta operación puede hacerse mecánica o hidráulicamente en tanques especiales, en secciones de otros tanques, o en sistemas de tubería. Se basa en el principio fundamental de agitar violentamente el agua que se va a tratar, con el producto químico que se aplique, durante un corto tiempo, pudiéndose llevar a cabo con agitadores de hélice accionados por motor, o mediante canales con deflectores, creándose condiciones turbulentas por cualquiera de estos dos métodos. Contra lo que comúnmente se cree, las bombas centrífugas por si mismas no llevan a cabo un buen mezclado, ya que la eficiencia de su funcionamiento depende de que sea mínima la turbulencia del agua que pase por ellas. No obstante, las válvulas, codos y otros dispositivos que ordinariamente se

usan en conjunto para las operaciones de bombeo, pueden causar una turbulencia adecuada para mezclar satisfactoriamente.

### ❖ **Coagulación**

La coagulación química puede definirse como un proceso unitario usado para causar la coalescencia o agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua; el cual consiste en la adición de sustancias químicas al agua, sus distribución uniforme en ella y la formación de un floculo fácilmente sedimentable. En este proceso se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores de buena sedimentación, como el mostrado en la Figura 2.3.

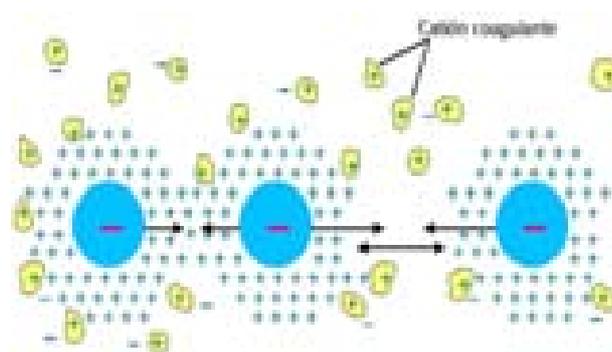


Figura 2.3 Modelo esquemático del Proceso de Coagulación.

Fuente: <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/coagulacion-floculacion.htm>

Las principales sustancias con propiedades coagulantes utilizadas en el tratamiento de aguas son: las sales de hierro, como sulfato ferroso y férrico y clorosulfato férrico; y las sales de aluminio como sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el aluminato de sodio.

#### *Sulfato de Aluminio (Alumbre)*

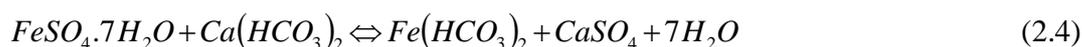
El sulfato de aluminio es el coagulante estándar usado en tratamiento de aguas. Cuando se añade sulfato de aluminio al agua, este reacciona con la alcalinidad natural del

agua para formar flóculos de hidróxido de aluminio. La reacción que se produce es la siguiente:



#### *Sulfato Ferroso*

El sulfato ferroso reacciona con la alcalinidad del agua para formar bicarbonato ferroso,  $Fe(HCO_3)_2$ , el cual es bastante soluble. Para que sea útil como coagulante debe existir la oxidación del ion ferroso en ion ferrico insoluble. La reacción que se produce es la siguiente:



Los dos tipos de coagulantes tienen ventajas y desventajas como lo indica la Tabla 2.8 por ejemplo las sales de hierro tienen su ventaja sobre las sales de aluminio porque forman un flóculo más pesado y con mayor velocidad de asentamiento y porque pueden trabajar con pH mucho más amplio. Las sales de aluminio forman un flóculo ligeramente pesado. El sulfato de aluminio (Alumbre) es el más utilizado en las plantas de tratamiento de agua por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo.

El rango óptimo de pH para la aplicación de alumbre se encuentra entre 5 y 6 (Álvarez y Marín, 2006). En cambio para las sales férricas el pH debe ser mayor de 7.4 (Álvarez y Marín, 2006). El coagulante debe ser aplicado donde se da la mayor turbulencia.

Tabla 2.8 Ventajas y Desventajas del Sulfato de Aluminio y el Cloruro de Hierro.

<b>Coagulante</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Sulfato de Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Es comercialmente barato</li> <li>❖ Es de muy fácil manejo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Tiempo de flocculación muy lento</li> </ul>
Cloruro de Hierro	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ En aguas subterráneas produce buenos resultados</li> <li>❖ Forman floculos mas pesados y con mayor velocidad de asentamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Caro</li> <li>❖ Difícil de manejar</li> </ul>

*Fuente: Álvarez y Marín, 2006.*

### ❖ **Floculación**

La floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; consiste en la reunión de los coágulos formados, venciendo las fuerzas de repulsión y consiguiendo la precipitación de los hidróxidos. Durante éste proceso, la agitación deberá ser lo suficientemente lenta para no deshacer los flóculos formados, dando entonces nuevamente lugar a una suspensión coloidal. La Figura 2.4 se muestra un modelo esquemático del proceso de floculación.



Figura 2.4 Modelo Esquemático del proceso de Floculación.

*Fuente: <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/coagulacion-floculacion.htm>*

La floculación se ve influenciada por fuerzas físico-químicas tales como: la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la contracción del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos. El grado

óptimo de agitación cualquiera que sea, depende de la temperatura y características del agua, del tipo de coagulante usado y otras condiciones.

#### ❖ **Sedimentación**

La sedimentación es una operación por la cual se remueven partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad.

La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal.

Los factores más importantes que afectan la eficiencia de remoción de una unidad de sedimentación son las características del proceso y las condiciones de flujo hidráulico. Los cuales a su vez dependen de:

- Las características físico-químicas de las aguas, especialmente turbiedad, color y temperatura.
- Las características del pretratamiento: coagulación y floculación.
- Configuración y diseño de las unidades, zonas de entrada, sedimentación depósito de lodos y salida del agua.
- Las características de las obras de interconexión.
- Operación y mantenimiento.

#### ❖ **Filtración**

La filtración es el proceso mediante el cual los flóculos remanentes de los decantadores son retenidos en medios filtrantes formados principalmente por arena. En la práctica se tiene como objetivo remover turbiedad e impedir la interferencia de la

turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción desinfectante.

En plantas de procesamiento de agua se distinguen dos tipos de filtros: filtros rápidos y filtros lentos. En las PTAP de Nicaragua se utilizan principalmente los filtros rápidos.

*Filtros Rápidos:* Presentan la característica de que el agua fluye a través de un lecho de arena gruesa o mediana a altas velocidades. Debido a las altas velocidades de filtración y el uso de arena mediana o gruesa, las impurezas del agua penetran a grandes profundidades del lecho, taponando rápidamente el mismo, por lo que se requiere limpiarlo con bastante frecuencia. El lavado se realiza invirtiendo la dirección del flujo de agua, expandiendo y revolviendo los granos de arena, arrastrando las impurezas acumuladas.

*Filtros Lentos:* Se denomina también filtro de gravedad y se utiliza generalmente con suspensiones con sólidos gruesos y en tratamiento o clarificaciones del agua. El medio filtrante debe de tener las siguientes características:

- Ser químicamente resistente
- Tener consistencia física
- Permitir la descarga limpia de la torta formada
- Producir un filtro o un efluente claro

#### ❖ **Desinfección**

En general, la desinfección es la operación final que se realiza en una planta de tratamiento de agua y por consiguiente es la principal responsable de la producción de agua de calidad. El termino desinfección se aplica a procesos en los cuales los microorganismos patógenos pero no sus esporas, son destruidos; Tiene como propósito

primario disminuir la diseminación de enfermedades hídricas. En el tratamiento del agua; el cloro y los compuestos de cloro, hipocloritos de calcio y sodio, son los desinfectantes más populares.

Este proceso se puede llevar a cabo por diversos medios físicos o químicos como la ebullición, rayos ultravioletas, el ozono o procesos químicos. En Nicaragua el proceso más usado en las PTAP por razones económicas es la desinfección química, donde el más usado es el cloro en forma gaseosa.

En los Estados Unidos y América Latina por lo general, el sabor a cloro equivale la garantía de la agua de calidad, dicho valor es de 1 mg/L. La OMS (1997) considera que una concentración de 0.5 mg/L de cloro residual libre en el agua después de un tiempo de contacto de 30 minutos garantiza una desinfección satisfactoria.

## **2.4 Índice de Calidad del Agua**

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar su grado de contaminación, conduce a tener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación.

El método para calcular el índice de calidad del agua (ICA) que se utiliza en la presente investigación es el de Dinius (1987). La técnica es multiplicativa, y consiste en la asignación ponderada de pesos específicos por parámetro (15 parámetros) los cuales pueden agruparse en tres grupos: físicos (temperatura, turbiedad, color, conductividad, sólidos suspendidos), químicos (pH, alcalinidad, dureza, nitrato, sulfato, aluminio, hierro amonio), y orgánicos (carbono orgánico total y carbono orgánico disuelto). Los valores del ICA van desde 0 a 100, este rango califica la calidad del agua desde muy contaminada hasta excelente.

## CAPITULO III METODOLOGIA

### 3.1 Recolección de Datos

Para la presente investigación se tomó en consideración las investigaciones realizadas en la Facultad de Ingeniería Química durante el periodo 2003-2006 en las PTAP de Boaco (Gutiérrez y Medrano, 2003; Rodríguez y López, 2004; Castro y Gutiérrez, 2004; Álvarez y Marin, 2006), Camoapa (Altamirano y Núñez, 2004), Juigalpa (Mendoza y Morazán, 2003) y Santo Tomás (Matus, 2003). Además, La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) y el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (INAA) proporcionaron los datos para los años 2006 y 2007 y datos complementarios en las PTAP que no se hubiesen evaluado anualmente.

### 3.2 Análisis de los Datos

Los datos se analizaron siguiendo el proceso del Tratamiento Convencional que es el que se utiliza para procesar el Agua Cruda y convertirla en Agua Potable en las cuatro Plantas Potabilizadoras. Por lo que se evaluaron las siguientes etapas de tratamiento: Agua Cruda, Sedimentación, Filtración - Desinfección.



Figura 3.1 Flujograma del Proceso de Potabilización.

Para calcular el porcentaje de remoción de los diferentes parámetros a medir en las diferentes etapas, se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (3.1)$$

Donde:

$C_{\text{inicial}}$  es la Concentración Inicial del analito

$C_{\text{final}}$  es la Concentración Final de analito después de pasar por la etapa

Los porcentajes de remoción encontrados se compararon con los porcentajes teóricos establecidos en la literatura.

Todos los datos se evaluaron estadísticamente usando los estadísticos: media y desviación estándar (S).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (3.3)$$

Donde:

$X_i$  son los valores puntuales

$\bar{X}$  es el valor medio

n es el número de datos medidos

### 3.3 Parámetros a Evaluar

En la Tabla 3.1 se muestran los parámetros de calidad que fueron evaluados en las diferentes etapas del proceso de potabilización.

Tabla 3.1 Parámetros de Calidad Evaluados

<b>Agua Cruda</b>	<b>Agua Sedimentada</b>	<b>Agua Filtrada Rápida</b>	<b>Desinfección</b>
<b>Físicos</b>			
Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
pH	pH	pH	pH
Turbiedad	Turbiedad	Turbiedad	Turbiedad
Conductividad	Conductividad	Conductividad	Conductividad
Color	Color	Color	Color
Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos	Sólidos Totales Disueltos
<b>Químicos</b>			
pH	pH	pH	pH
Alcalinidad	Alcalinidad	Alcalinidad	Alcalinidad
Dureza	Dureza	Dureza	Dureza
Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Sulfatos	Sulfatos	Sulfatos	Sulfatos
Hierro	Hierro	Hierro	Hierro
Manganeso	Manganeso	Manganeso	Manganeso
Nitratos	Nitratos	Nitratos	Nitratos
Amonio	Amonio	Amonio	Amonio
<b>Orgánicos/Microbiológicos</b>			
UV <sub>254</sub>	UV <sub>254</sub>	UV <sub>254</sub>	UV <sub>254</sub>
TOC	TOC	TOC	TOC
DOC	DOC	DOC	DOC
SUVA	SUVA	SUVA	SUVA
Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	Coliformes Fecales
-	-	-	Cloro Libre
-	-	-	THMs

### 3.3 Criterios de Remoción

Los parámetros que se evaluaron para determinar si los criterios de remoción de las diferentes unidades se estuvieron cumpliendo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.2 Criterios de Remoción.

<b>Proceso</b>	<b>Porcentaje de Remoción</b>
Mezcla Rápida Coagulación Floculación Sedimentación	Turbiedad 90-95 % Color 80 % Aluminio 95 % Hierro 50-60 % Manganeso 50 % Coliformes Fecales 50 %
Filtración	Turbiedad 80 % Color 75 % Aluminio 95 % Hierro 80 % Amonio > 50 % Manganeso > 80 % Coliformes Fecales 70 %
Desinfección	Coliformes Fecales 100 %

### 3.5 Índice de Calidad (ICA)

La evaluación numérica del ICA, se obtiene a partir de una media geométrica (Ecuación 3.4).

$$ICA = \prod_{i=1}^n [Q_i^{w_i}] \quad (3.4)$$

Donde  $W_i$  son los pesos específicos asignados a cada parámetro ( $i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria de todos los pesos sea igual a uno.  $Q_i$  es la calidad (el valor) del parámetro ( $i$ ), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100,  $\Pi$  representa la operación multiplicativa de las variables  $Q$  elevadas a la  $W$ .

En la Figura 3.2 se muestran los rangos de calificación del ICA en función del uso del agua.

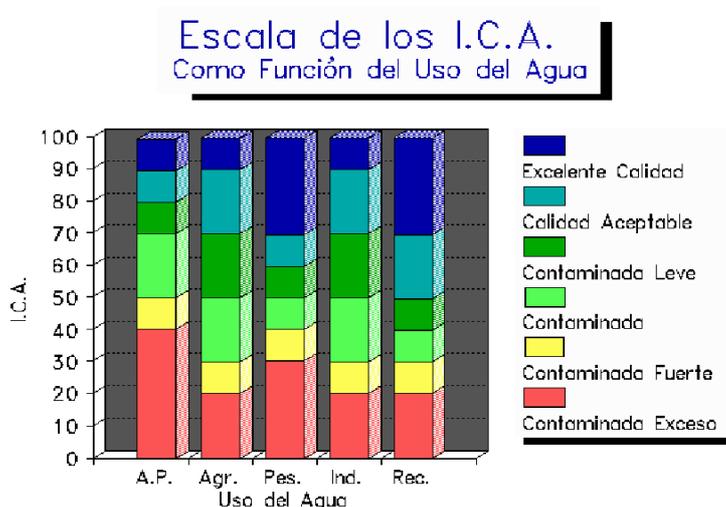


Figura 3.2 Rangos de Clasificación del ICA en función del Uso de Agua.

*Fuente: León, (1991).*

Según este rango de clasificación se presentan los criterios generales en particular cuando el agua se destina a consumo humano, indicándose las medidas o límites aconsejables. Asociados al valor del ICA se definen los siguientes seis rangos de la calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente Contaminada; (EC) Excesivamente Contaminada. En la Tabla 3.3 se muestran los criterios según el ICA.

Tabla 3.3 Criterios Generales según el Índice de Calidad.

<b>ICA</b>	<b>Simbología</b>	<b>Criterios</b>
90-100	E	No requiere purificación para consumo
80-90	A	Purificación menor requerida.
70-80	LC	Dudoso para consumo sin purificación
50-70	C	Tratamiento potabilizador necesario
40-50	FC	Dudoso para consumo
0-40	EC	Inaceptable para consumo

*Fuente: Adaptado de Dinius (1987).*

## CAPITULO IV

### DESCRIPCIONES DE LAS CUATRO PLANTAS POTABILIZADORAS

En este capítulo se presenta un consolidado del proceso de producción de agua de las cuatro Plantas Potabilizadoras localizadas en los departamentos de Boaco y Chontales.

#### 4.1 Planta Potabilizadora de Boaco

##### 4.1.1 Generalidades

Boaco está situado en la región central de Nicaragua (Figura 4.1) y cuenta con una población de aproximadamente 150,636 habitantes (INEC, 2005), de los cuales en el municipio de Boaco se concentran aproximadamente 49,839 habitantes.

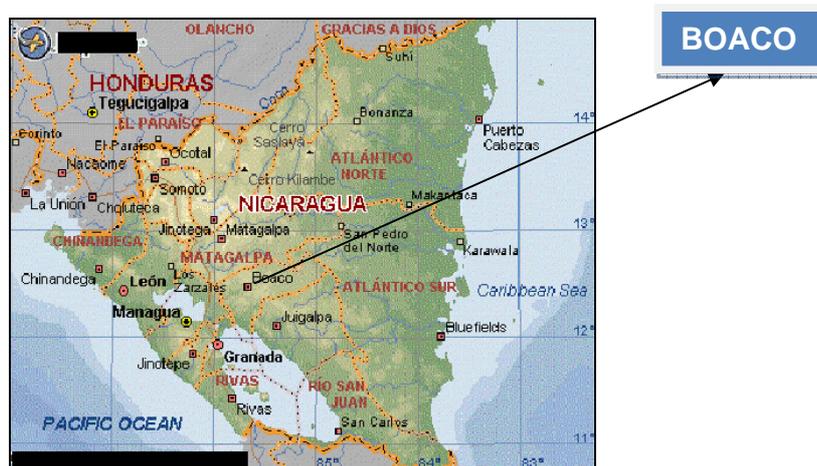


Figura 4.1 Ubicación de la ciudad de Boaco.

El sistema de abastecimiento de agua proviene del Río Fonseca (Figura 4.2) localizado en Boaco. Esta Planta Potabilizadora se construyó originalmente en 1922, mejorando los procesos en los años 1961 y 1969 (Gutiérrez y Medrano, 2003).



Figura 4.2 Río Fonseca.

#### **4.1.2 Disposición general de la Planta**

El sitio seleccionado para la planta (Figura 4.3) tiene una pendiente fuerte de norte a sur, la planta ha sido diseñada de manera tal que se use al máximo esta característica, teniendo la entrada de agua cruda en la parte más elevada de sitio y situando el tanque de agua filtrada en la parte más baja. El tanque de lavado consiste en una torre-tanque sobre la tierra localizado en la esquina noreste del sitio de la planta.



Figura 4.3 PTAP de Boaco.

### **4.1.3 Entrada del Agua Cruda a la Planta**

El caudal de agua cruda a la entrada de la Planta (Figura 4.4) es controlado por una válvula de cuchilla de 6 plg de diámetro colocada al final de la descarga de la tubería de agua cruda. La válvula de cuchilla de descarga transporta el agua a un canal de entrada de 3 m de longitud; 2 m agua abajo de la válvula está un vertedero en “V”, que permite hacer medidas ocasionales del canal de agua cruda y contribuye a crear la turbulencia necesaria para mezclar el coagulante.



Figura 4.4 Entrada del Agua Cruda.

### **4.1.4 Bombeo de Agua Cruda**

La estación de bombeo de agua ha sido diseñada para acomodar 3 unidades de bombeo en la última etapa de la planta. Para la primera; 2 bombas están en operación, cada una capaz de entregar el gasto total de la Planta de 541 gpm contra una carga total dinámica de 18.3 m; las bombas son accionadas por motores eléctricos de 15 hp. El control de bombeo es manual a cargo de un operador durante las horas de bombeo.

### **4.1.5 Adición de Coagulante y Floculación**

El coagulante es adicionado (Figura 4.5) de forma diluida justamente aguas abajo del vertedero en “V” en la cámara de entrada. Se provee un área de mezclado de 1.20 m

por 0.90 m (Figura 4.6). De ahí el agua cruda es canalizada a través de 3 floculadores (Figura 4.7) que operan en serie. Cada tanque de floculante es de 2.8 x 2.3 x 2.3 m, tienen un mezclador vertical de turbina accionado por un motor eléctrico con un reductor de velocidad de 1 hp.

Los floculadores son de una sola velocidad de 20 rpm; sus impulsores son capaces de administrar entre 0.2 y 0.3 hp. Hay un canal de desvío a lo largo del lado este de la fila de floculadores permitiendo el desvío total de lodos de los 3 floculadores, o desviar individualmente el 1<sup>er</sup> y 3<sup>er</sup> floculador. También hay válvulas de lodos para limpiar los tanques cuando sea necesario.



Figura 4.5 Dosificador de Coagulante.



Figura 4.6 Mezcla Rápida.



Figura 4.7 Floculador.

#### **4.1.6 Sedimentación**

Del tercer tanque de floculación un canal distribuye el caudal a los tanques de sedimentación (Figura 4.8) los cuales trabajan en paralelo. La entrada a cada tanque es cerrada por medio de compuertas en el canal de distribución. Una pantalla perforada, distribuye uniformemente el caudal a cada tanque. Estos tienen dimensiones de 10 m de largo y 3 m de ancho. La carga en el tanque de sedimentación es de  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  ( $\text{gln}/\text{pie}^2/\text{d}$ ) cuando todos los cuatro tanques están operando.

En el extremo aguas abajo de los tanques de sedimentación un canal colecta el caudal de los cuatro tanques y los distribuye entre los filtros. Cada tanque tiene una válvula de lodo en la parte baja para el lavado periódico del sedimento.



Figura 4.8 Sedimentadores.

#### **4.1.7 Filtros Rápidos**

El efluente proviene de los tanques de sedimentación es distribuido uniformemente entre los filtros que están operando mediante el vertedero de control localizado a la entrada de cada filtro, esto hace que la carga de agua sobre el medio filtrante varié a través de cada proceso de filtrado para evitar que se exponga el medio filtrante a posibles atrapes de aire al comienzo de cada proceso de filtrado. La descarga del agua filtrada es alta para asegurarse que la carga mínima sobre los elementos del filtro sea de 25 cm.



Figura 4.9 Filtros Rápidos.

Hay 3 filtros (Figura 4.9) en la 1<sup>ra</sup> etapa cada uno con área de filtrado de 8.40 m<sup>2</sup> (90 pie<sup>2</sup>), la dirección del filtrado es descendente. El medio filtrante consiste en lo siguiente:

- Carbón mineral (30 cm)
- Arena (45 cm)
- Grava (20 cm)

#### **4.1.8 Tanque de Agua Filtrada y Aplicación de Cloro**

El tanque de agua filtrada tiene un volumen útil de 100 m<sup>3</sup>, la solución de cloro (Figura 4.10 y 4.11) es aplicada al efluente de los filtros antes de entrar al tanque de agua filtrada. Durante la 1<sup>ra</sup> etapa de la Planta el tiempo de detención el cloro en el tanque de agua filtrada es de 25 minutos cuando la máxima capacidad de la Planta es alcanzada.



Figura 4.10 Tanque de Almacenamiento de Cloro.



Figura 4.11 Dosificador de Cloro.

#### **4.1.9 Bombeo de Agua Filtrada**

Las bombas de agua filtrada están localizadas en un edificio de piso contiguo a la parte sur del tanque de agua filtrada. El agua bombeada va directamente al sistema de distribución de la ciudad y a los tanques de almacenamiento. La tubería de descarga tiene una desviación para suministrar el agua de servicio de la planta y mantener limpio el tanque de lavado.

#### **4.1.10 Manejo y Almacenamiento de Productos Químicos**

Existe un edificio en la parte sur de la galería de filtros para albergar los equipos que mezclan los productos químicos y para el almacenamiento de los mismos.

Dentro de este edificio y a un lado se alberga el equipo de cloración. El sistema de cloración mantiene una aplicación continua de cloro en el agua descargada dentro del tanque de agua filtrada de la Planta de tratamiento. El cloro líquido es tomado de un cilindro y la velocidad de cloración es controlada por cloradores de tipo vacío. El agua para la operación del clorador es suministrada por las bombas de agua filtrada y el control de agua es manual, un ventilador de escape está instalado para ventilar el cuarto de cloro.

El sistema de alimentación de coagulante suministra a la cámara de mezclado rápido de la planta de tratamiento hasta 1100 g/d de una solución al 5% de sulfato de aluminio. El sistema es de 2 tanques de solución con sus mezcladores y 2 bombas de solución. El sulfato de aluminio seco es alimentado manualmente dentro de los tanques de solución.

## **4.2 Planta Potabilizadora de Camoapa**

### **4.2.1 Municipio de Camoapa**

El municipio de Camoapa con 1,483.29Km<sup>2</sup> de superficie se encuentra ubicado en el departamento de Boaco (Figura 4.12), en la parte Sur Central del Territorio Nacional a 114 Km de Managua. Consta con una población de 34,962 habitantes (INEC, 2005).



Figura 4.12 Ubicación Geográfica de Camoapa.

Sus límites son: al norte con Boaco, Matiguás y Paiwas; al sur con Juigalpa, Comalapa y La Libertad; al oriente El Rama y La libertad; y al occidente se encuentra Boaco y San Lorenzo.

### **4.2.2 Sistema de abastecimiento de la Planta Potabilizadora de Camoapa**

#### **❖ Captación del Agua**

En esta región del país, los acuíferos subterráneos son muy pobres debido a la diferencia de altura con respecto al mar y a la formación rocosa del subsuelo. A esto se suman los altos costos de energía eléctrica para extraer el agua. Por lo que se capta el agua superficial del río Mombachito ubicado a 9 Km al norte de la ciudad.

#### ❖ Estructura de la Obra de Captación

La estructura de la obra de captación está conformada por paredes de concreto reforzado capaz de soportar cualquier crecida del río en época de invierno, internamente sus paredes son afinadas para disminuir el crecimiento de algas y dificultar la adherencia de nidos de insectos. El fondo es impermeable con una pendiente hacia la compuerta de limpieza para facilitar su aseo sin tener que utilizar instrumentos de limpieza especiales.

La misma estructura es ocupada para los componentes que forman parte de la captación, estos se mencionan a continuación:

- Rejilla de entrada
- Tubería de salida
- Válvula de limpieza

#### 4.2.3 Planta Potabilizadora

En la Figura 4.13 se presenta una vista de la Planta Potabilizadora de Camoapa.



Figura 4.13 Planta Potabilizadora de Camoapa.

Los siguientes elementos forman parte de la Planta Potabilizadora de Camoapa:

- Cámara de entrada (Figura 4.14).
- Coagulación hidráulica, mediante mezcla rápida proporcionada por la caída del agua cruda en el vertedero de ingreso.
- Floculador hidráulico de flujo vertical a tres gradientes de velocidad decreciente (Figura 4.15).
- Decantadores de alta tasa a flujo laminar (Figura 4.16).
- Filtro de tasa declinante y retrolavado automático.



Figura 4.14 Cámara de Entrada.



Figura 4.15 Floculador Hidráulico de Flujo Vertical.



Figura 4.16 Decantadores de alta tasa a Flujo Laminar.

#### ❖ **Tanque de Almacenamiento**

El volumen del tanque construido para almacenamiento (Figura 4.17) del agua potable en la ciudad de Camoapa es de 3000 galones, este volumen es el 40% del volumen diario de la primera fase de la planta y debe satisfacer las necesidades de la población incluyendo en horas de máximo consumo, aunque la función principal del tanque es compensar las fluctuaciones diarias y horarias de máximo consumo y abastecer a la población durante las labores de mantenimiento en las fuentes de abastecimiento como en la Planta de Tratamiento y en la línea de conducción.



Figura 4.17 Tanque de Almacenamiento y Filtro.

#### **4.2.4 Dosificación de Productos Químicos**

A continuación se presenta los equipos para la dosificación de productos químicos (Figuras 4.18 y 4.19) utilizados en la Planta de Tratamiento de Camoapa.



Figura 4.18 Dosificador de Cloro.



Figura 4.19 Dosificador de Sulfato de Aluminio.

### **4.3 Planta Potabilizadora Santo Tomas, Chontales**

El municipio de Santo Tomas tiene una extensión territorial de 450 Km<sup>2</sup> y está ubicada en la zona central del país a 12° 04' de latitud norte y 85° 05' de longitud oeste. Se encuentra ubicado a 181 Km al sur-este de la capital del país, y a 40 Km de la ciudad de Juigalpa, Cabecera Departamental de Chontales. Existe comunicación por carretera pavimentada. La ciudad tiene alrededor de 2,100 viviendas y se estima unos 16,404 habitantes (INEC, 2005), con un índice poblacional bien alto, de 9 habitantes por vivienda con una concentración de 30.0 habitantes por Km<sup>2</sup>.

#### **4.3.1 Descripción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Santo Tomás Chontales**

La PTAP está ubicada en una colina al Sur-Oeste de la ciudad (Figura 4.20). Los procesos de potabilización y obras accesorias incluyen los siguientes componentes:

- Una cámara de llegada y estabilización de las aguas del Río Quipor (Figura 4.21).
- Coagulación hidráulica mediante mezcla rápida proporcionada por caída en el vertedero de ingreso, donde se verifica la dosificación y mezcla de sulfato de aluminio con las agua crudas provenientes de la fuente de abastecimiento.



• Figura 4.20 Modulo de Tratamiento.



Figura 4.21 Cámara de Llegada y Proceso de Coagulación.

- Floculador hidráulico (Figura 4.22) por medio de cinco módulos de floculación, con tabiques divisores que proporcionan la formación de flóculos de material sedimentable.



Figura 4.22 Floculadores Hidráulicos.

- Canal que colecta el agua proveniente de los floculadores y la distribuye en los sedimentadores (Figura 4.23), los que elimina los sedimentos del agua utilizando placas inclinadas de PVC. En su parte inferior esta dotados de tolvas para facilitar la remoción de los flóculos por medio de tuberías para el drenaje inferior.



Figura 4.23 Sedimentador.

- Una canal de distribución colocado entre cada dos sedimentadores, colecta el agua sedimentada y la transporta a un canal general que la conduce a una batería de nueve filtros rápidos (Figura 4.24) a tasa declinante y retrolavado hidráulico, los que sirven para concluir el proceso de clarificación del agua. El material filtrante está conformado por arena y grava con granulometría variable. El fondo contiene un falso fondo a base de viguetas prefabricadas con orificios, para posibilitar el drenaje del agua filtrada.



Figura 4.24 Filtros.

### **4.3.2 Departamento de Almacenamiento de Químicos**

Es un edificio de tres plantas (Figura 4.25) e incluye: bodega de producto químicos, laboratorio de control de los procesos potabilizadores de la PTAP, sala de preparación de soluciones (con dos piletas) y dosificación de cal, sulfato y/o polímero (Figura 4.26). En la primera Planta contiene un cuarto donde se instaló el dosificador de cloro gas y sus partes constitutivas y otro cuarto para el hidroneumático de agua clorada y filtrada para abastecer las instalaciones del complejo (Figura 4.27).



Figura 4.25 Planta Potabilizadora y Edificio de Almacenamiento de Químicos.



Figura 4.26 Dosificador de Sulfato de Aluminio.



Figura 4.27 Dosificador de Cloro.

#### **4.4 Planta Potabilizadora de Juigalpa, Chontales**

La concentración de la población en el territorio es muy heterogénea, existiendo municipios con concentraciones de tres veces el valor departamental (23.8 habitantes por Km<sup>2</sup>) y municipios con densidades iguales a la mitad de ese valor (INEC, 2005). La concentración de la población en el territorio a nivel municipal, ubica a Juigalpa como el más densamente poblado con 71.3 habitantes por Km<sup>2</sup>. Juigalpa tiene una población de aproximadamente 51,838 habitantes (INEC, 2005).

La planta potabilizadora de Juigalpa (Figura 4.12) está ubicada al noreste de la ciudad de Juigalpa. El terreno tiene una pendiente topográfica de norte a sur, con un desnivel aproximado de 11 m. El sitio disponible estaba constituido por un predio vacío de alrededor de 0.6 ha. La parte del predio con cotas del terreno arriba de 246 m, ha sido utilizado para la construcción de los tanques de aguas claras, que cumplen también la función de tanques de almacenamientos de la red alta de Juigalpa.

##### **4.4.1 Componentes de la Planta de Potabilización**

La planta de tratamiento diseñada corresponde a una planta del tipo convencional (Figura 4.28) para tratar aguas crudas provenientes del Río Pirre de características variables en un rango bastante amplio en turbidez, para asegurar un efluente potable

según los estándares de CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable de Centroamérica Panamá y República Dominicana) en todas las instituciones hidrológicas del río y para las previsibles condiciones del agua en el futuro embalse de regulación.



Figura 4.28 Vista Panorámica de la PTAP de Juigalpa, Chontales.

Por lo tanto se diseñó una planta de tipo completo con procesos de dosificación y floculación, decantación laminar entre placas y filtración con unidades filtrantes a la tasa declinantes y con retrolavados mutuo. Para disminuir los gastos de bombeo en la línea de conducción, economizar productos químicos y reducir el impacto ambiental debido a la disposición del agua de lavado a los filtros, se previó la recirculación de los lodos y del agua de lavado de los filtros en un tanque de recirculación. La planta de potabilización está constituida por las siguientes obras:

- Cámara de entrada (Figura 4.29).
- Dispositivo de coagulación y mezcla rápida.
- Floculador hidráulico de pantalla a flujo vertical (Figura 4.29).
- Tres unidades de sedimentación laminar de alta tasa (Figura 4.30).
- Ocho unidades de filtración rápida de tasa declinantes y con retrolavados mutuo (Figura 4.31).



Figura 4.29 Cámara de Entrada de Agua y Flocladores Hidráulicos.



Figura 4.30 Sedimentadores.



Figura 4.31 Filtros Rápidos de Arena.

- Dos dosificadores de cloro gas de tipo vacío.
- Tanque de recirculación de efluente de proceso, está constituido por un tanque de concreto de capacidad de 62.5 m<sup>3</sup>, con una tolva de sedimentación de lodos de 30 m<sup>3</sup> y dos bombas de 7.5 hp.
- Tanque de agua clara en acero sobre el suelo, con capacidad de 1200 m<sup>3</sup>, un caudal de 1300 gln/min.

#### **4.4.2 Edificio de Operaciones**

Este edificio incluye:

- Un laboratorio, una oficina para el jefe de planta, sala de dosificación y bodega de almacenamiento de productos químicos.
- Casa de habitación para el jefe de planta.
- Caseta de vigilancia con anexo de cabina eléctrica y cámara para planta eléctrica de emergencia.
- Vigilancia interna, dos portones de acceso, tanque séptico, sistema de drenaje de aguas pluviales, cerca perimetral, sistema de iluminación interna.

## **CAPITULO V**

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

La caracterización del agua antes, durante y después de los procesos de tratamientos es la base principal para la determinación de la calidad del agua, su caracterización determina el grado de contaminación, así como la eficiencia de las distintas unidades de tratamiento en el proceso de potabilización.

En este capítulo se hace una comparación de los distintos parámetros físicos, químicos, orgánicos y microbiológicos de los promedios anuales de cada una de las PTAP analizadas en esta investigación como son: Santo Tomás, Juigalpa, Camoapa y Boaco. En primer lugar se analizó el agua cruda proveniente de las fuentes de abastecimiento correspondientes, luego se procedió con el agua sedimentada y finalmente con el agua potable, además se estudió la tendencia que ha tenido la calidad del agua a lo largo de estos cinco años. También se hizo un estudio acerca de la eficiencia que tiene las unidades de tratamiento según su grado de remoción que presenten. Al final se realizó el cálculo de los índices de calidad para cada fuente abastecedora con el objetivo de evaluar la calidad del agua que entra a cada una de las Plantas Potabilizadoras.

Como se menciona anteriormente este estudio fue evaluativo y se realizó con datos que se determinaron en trabajos monográficos anteriores, los cuales se efectuaron desde el año 2003 al año 2006; pero muchos de estos no se realizaron de manera consecutiva en las diferentes PTAP tal es el caso de las ubicadas en los municipios de Juigalpa y Santo Tomás que carecen de datos actuales, ni tampoco se determinaron los parámetros en todas las etapas del proceso. Es por este motivo que se hizo uso de información brindada por la empresa INAA para el año 2006 y los datos para el año 2007 fueron ofrecidos por la empresa ENACAL, pero la empresa sólo realizó análisis físico-químicos y microbiológicos. En este trabajo se asumió que el agua filtrada es igual al agua potable porque en la cámara de salida del proceso de filtración se efectúa el proceso de desinfección.

## 5.1 Agua Cruda

La variación de los parámetros es debido principalmente a la contaminación que presentan las diferentes fuentes de abastecimiento de las PTAP que depende en gran medida de la época en que se realizaron los análisis, ya que la lluvia trae consigo materia orgánica proveniente de las capas superficiales del suelo, y otros compuestos. A continuación se presentan las características promedios de los diferentes parámetros analizados en el periodo de estudio (2003-2007).

### 5.1.1 Características Físicas

Puede observarse en la Figura 5.1 la variación en los parámetros físicos debido principalmente a la contaminación que presentaron las diferentes fuentes de abastecimiento de las PTAP.

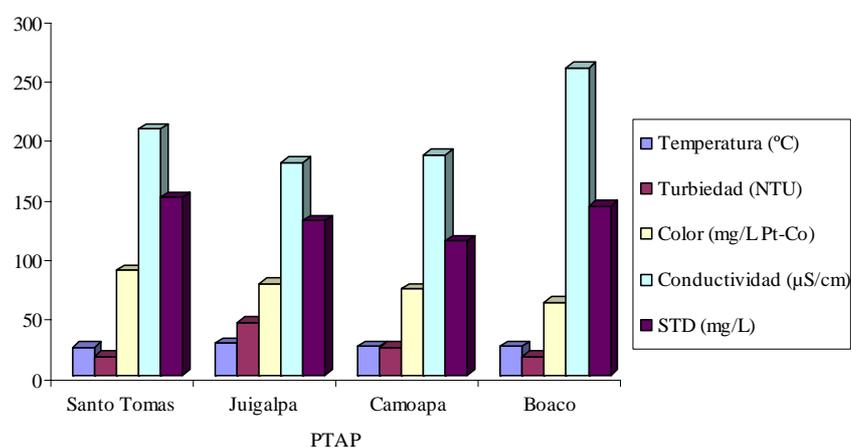


Figura 5.1 Promedios de las Características Físicas del Agua Cruda.

La *temperatura* no presentó mucha variación en las PTAP evaluadas manteniendo un rango de 23-27 °C, que es la temperatura típica de los Departamentos de Boaco y Chontales (INETER, 2008). Un aumento en la temperatura acelera la biodegradación de

la materia orgánica y los sedimentos en el agua (Weiner, 2000), como se puede observar en la Figura 5.1, Santo Tomás exhibió la menor temperatura y por ende la mayor concentración de STD.

La PTAP ubicada en Juigalpa presentó la *turbiedad* promedio más alta ( $44.4 \pm 33.9$  NTU) debido a la cantidad de arcilla y sólidos depositados por el arrastre de las lluvias. En cambio las PTAP de Boaco y Santo Tomás mostraron valores más bajos de este parámetro ( $15.4 \pm 13.9$  y  $15.8 \pm 8.8$  NTU) respectivamente. Así mismo, en la PTAP ubicada en Camoapa, la turbiedad fue de ( $23.4 \pm 19.9$  NTU). Las plantas que presentaron una baja turbiedad en agua cruda necesitaron una mayor dosis de coagulante que las que presentaron una alta turbiedad (Romero, 1999).

El parámetro *color* muestra una mayor concentración en la PTAP ubicada en Santo Tomás ( $87.8 \pm 25.8$  mg/L Pt-Co), similarmente las concentraciones promedios de color para las PTAP Juigalpa y Camoapa también fueron altas ( $76.9 \pm 55.8$  y  $72.4 \pm 33.1$  mg/L Pt-Co) respectivamente. Sin embargo Boaco tiene una concentración de color ligeramente menor ( $61.1 \pm 31.3$  mg/L Pt-Co). Estos valores tan altos de color en todas las aguas crudas se deben posiblemente a los despales en las cuencas de cada uno de los ríos.

Las PTAP ubicadas en Boaco y Santo Tomás exhiben altas concentraciones del parámetro *conductividad* ( $258.2 \pm 39.6$  y  $206.7 \pm 19.3$   $\mu\text{s/cm}$ ) respectivamente. En cambio las ubicadas en Juigalpa y Camoapa mostraron concentraciones menores, pero no bajas ( $178.7 \pm 24.0$  y  $185.2 \pm 55.1$   $\mu\text{s/cm}$ ).

La PTAP de Santo Tomás tiene la mayor concentración de *sólidos totales disueltos (STD)* con un valor promedio de  $145.9 \pm 20.5$  mg/L seguida de la PTAP de Boaco con  $142.2 \pm 16.1$  mg/L de STD. Concentraciones un poco menores de sólidos totales disueltos (STD) se encontraron en Camoapa ( $112.9 \pm 29.1$  mg/L) y Juigalpa ( $130.0 \pm 46.8$  mg/L) respectivamente. En las aguas naturales los mayores contribuyentes

a STD son los carbonatos, bicarbonato, cloro, sulfato, fosfato y sales de nitrato (Weiner, 2000).

Con lo antes descrito se puede concluir que en cuanto a parámetros físicos para agua cruda, la calidad de las fuentes abastecedoras no es buena, ya que todas las fuentes presentan valores muy altos de color y turbiedad, haciendo que el agua necesite de tratamiento para poder ser consumida por la población. Cabe mencionar que Juigalpa y Santo Tomás presentaron las concentraciones más altas de estos dos parámetros en su agua cruda.

### **5.1.2 Características Químicas**

Las características químicas se ven afectadas por la presencia de compuestos químicos influenciados por el mal manejo de recursos y factores antropogénicos afectando así la calidad de las aguas naturales.

Se puede apreciar en la Figura 5.2 que el parámetro *pH* no presentó mucha variación en las cuatro plantas, sin embargo el agua cruda de la planta de Juigalpa mostró tener un *pH* ligeramente mayor ( $7.8 \pm 0.5$ ) que en las PTAP de Santo Tomás y Boaco ( $7.1 \pm 0.1$  y  $7.7 \pm 0.3$ ) respectivamente. El menor valor de *pH* ocurre en las aguas crudas de las PTAP de Camoapa ( $6.7 \pm 0.7$ ).

El agua cruda de la PTAP de Juigalpa exhibió la mayor concentración del parámetro *acidez* (43.6 mg/L). En cambio en la planta de Camoapa se muestra la menor concentración de este parámetro ( $18.3 \pm 0.7$  mg/L). Las PTAP de Santo Tomás y Boaco presentaron concentraciones de ( $29.6$  y  $28.1 \pm 3.9$  mg/L) respectivamente.

La *alcalinidad* en el agua cruda de Boaco y Santo Tomás fueron las más altas de todas las aguas crudas analizadas ( $116.5 \pm 15.9$  mg/L,  $112 \pm 2.4$ ) respectivamente. En cambio en las plantas de Camoapa y Juigalpa ocurren las menores concentraciones de

este parámetro ( $75.3 \pm 21.1$  mg/L,  $79.3 \pm 26.4$  mg/L) respectivamente. En aguas superficiales, los niveles de alcalinidad menores a 30 mg/L son considerados bajos, y valores mayores a 250 mg/L son denominados muy altos. La alcalinidad en el agua es beneficiosa porque minimiza los cambios de pH, reduce la toxicidad de muchos metales al formar complejos con estos, y provee carbón como nutriente para las plantas acuáticas (Weiner, 2000).

La dureza fue mayor en la PTAP de Santo Tomás ( $186.6 \pm 49.3$  mg/L) lo que indica que el agua de la fuente de abastecimiento es dura, debido a la mezcla de agua subterránea y superficial. Así mismo el agua en las PTAP de Boaco, Juigalpa y Camoapa se clasifican como moderadamente duras ( $103.7 \pm 40.1$  mg/L,  $98.3 \pm 71.7$  mg/L y  $86.4 \pm 10.3$  mg/L) respectivamente. La dureza algunas veces es útil como un indicador proporcional a los sólidos totales disueltos presentes en el agua, porque los cationes ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) y el anión ( $\text{HCO}_3^-$ ), frecuentemente representan la gran parte de sólidos totales disueltos (Weiner, 2000), es por este motivo que los ríos que abastecen a las cuatro PTAP presentan valores altos de STD.

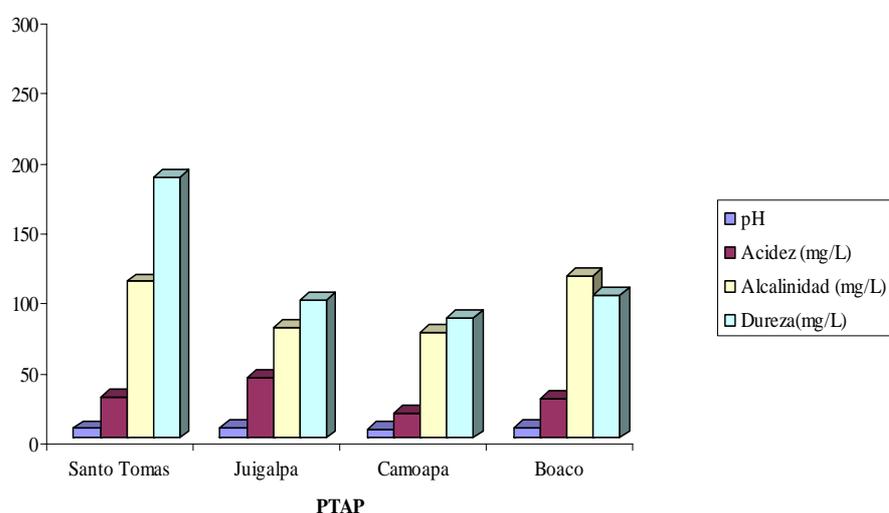


Figura 5.2 Promedios del pH, Acidez, Alcalinidad, Dureza en el Agua Cruda.

La PTAP de Boaco tiene la mayor concentración de *nitratos* (Figura 5.3) con un valor de  $(19.6 \pm 26.3 \text{ mg/L})$ , esto puede deberse mayormente a la actividad agrícola que realizan los pobladores que viven a las orillas de la cuenca. En cambio Juigalpa presentó la menor concentración con un valor de  $(2.9 \pm 4.1 \text{ mg/L})$ . Las PTAP de Camoapa y Santo Tomás mostraron concentraciones de nitratos de  $3.3 \pm 2.4 \text{ mg/L}$  y  $7.0 \pm 5.6 \text{ mg/L}$  respectivamente. Los nitratos son nutrientes importantes para las plantas pero en altas concentraciones son tóxicos para los peces y humanos. Los nitratos son muy solubles, no se absorben fácilmente en superficies minerales y del suelo, por lo que son móviles en el ambiente. Concentraciones mayores de 1 a 2 mg/L de nitratos en aguas superficiales y subterráneas generalmente indica contaminación agrícola por fertilizantes y filtración de estiércol (Weiner, 2000).

La concentración más alta de *sulfatos* con un valor de  $17.7 \pm 7.1 \text{ mg/L}$  fue la del agua cruda de la PTAP de Juigalpa. Concentraciones similares se encontraron en las aguas de las PTAP ubicadas en Camoapa y Santo Tomás ( $15.4 \pm 5.2$  y  $10.4 \text{ mg/L}$ ) respectivamente. Por el contrario, para la PTAP de Boaco la concentración fue mucho menor ( $8.9 \pm 3.5 \text{ mg/L}$ ).

Juigalpa presenta la mayor concentración del parámetro *aluminio* como se observa en la Figura 5.3 con un valor de  $10.8 \text{ mg/L}$ . Sin embargo las PTAP ubicadas en Boaco, Santo Tomás y Camoapa presentaron concentraciones mucho menores de este parámetro con valores de  $0.6 \pm 0.9 \text{ mg/L}$ ,  $0.3$  y  $0.2 \pm 0.1 \text{ mg/L}$  respectivamente. El valor de aluminio tan alto en la PTAP de Juigalpa se debe a que en esta planta una parte del agua cruda proviene de la pila de recirculación donde van los lodos provenientes de los sedimentadores, estos lodos son ricos en aluminio debido al sulfato de aluminio utilizado en el proceso de coagulación. Concentraciones tan altas de aluminio son perjudiciales para los humanos y los peces.

Las concentraciones de *hierro* en el agua cruda de las PTAP ubicadas en Juigalpa y Camoapa fueron  $(4.4 \pm 3.0$  y  $3.4 \pm 2.8 \text{ mg/L})$  respectivamente, estos valores tan altos se

deben posiblemente al tipo de suelo (alfisol y molisol) de las cuencas donde se sitúan los ríos. Estos suelos son ricos en hierro y manganeso; también se puede deber en el caso de la PTAP de Juigalpa a la recirculación del efluente del proceso de sedimentación. En cambio las PTAP de Boaco y Santo Tomás mostraron las menores concentraciones con valores de  $(0.5 \pm 0.3)$  y  $(0.8 \pm 0.2)$  mg/L respectivamente.

Las PTAP ubicadas en Santo Tomás y Boaco exhibieron las mayores concentraciones de *amonio* con valores de  $(1.0)$  y  $(0.3 \pm 0.2)$  mg/L respectivamente. No obstante Juigalpa y Camoapa presentaron las menores concentraciones de este parámetro con valores de  $(0.09)$  y  $(0.04)$  mg/L respectivamente. El amonio es fuertemente adsorbido en la superficie mineral o en el suelo donde es inmovilizado, pero a través de las escorrentías logra llegar a los cuerpos de agua, concentraciones superiores a  $0.5$  mg/L en las fuentes de agua son tóxicas para los peces.

El parámetro *manganeso* sólo fue estudiado en la PTAP ubicada en Boaco y presentó una concentración de  $0.5 \pm 0.1$  mg/L. Cabe mencionar que no se realizaron pruebas de *bromo* para ninguna de las plantas, en esta etapa.

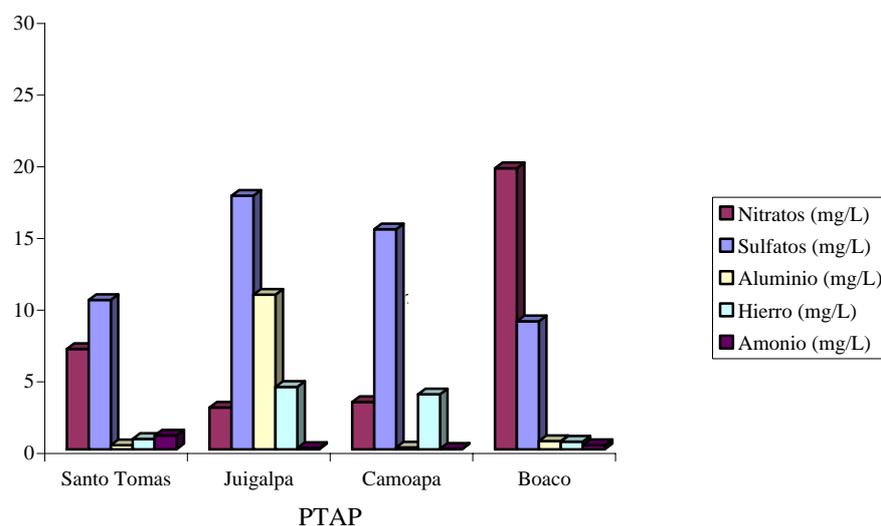


Figura 5.3 Promedios de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Amonio y Hierro en el Agua Cruda.

Con lo antes descrito se puede concluir que en cuanto a parámetros químicos para el agua cruda todas las fuentes abastecedoras presentan principalmente problemas de aluminio y nitratos.

### **5.1.3 Características Orgánicas**

Las características orgánicas se relacionan directamente con la descomposición de los microorganismos ya sea en el suelo o en el agua. La contaminación natural de las aguas superficiales se halla influenciadas a su vez por las sustancias húmicas y fúlvicas ocasionados por la descomposición de residuos vegetales o animales y muchas veces producido por el despale de los bosques.

En la Figura 5.4 se detallan las características orgánicas del agua cruda que mostraron las plantas evaluada tales como carbono orgánico total (COT), carbono orgánico disuelto (COD), absorbancia de luz ultravioleta ( $UV_{254}$ ) y absorbancia ultravioleta específica (SUVA).

Las PTAP de Santo Tomás y Camoapa presentaron las mayores concentraciones del parámetro sustituto *COT* con valores de (27.0 y  $20.7 \pm 10.3$  mg/L) respectivamente. Por el contrario las plantas de Boaco y Juigalpa mostraron las menores concentraciones con valores de ( $8.9 \pm 6.1$  y 3.9 mg/L).

Con respecto al parámetro sustituto *COD*, este también muestra altas concentraciones en las PTAP ubicadas en Santo Tomás y Camoapa con valores de (24.0 y  $14.2 \pm 10.1$  mg/L) respectivamente. En cambio Boaco y Juigalpa exhibieron concentraciones menores de este parámetro con valores de ( $6.4 \pm 4.5$  y 3.6 mg/L) respectivamente. Estos valores tan altos se deben al transporte de materia orgánica por las escorrentías a los cuerpos de agua.

La PTAP de Santo Tomás presentó una mayor concentración del parámetro sustituto  $UV_{254}$  con un valor de  $0.4 \text{ cm}^{-1}$ . Sin embargo las PTAP de Boaco y Juigalpa

presentaron las menores concentraciones de este parámetro con valores de  $(0.08 \pm 0.05$  y  $0.1 \text{ cm}^{-1})$  respectivamente. Camoapa mostró una concentración de este parámetro de  $0.3 \pm 0.1 \text{ cm}^{-1}$ .

Los valores de *SUVA* indican el tipo de materia orgánica presente en el agua como se muestra en la Tabla 2.4. Las PTAP de Boaco y Camoapa presentaron los mayores valores de *SUVA* con valores de  $(2.4 \pm 2.3$  y  $2.2 \pm 1.0 \text{ L/mg-cm})$  respectivamente, como estos valores se encuentran entre el rango de 2-4, indica que la materia orgánica presente en los ríos Fonseca y Mombachito tienen composición de mezcla de material húmico acuático, del tipo hidrofílica e hidrofóbica y constituidas de diversos pesos moleculares. En cambio Santo Tomás y Juigalpa presentaron menores valores de *SUVA* (1.5 y 1.9  $\text{L/mg-cm}$ ) respectivamente, estos valores son menores a 2  $\text{L/mg-cm}$  indicando que la materia orgánica presente en los ríos Quipor y Río Pirre poseen composiciones mayormente no húmicas, menos hidrofóbicas y de bajo peso molecular.

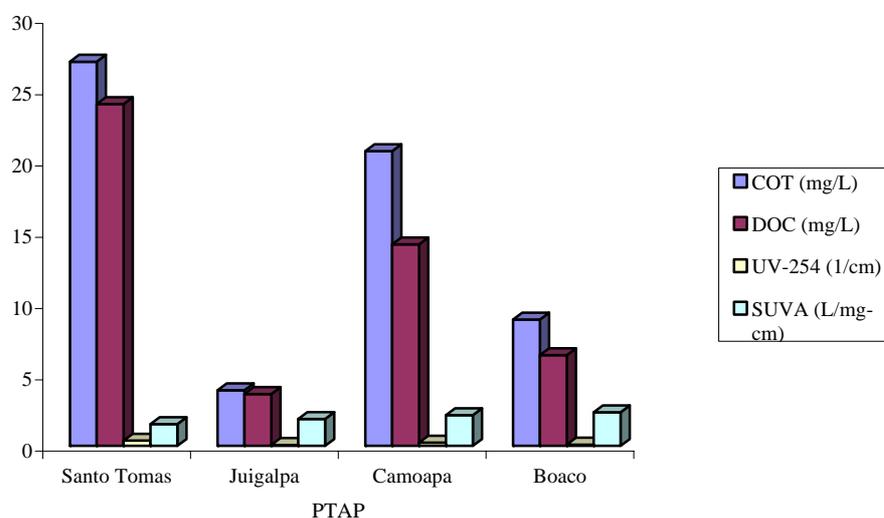


Figura 5.4 Promedios de las Características Orgánicas en el Agua Cruda.

Con lo antes descrito se puede concluir que en cuanto a parámetros orgánicos, las plantas de Santo Tomás y Camoapa muestran altas concentraciones de materia orgánica

las cuales por sus características pueden llegar a ser muy reactiva con el cloro sino se reducen en el proceso de coagulación-floculación-sedimentación.

#### **5.1.4 Características Microbiológicas**

Las características microbiológicas se caracterizan por la cantidad de *coliformes fecales* presentes en el agua. En este caso el método utilizado es la filtración de membrana el cual no permitió cuantificar el número de colonias presentes ya que eran incontables a simple vista. Esto se debe a que los ríos que sirven como fuentes abastecedoras de agua cruda a las PTAP evaluadas están contaminados debido a que los desperdicios y residuos de las actividades agrícolas, mineras, ganaderas y domésticas son descargadas directa o indirectamente en los ríos y percolan en los suelos.

## **5.2 Agua Sedimentada**

Las etapas de Coagulación-Sedimentación son el corazón del proceso de potabilización y las responsables de asegurar la calidad del agua por eso es necesario conocer su efectividad en cuanto a remoción. La coagulación prepara el agua para la sedimentación, en esta etapa se remueven sustancias coloidales y se reducen los valores de turbiedad, color y sustancias precursoras de olores y sabores, así como también bacterias y virus que se ocluyen en los coloides. Además se remueven metales y materia orgánica.

### **5.2.1 Características Físicas**

En la Tabla 5.1 se puede notar la disminución de *la turbiedad y color*, después de que el agua cruda se tratara con el proceso de coagulación-sedimentación en cada una de las PTAP evaluadas. En cambio ocurre un aumento en la *conductividad* y en la concentración de los *sólidos totales disueltos (STD)* causado por el proceso de coagulación donde al adicionar el coagulante se destabilizan las partículas para que

posteriormente se aglomeren y formen los flocúlos los cuales se sedimentan por la acción de la gravedad. La *temperatura* se mantuvo prácticamente constante.

Tabla 5.1 Valores de las Características Físicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Juigalpa*			Camoapa			Boaco		
	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V
Temperatura (°C)	25.2	25.2	0.0	26.5	26.1	1.5	24.3 ± 0.9	24.7 ± 1.1	-1.6	24.3 ± 0.8	24.8 ± 1.2	-2.1
Turbiedad (NTU)	24.6	2.4	90.2	29.1	1.5	94.8	23.4 ± 19.9	3.6 ± 0.6	84.6	15.4 ± 13.9	4.0 ± 2.9	74.0
Color (mg/L Pt-Co)	113.7	9.1	92.0	60.8	4.0	93.4	72.4 ± 33.1	25.4 ± 6.5	64.9	61.1 ± 31.3	6.6 ± 3.9	89.2
Conductividad (µS/cm)	187.4	206.8	-10.4	202.0	204.0	-1.0	185.2 ± 55.1	191.1 ± 28.9	-3.2	258.2 ± 39.6	262.5 ± 70.1	-1.7
STD (mg/L)	131.8	144.8	-9.9	101.0	102.0	-1.0	112.9 ± 29.1	121.1 ± 23.3	-7.3	142.2 ± 16.1	137.4 ± 20.4	3.4

\*Los porcentajes de remoción del agua sedimentada para estas plantas se calcularon en base al año 2003 debido a que es el único año con datos completos disponibles en estas plantas.

También se aprecia en la misma tabla que Juigalpa presentó la mayor concentración de *turbiedad* en agua cruda y al compararla con la del agua sedimentada esta mostró una excelente disminución presentando un porcentaje de remoción del 94.8%, sobre cumpliendo con el rango de remoción en un sedimentador que va de 90-95% (Buiteman, 1995), así mismo los sedimentadores parecen funcionar bien en la PTAP de Santo Tomás donde se da una remoción de turbiedad del 90.2%. En cambio la PTAP de

Boaco muestra la menor disminución de este parámetro al comparar las concentraciones de agua cruda y sedimentada con un porcentaje de reducción del 74.0%, además ésta no cumple con los rangos de remoción de un sedimentador. Tampoco la PTAP de Camoapa logra alcanzar el rango de remoción de un sedimentador ya que el porcentaje de remoción es de 84.6 %, no obstante se puede decir que hay una muy buena disminución de *turbiedad* en estas plantas

Juigalpa presentó una muy buena remoción de *color* del 93.4% al igual que Santo Tomás y Boaco con 92.0 y 89.2% respectivamente. Estas remociones alcanzadas están por encima del 80% sugerido por Buiteman (1995) para la remoción de color en un sedimentador. La remoción de color en el proceso de sedimentación de la PTAP de Camoapa es de tan sólo 64.9%.

Como se muestra en la Tabla 5.1 las PTAP evaluadas mostraron un aumento en la conductividad después del proceso de coagulación-floculación-sedimentación.

Los *STD* para las aguas sedimentadas (Tabla 5.1) exhibieron un aumento en las plantas de Santo Tomás, Juigalpa y Camoapa al contrario de la PTAP de Boaco que disminuyeron 3.4%.

En la Figura 5.5 se presentan la variación de cada uno de los parámetros físicos evaluados después del proceso de coagulación-sedimentación.

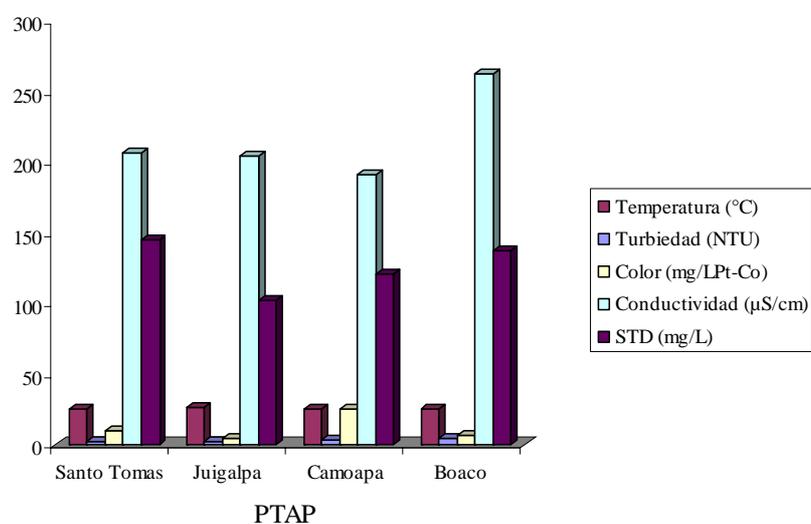


Figura 5.5 Promedios de las Características Físicas del Agua Sedimentada.

### 5.2.2 Características Químicas

En la Tabla 5.2 se muestran las variaciones de los parámetros químicos evaluados. El parámetro *pH* después del proceso de coagulación presenta una disminución en su valor debido a la adición de la solución de  $Al^{+3}$ . Así mismo la acidez aumentó en cada una de las plantas estudiadas.

La *alcalinidad* en la PTAP de Camoapa exhibió la mayor disminución de este parámetro (45.8%). El agua sedimentada de la PTAP de Boaco tiene una reducción de la alcalinidad del 30.7%. Similarmente Santo Tomás y Boaco muestran las menores reducciones de alcalinidad, 29.3 y 26.9% respectivamente. Por el contrario la *Dureza* aumentó después del proceso de sedimentación, siendo este incremento mucho mayor en la PTAP de Santo Tomás. En cambio la *Dureza* disminuyó en 5.4% en la PTAP de Juigalpa.

Tabla 5.2 Valores de las Características Químicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Juigalpa*			Camoapa			Boaco		
	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V
pH	7.2	7.1	1.4	7.9	7.2	8.9	6.7 ± 0.7	6.8 ± 0.2	-1.5	7.7 ± 0.3	7.2 ± 0.2	6.5
Acidez (mg/L)	29.6	34.6	-16.9	43.6	54.5	-25.0	18.3 ± 0.7	25.5 ± 2.1	-39.3	28.1 ± 3.9	30.3 ± 2.5	-7.8
Alcalinidad (mg/L)	109.6	77.5	29.3	101.3	74.1	26.9	75.3 ± 21.1	40.8 ± 7.9	45.8	116.5 ± 15.9	80.7 ± 6.1	30.7
Dureza (mg/L)	235.8	277.8	-17.8	180.3	170.6	5.4	86.4 ± 10.3	95.1 ± 21.5	-10.1	103.7 ± 40.1	110.9 ± 39.1	-6.9

\*Los porcentajes de remoción del agua sedimentada para estas plantas se calcularon en base al año 2003 debido a que es el único año con datos completos disponibles en estas plantas.

En la Figura 5.6 se presentan la variación de los parámetros químicos como son pH, Acidez, Alcalinidad y Dureza después del proceso de coagulación-sedimentación.

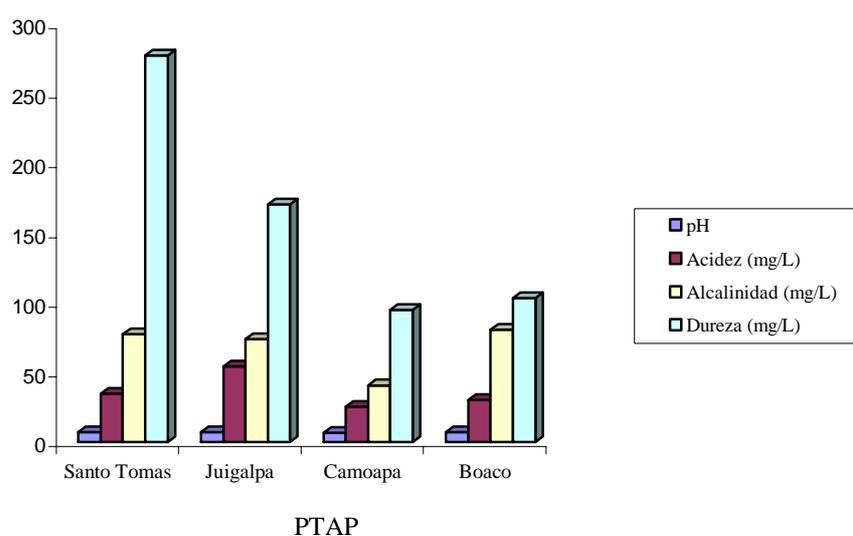


Figura 5.6 Promedios para el pH, Acidez, Alcalinidad y Dureza en el Agua Sedimentada.

En la Tabla 5.3 se observa el aumento en la concentración de *sulfatos* y *aluminio* después del proceso de coagulación, efecto que se produce al adicionar el coagulante para que se lleve a cabo el proceso de coagulación (Tabla 5.3). El mayor aumento de sulfatos (227.9%) ocurre en la PTAP de Santo Tomás y el más alto incremento en la concentración de aluminio (424.1%) lo muestra la PTAP de Juigalpa debido a la recirculación del efluente de la laguna de lodos.

Así mismo en la PTAP de Juigalpa se dio un aumento de la concentración de *nitratos* de 650.0% en el proceso de sedimentación. Al contrario, los *nitratos* en las PTAP de Boaco, Santo Tomás, y Camoapa disminuyeron considerablemente (90.3, 87.5, 78.8%).

Tabla 5.3 Valores de las Características Químicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Juigalpa*			Camoapa			Boaco		
	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V
Nitratos (mg/L)	1.6	0.2	87.5	0.04	0.3	-650.0	3.3 ± 2.4	0.7 ± 0.2	78.8	19.6 ± 26.3	1.9 ± 0.5	90.3
Sulfatos (mg/L)	10.4	34.1	-227.9	10.1	28.2	-179.2	15.4 ± 5.2	43.9 ± 8.3	-185.1	8.9 ± 3.5	23.1 ± 7.5	-159.6
Aluminio (mg/L)	0.3	0.4	-33.3	10.8	56.6	-424.1	0.2 ± 0.1	0.6 ± 0.4	-200.0	0.6 ± 0.9	0.8 ± 1.0	-33.3
Hierro (mg/L)	1.0	0.1	90.0	2.3	1.4	39.1	3.4 ± 2.8	0.2 ± 0.2	94.1	0.5 ± 0.3	0.1 ± 0.1	80.0
Amonio (mg/L)	1.0	0.4	60.0	0.09	0.02	77.8	0.04	0.03	25.0	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.03	33.3

Como se puede apreciar *el hierro* fue removido en una alta proporción en todas las PTAP evaluadas, estos porcentajes están por encima del rango de remoción para un sedimentador (50-60%) de acuerdo a (Buiteman, 1995). No obstante la PTAP de Juigalpa es la que presenta la menor reducción de hierro (39.1%).

La remoción de *amonio* fue mayor al 60% para las plantas de Santo Tomás y Juigalpa; en las PTAP de Camoapa y Boaco las remociones fueron tan sólo de 25.0 y 33.3% respectivamente.

Las pruebas de manganeso se realizaron solo en la planta de Camoapa donde se observa un valor tan bajo que se acerca a cero (0.0012 mg/L) y en Boaco cuyo valor es de 0.1 mg/L.

En la Figura 5.7 se presentan la variación de los parámetros Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio evaluados después del proceso de coagulación-floculación-sedimentación.

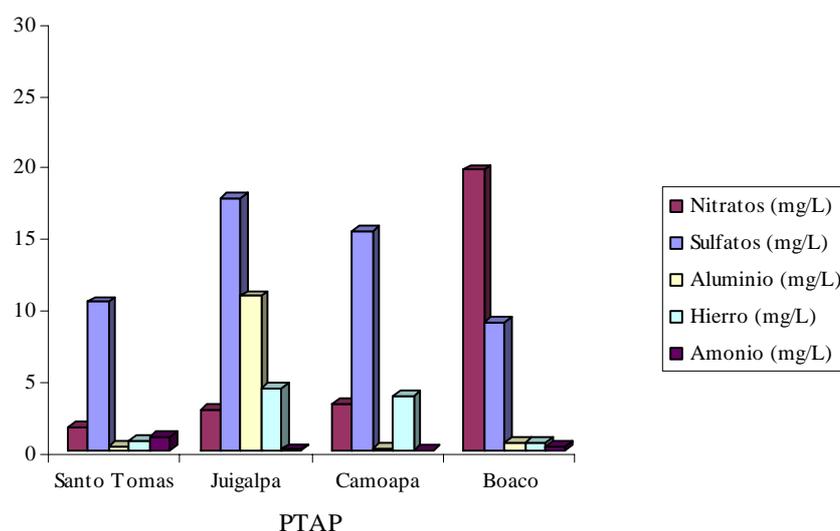


Figura 5.7 Promedios para Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio en el Agua Sedimentada.

Con lo antes descrito se puede concluir que en cuanto a parámetros químicos para agua sedimentada la que presentó la mejor calidad de las PTAP evaluadas fue la ubicada en Boaco y la menor calidad la presentó la ubicada en Juigalpa.

### **5.2.3 Características Orgánicas**

En la Tabla 5.4 se presenta el comportamiento de los parámetros sustitutos utilizados para caracterizar la materia orgánica. Como se puede apreciar la PTAP de Santo Tomás mostró la mayor concentración de *COT* en el agua cruda y al comparar su concentración con el agua sedimentada se puede observar que este se redujo 79.6%. En cambio la PTAP de Juigalpa presentó la menor concentración de *COT* en el agua cruda y la disminución de este parámetro en el proceso de sedimentación fue de 28.2%. Los porcentajes de remoción de *COT* fueron del 43.8 y 61.4% para las PTAP de Boaco y Camoapa. La remoción de *COT* y *COD* en Plantas Potabilizadoras que utilizan sales de aluminio como coagulantes debe ser mayor al 50% de acuerdo a lo sugerido por Edwald y Tobiason, (1999). Por lo que se puede concluir que las PTAP de Juigalpa y Boaco están trabajando por debajo del rango de remoción de *COT*.

El comportamiento para la disminución de *COD* es similar al del *COT*, siendo la PTAP de Santo Tomás la que presenta la mayor reducción de *COD* (81.7%), sin embargo Juigalpa y Boaco muestran las menores reducciones de *COD* (25.0 y 29.7%). La disminución de *COD* en la PTAP de Camoapa fue de 59.2%.

Como se observa también en la Tabla 5.4, el parámetro *UV<sub>254</sub>* el cual indica el contenido aromático de la materia orgánica disminuyó 75.0% en la PTAP ubicada en Santo Tomás. En cambio las PTAP de Camoapa, Juigalpa y Boaco presentan remociones más bajas 66.7, 50.0, y 25.0% respectivamente.

Tabla 5.4 Valores de las Características Orgánicas del Agua Cruda (AC), Agua Sedimentada (AS) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Juigalpa*			Camoapa			Boaco		
	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V	AC	AS	%V
COT (mg/L)	27.0	5.5	79.6	3.9	2.8	28.2	20.7 ± 10.3	8.0 ± 2.9	61.4	8.9 ± 6.1	5.0 ± 0.4	43.8
COD (mg/L)	24.0	4.4	81.7	3.6	2.7	25.0	14.2 ± 10.1	5.8 ± 5.2	59.2	6.4 ± 4.5	4.5 ± 2.5	29.7
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.4	0.1	75.0	0.1	0.05	50.0	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.09	66.7	0.08 ± 0.05	0.06 ± 0.02	25.0
SUVA (L/mg-cm)	1.5	1.8	-20.0	1.9	2.0	-5.3	2.2 ± 1.0	3.1 ± 2.8	-40.9	2.4 ± 2.3	2.2 ± 2.1	8.3

\*Los porcentajes de remoción del agua sedimentada para estas plantas se calcularon en base al año 2003 debido a que es el único año con datos completos disponibles en estas plantas.

La *absorbancia específica al ultravioleta (SUVA)* después del proceso de coagulación-sedimentación tiende a aumentar. Los valores de SUVA indican el tipo de materia orgánica presente en el agua (Tabla 2.4). Camoapa presentó el mayor valor de SUVA (3.1 L/mg-cm) en el agua sedimentada, indicando que la materia orgánica presente en el agua tiene una composición mayormente húmico acuática, de alta hidrofobicidad y peso molecular. En cambio la ubicada en Santo Tomás muestra un valor de SUVA para el agua sedimentada de 1.8 L/mg-cm, como este valor es menor de 2 L/mg-cm la materia orgánica presente tiene una composición mayormente no húmico, poca hidrofóbica y de bajo peso molecular. Las PTAP ubicadas en Boaco y Juigalpa presentaron concentraciones de SUVA de 2.2 y 2.0 L/mg-cm respectivamente en el agua sedimentada, como estos valores están comprendidos en el rango de 2-4, la materia orgánica presente en el agua sedimentada tiene una composición de mezcla de material húmico acuático y otro tipo de MON, mezcla de MON hidrofílica e hidrofóbica y una

diversidad de pesos moleculares. Cuando se tiene SUVA mayores de 2 L/mg-cm hay mayor probabilidad de formar THMs debido al tipo de material orgánico aun remanente.

Con lo antes descrito se puede concluir que en cuanto a parámetros orgánicos para agua sedimentada la que presentó la mejor calidad de las PTAP evaluadas fue la ubicada en Santo Tomás y la que muestra problemas fue la ubicada en Juigalpa.

En la Figura 5.8 se muestra la variación de los parámetros orgánicos después del proceso de coagulación-sedimentación. Al comparar esta Figura con la 5.4 es notable como este proceso logra reducir la materia orgánica.

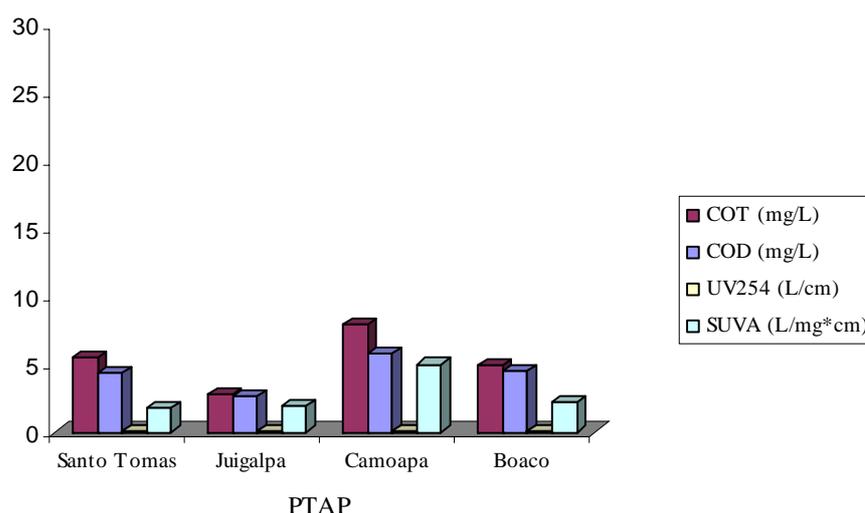


Figura 5.8 Promedios de las Características Orgánicas en el Agua Sedimentada.

#### 5.2.4 Características Microbiológicas

No se analizó en ninguna de las PTAP el contenido de coliformes fecales en esta etapa de tratamiento.

### **5.3 Agua Potable**

La determinación de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua durante el proceso de tratamiento son fundamentales para determinar la calidad del agua potabilizada. Un agua de consumo humano debe cumplir ciertos requisitos para determinar si ésta es apta para su consumo. Estos requisitos se encuentran en las normas CAPRE que son especiales para los países de Centroamérica y el Caribe. De acuerdo a las normas CAPRE las PTAP evaluadas deben cumplir con los valores que se presentan en el Anexo A de este estudio.

#### **5.3.1 Características Físicas**

Es importante conocer que antes de desinfectar el agua la turbiedad media no debe exceder de 1 NTU y que en ningún caso debe existir una turbiedad superior a 5 NTU, esto es necesario ya que algunos parásitos clásicos no se destruyen en la desinfección. Para describir las características físicas del agua potable se hace uso de la Tabla 5.5.

Al observar la Tabla 5.5 se puede apreciar que la *temperatura* se mantuvo casi constante y que los valores de temperatura para las diferentes PTAP se mantuvieron dentro del rango permisible por la norma CAPRE (18 a 30 °C).

El porcentaje de remoción para la *turbiedad* en un filtro rápido de arena es mayor al 80%. Como se puede apreciar en la tabla las PTAP ubicadas en Camoapa, Boaco y Juigalpa presentaron las menores disminuciones de turbiedad con porcentajes de reducción de 58.3, 57.5 y 53.3% respectivamente, por lo estas plantas no cumplen con el porcentaje de remoción que presenta la literatura para filtros rápidos (Buiteman, 1995). La planta de Santo Tomás aunque presentó el mayor porcentaje de remoción de turbiedad (75.0%) tampoco logra alcanzar el porcentaje de remoción de un filtro rápido. Cabe mencionar que ninguna de las PTAP superan los 5 NTU establecidos por la norma

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región  
Boaco-Chontales*

CAPRE como valor máximo admisible, pero sí las PTAP de Camoapa y Boaco sobrepasan el valor recomendado de 1 NTU.

Tabla 5.5 Valores de las Características Físicas en el Agua Sedimentada (AS), Agua Potable (AP) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Juigalpa*			Camoapa			Boaco		
	AS	AP	%V	AS	AP	%V	AS	AP	%V	AS	AP	%V
Temperatura (°C)	25.2	25.2	0.0	26.1	28.0	-7.3	24.7 ± 1.1	24.5 ± 0.6	0.8	24.8 ± 1.2	24.2 ± 1.6	2.4
Turbiedad (NTU)	2.4	0.6	75.0	1.5	0.7	53.3	3.6 ± 0.6	1.5 ± 1.4	58.3	4.0 ± 2.9	1.7 ± 1.5	57.5
Color (mg/L Pt-Co)	9.1	2.1	76.9	4.0	0.4	90.0	25.4 ± 6.5	18.8 ± 8.5	26.0	6.6 ± 3.9	9.0 ± 5.7	-36.4
Conductividad (µS/cm)	206.8	313.2	-51.5	204	224.7	-10.1	191.1 ± 28.9	184.9 ± 41.8	3.2	262.5 ± 70.1	266.6 ± 76.0	-1.6
STD (mg/L)	144.8	187.9	-29.8	102.0	112.4	-10.2	121.1 ± 23.3	111.4 ± 25.5	8.0	137.4 ± 20.4	151.8 ± 42.3	-10.5

*\*Los porcentajes de remoción del agua potable para estas plantas se calcularon en base al año 2003 debido a que es el único año con datos completos disponibles en estas plantas.*

El color aumentó en vez de disminuir en las PTAP de Boaco (36.4%) lo cual se puede deber a falta de limpieza de los filtros. El porcentaje de remoción para el *color* en un filtro rápido de arena debe ser mayor al 75% (Buiteman, 1995). La PTAP ubicada en Juigalpa presentó una excelente disminución al comparar su concentración de agua sedimentada con la potable con un porcentaje de reducción de color de 90.0%, el color del agua de la PTAP de Santo Tomás se encuentra también ligeramente por encima del porcentaje de remoción para filtros ya que se redujo 76.9%. La PTAP de Camoapa muestra una reducción en color del 26.0%. Tres de las PTAP estuvieron por debajo del límite permisible por la norma CAPRE (15 mg/L Pt-Co) con excepción de Camoapa

(18.8 mg/L Pt-Co) que excede este valor máximo admisible. Así mismo sólo las PTAP de Juigalpa y Santo Tomás muestran un color promedio (0.4, 2.1 mg/L Pt-Co) mucho menor al valor recomendado de 5 mg/L Pt-Co.

Como se aprecia en la Tabla 5.5 la *conductividad* disminuyó en la PTAP de Camoapa (3.2 %). Un ligero aumento de conductividad ocurrió en las PTAP de Boaco (1.6%) y Juigalpa (10.1%). Pero el mayor incremento en conductividad ocurrió en la PTAP de Santo Tomás (51.5%). Las PTAP evaluadas no sobrepasan el límite establecido por la norma CAPRE de 400  $\mu$ S/cm como conductividad.

En la misma tabla los *STD* mostraron un comportamiento análogo a la conductividad, presentando una disminución de STD en la PTAP de Camoapa (8.0%) e incrementando en las PTAP de Santo Tomás (39.8%), Boaco (10.5%), y Juigalpa (10.2%). Con respecto a este parámetro las PTAP no excedieron el límite establecido por la norma CAPRE de 1000 mg/L como STD.

Con lo antes descrito se pudo concluir que en cuanto a parámetros físicos para agua potable la que presentó la mejor calidad de las PTAP evaluadas fue la ubicada en Juigalpa y la que presentó la menor calidad fue la ubicada en Camoapa.

En la Figura 5.9 se presenta un consolidado de los valores finales promedios de los características físicas evaluados.

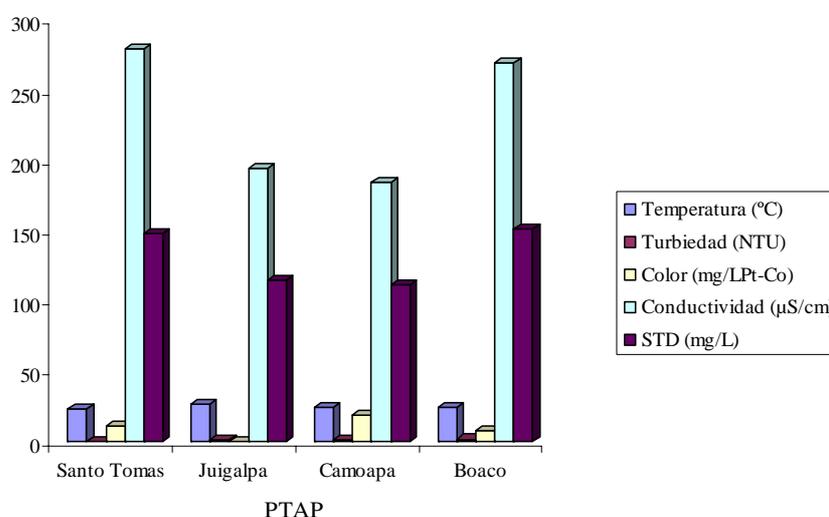


Figura 5.9 Promedios de las Características Físicas en el Agua Potable.

### 5.3.2 Características Químicas

En la Tabla 5.6 se muestra como en las PTAP de Camoapa y Boaco la *alcalinidad* ha aumentó. En cambio en las PTAP de Juigalpa y Santo Tomás la alcalinidad es reducida. Cabe mencionar que el límite permisible para la alcalinidad no se especifica en la norma CAPRE. Pero sí el de *dureza*, la cual no debe exceder los 400 mg/L. Las aguas de las PTAP de Juigalpa, Camoapa y Boaco se clasificaron como moderadamente duras, en cambio la de Santo Tomás se considera dura.

El parámetro *pH* presentó una pequeña disminución o se mantuvo constante como en las PTAP de Juigalpa y Boaco. Los valores de pH expuestos en la tabla no sobrepasan el rango establecido por la norma CAPRE (6.5-8.5).

Tabla 5.6 Valores de las Características Químicas en el Agua Sedimentada (AS), Agua Potable (AP) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Juigalpa*			Camoapa			Boaco		
	AS	AP	%V	AS	AP	%V	AS	AP	%V	AS	AP	%V
pH	7.1	6.9	2.8	7.2	7.2	0.0	6.8 ± 0.2	6.7 ± 0.4	1.5	7.2 ± 0.2	7.2 ± 0.1	0.0
Acidez (mg/L)	34.6	39.0	-12.7	54.5	42.1	22.8	25.5 ± 2.1	26.2 ± 2.3	-2.7	30.3 ± 2.5	24.6 ± 7.1	18.8
Alcalinidad (mg/L)	77.5	63.3	18.3	74.1	66.5	10.3	40.8 ± 7.9	41.0 ± 11.7	-0.5	80.7 ± 6.1	89.9 ± 14.0	-11.4
Dureza (mg/L)	277.8	241.0	13.2	170.6	170.7	-0.1	95.1 ± 21.5	70.9 ± 61.5	25.4	110.9 ± 39.1	113.1 ± 42.7	-2.0

*\*Los porcentajes de remoción del agua potable para estas plantas se calcularon en base al año 2003 debido a que es el único año con datos completos disponibles en estas plantas.*

Como se muestra en la Tabla 5.6 el parámetro *acidez* presentó un incremento del 12.7% en la PTAP de Santo Tomás y del 2.7% en Camoapa. Sin embargo las PTAP de Juigalpa (22.8%) y Boaco (18.8%) exhibieron una disminución de este parámetro. No hay valor guía para la acidez en las normas CAPRE.

Al comparar la Figura 5.10 con las 5.2 y 5.6 se puede notar el grado de variación de estos parámetros

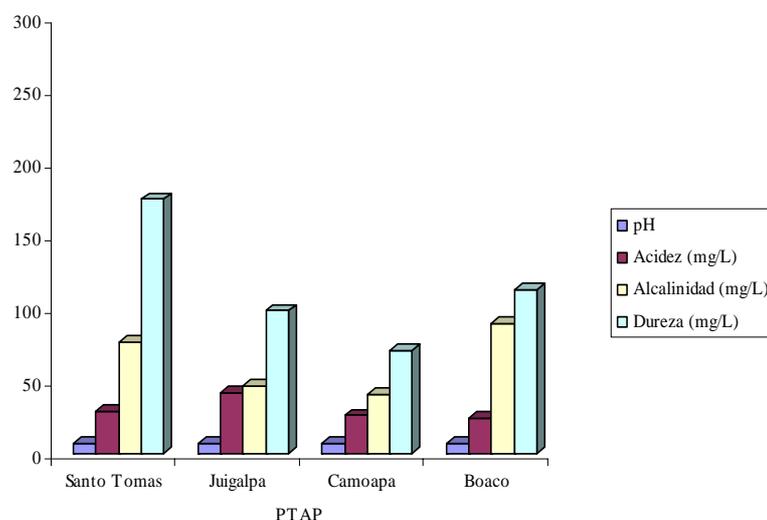


Figura 5.10 Promedios de pH, Acidez, Alcalinidad y Dureza en el Agua Potable.

Los *nitratos* aumentaron en las PTAP evaluadas. Pero las distintas concentraciones finales de nitratos de las PTAP se encontraron por debajo del límite permisible de la norma CAPRE (25 mg/L). Aunque Weiner (2000) señala que el agua potable con concentraciones por encima de 10 mg/L es perjudicial para los seres humanos.

Los *sulfatos* incrementaron en las PTAP estudiadas con la excepción de la PTAP de Camoapa. Las concentraciones de sulfatos para las PTAP evaluadas se encuentran por encima del valor máximo admisible de la norma CAPRE de 25 mg/L. Concentraciones superiores a 25 mg/L ocasionan problemas estomacales en las personas.

La concentración de *aluminio* disminuyó en todas las plantas, siendo la PTAP de Camoapa (66.7%) la que presentan la mayor disminución de este parámetro. Esto se debe al material filtrante que usa el filtro en esta PTAP. Por el contrario la reducción de aluminio en las PTAP de Juigalpa (34.1%), y Boaco (12.5%) fueron menores. En Santo Tomás la remoción de aluminio fue nula. Todas las plantas sobrepasan el valor máximo admisible de 0.2 mg/L para el aluminio. El aluminio ha sido ligado al mal de Alzheimer.

El *hierro* tendió a disminuir después del proceso de filtración. El porcentaje de remoción del parámetro hierro para un filtro rápido de arena es de 80% (Buiteman, 1995). Como se muestra en la Tabla 5.7, las PTAP estudiadas no cumplieron con este porcentaje de remoción presentando una pobre o ninguna reducción del contenido de hierro. La planta de Juigalpa fue la única que muestra una reducción de 21.4%, pero a la vez esta planta fue la única que no cumplió con el valor máximo admisible de 0.3 mg/L para el hierro (CAPRE, 2000) ya que la concentración en el agua potable es de 1.1 mg/L.

Tabla 5.7 Valores de las Características Químicas del Agua Sedimentada (AS), Agua Potable (AP) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Juigalpa*			Camoapa			Boaco		
	AS	AP	%V	AS	AP	%V	AS	AP	%V	AS	AP	%V
Nitratos (mg/L)	0.2	0.3	-50.0	0.3	0.8	-166.7	0.7 ± 0.2	0.7 ± 0.3	0.0	1.9 ± 0.5	2.4 ± 1.54	-26.3
Sulfatos (mg/L)	34.1	40.6	-19.1	28.2	34.2	-21.3	43.9 ± 8.3	39.8 ± 14.6	9.3	23.1 ± 7.5	31.3 ± 17.5	-35.5
Aluminio (mg/L)	0.4	0.4	0.0	56.6	19.3	34.1	0.6 ± 0.4	0.2 ± 0.1	66.7	0.8 ± 1.0	0.7 ± 0.9	12.5
Hierro (mg/L)	0.1	0.1	0.0	1.4	1.1	21.4	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.0	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.0
Amonio (mg/L)	0.4	0.4	0.0	0.02	0.01	50.0	0.03	0.04	-33.3	0.2 ± 0.03	0.2 ± 0.2	0.0

*\*Los porcentajes de remoción del agua potable para estas plantas se calcularon en base al año 2003 debido a que es el único año con datos completos disponibles en estas plantas.*

El *amonio* mostró una excelente disminución en la planta de Juigalpa al comparar su concentración de agua sedimentada y potable con un porcentaje de variación de 50%, esta PTAP no sobrepasó el valor recomendado de la norma CAPRE (0.05 mg/L) al igual que la de Camoapa. Las PTAP de Santo Tomás y Boaco no cumplieron con el límite

recomendado de la norma CAPRE, aunque no sobrepasaron el límite máximo admisible de 0.5 mg/L. En ambas plantas las remociones son nulas. El porcentaje de remoción de amonio en un filtro rápido debe ser superior al 50% (Buiteman, 1995). Estos valores de amonio significan que las plantas están teniendo problemas con las remociones de material orgánico de origen nitrogenado.

En la siguiente figura se muestran el comportamiento de los parámetros antes descritos.

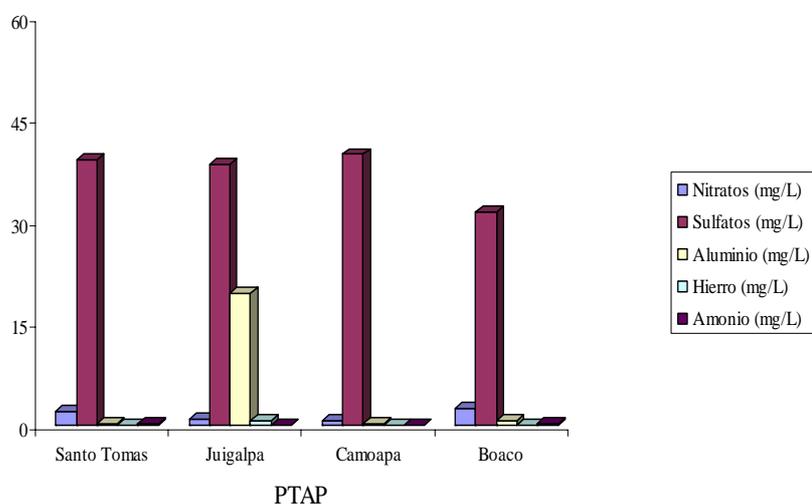


Figura 5.11 Promedios de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio en el Agua Potable.

Otros parámetros estudiados fueron el *manganeso* y el *bromuro*. El porcentaje de remoción para el manganeso en un filtro rápido debe ser mayor al 80% (Buiteman, 1995). Este parámetro sólo se estudió en la PTAP ubicada en Boaco, siendo el porcentaje de remoción del 45.5%. La concentración promedio de manganeso fue para esta planta de 0.12 mg/L valor que excede el valor recomendado (0.1 mg/L) pero no el valor máximo admisible (0.5 mg/L). En el caso del bromuro, las concentraciones estaban por debajo de límite detectable.

### 5.3.3 Características Orgánicas

En la Tabla 5.8 se presentan las variaciones de cada parámetro orgánico estudiado. Se apreció una disminución de los parámetros sustitutos de la materia orgánica (COT, COD y UV<sub>254</sub>). La excepción es el SUVA que muestra un incremento ligero (16.7%) en la PTAP de Santo Tomás, y aumenta considerablemente (103.2%) en Camoapa. Como se puede apreciar en la Tabla 5.8 los parámetros orgánicos a la salida de la cámara de los filtros no se estudiaron en la PTAP de Juigalpa.

Tabla 5.8 Valores de las Características Orgánicas en el Agua Sedimentada (AS), Agua Potable (AP) y Porcentaje de Variación (%V).

Parámetros	Santo Tomás*			Camoapa			Boaco		
	AS	AP	%V	AS	AP	%V	AS	AP	%V
COT (mg/L)	5.5	3.1 ± 1.1	43.6	8.0 ± 2.9	4.7	41.3	5.0 ± 0.4	3.8 ± 1.9	24.0
COD (mg/L)	4.4	2.1 ± 0.7	52.3	5.8 ± 5.2	1.2	79.3	4.5 ± 2.5	2.8 ± 2.1	37.8
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.1	0.03 ± 0.01	70.0	0.1 ± 0.0 9	0.07	30.0	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.03	33.3
SUVA (L/mg-cm)	1.8	2.1 ± 0.7	-16.7	3.1 ± 2.8	6.3	-103.2	2.2 ± 2.1	1.9 ± 1.7	13.6

*\*Los porcentajes de remoción del agua potable para esta planta se calcularon en base al año 2003 debido a que es el único año con datos completos disponibles en esta planta.*

Con lo antes descrito se puede concluir que en cuanto a parámetros orgánicos para agua potable la que presentó la mejor calidad de las PTAP evaluadas fue la ubicada en Santo Tomás y las que presentaron valores altos de materia orgánica fueron las plantas de Camoapa y Boaco.

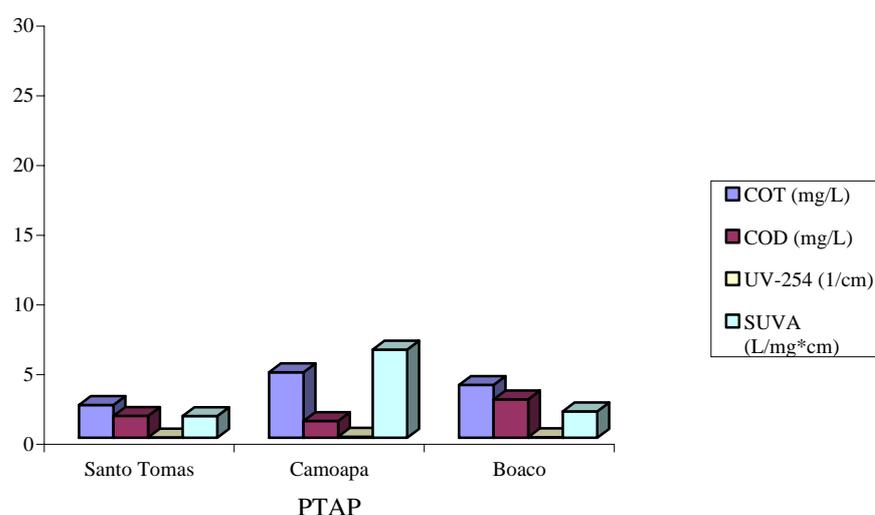


Figura 5.12 Promedios de las Características Orgánicas en el Agua Potable.

### 5.3.4 Características Microbiológicas

En esta última etapa del proceso, según las pruebas realizadas a las distintas plantas potabilizadoras estudiadas los resultados fueron de cero coliformes fecales para todas las plantas lo que se indica que la cantidad de cloro suministrado es el adecuado para la efectiva remoción de este parámetro indicador de contaminación del agua.

### 5.3.5 Desinfección y Subproductos

El método utilizado para la desinfección en las PTAP evaluadas es la cloración por ser barato y eficaz, pero tiene el inconveniente de los subproductos como los trihalometanos (THMs) que se sospechan sean cancerígenos (Standard Methods, 1998). El valor recomendado de cloro residual es (0.5-1 mg/L) en el agua de los grifos y el valor recomendado para THMs según la norma CAPRE es de 0.46 mg/L.

Como se muestra en la Figura 5.13, las plantas de Santo Tomás, Juigalpa y Boaco sobrepasaron el valor recomendado por la norma CAPRE para cloro residual con

concentraciones de 3.0, 1.8 y 2.4 mg/L respectivamente. En cambio la planta ubicada en Camoapa presentó una concentración de cloro residual de 0.7 mg/L, este valor se encuentra en el rango valor recomendado por la norma CAPRE.

Las PTAP ubicadas en Santo Tomás, Camoapa y Boaco presentaron concentraciones de *trihalometanos* de 0.085, 0.07 y 0.17 mg/L respectivamente, estos valores se encuentran por debajo del valor recomendado por la norma CAPRE. En cambio la planta ubicada en Juigalpa presentó una concentración de este parámetro por encima del valor recomendado por la norma con un valor de 1.1 mg/L.

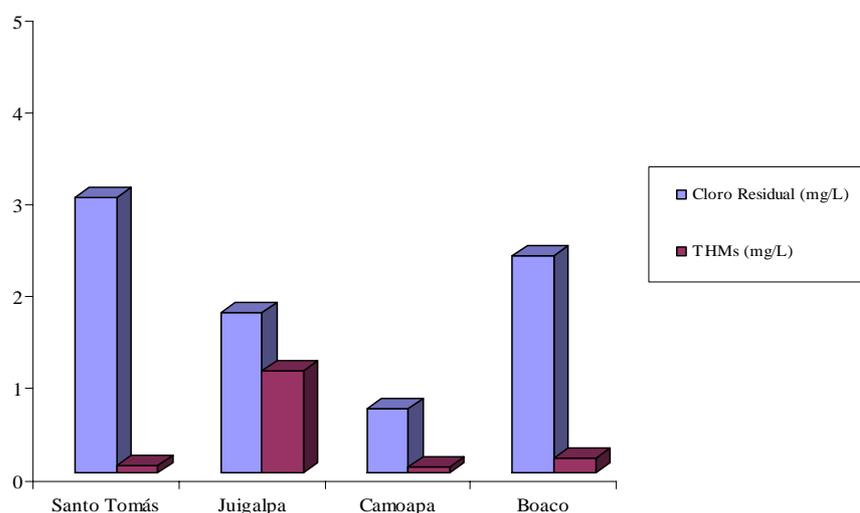


Figura 5.13 Promedios de Cloro Residual y THMs en el Agua Potable.

### 5.3.6 Cumplimiento de las PTAP con las Normas CAPRE

En la Tabla 5.9 se muestra un listado del cumplimiento de los parámetros analizados de acuerdo a la calidad requerida para un agua potable según la normativa CAPRE.

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región  
Boaco-Chontales*

Tabla 5.9 Cumplimiento de las PTAP con la Normativa CAPRE.

Parámetro	Santo Tomás	Juigalpa	Camoapa	Boaco	Norma CAPRE VR
Temperatura (°C)	☺	☺	☺	☺	18-30
Turbiedad (NTU)	☺	☺	☹	☹	1
Color (mg/L Pt-Co)	☹	☺	☹	☹	1
Conductividad (μS/cm)	☺	☺	☺	☺	400
STD (mg/L)	☺	☺	☺	☺	1000*
pH	☺	☺	☺	☺	6.5-8.5
Dureza (mg/L)	☺	☺	☺	☺	400
Nitratos (mg/L)	☺	☺	☺	☺	50
Sulfatos (mg/L)	☹	☹	☹	☹	25
Aluminio (mg/L)	☹	☹	☹	☹	0.2*
Hierro (mg/L)	☺	☹	☺	☺	0.3*
Amonio (mg/L)	☹	☺	☺	☹	0.05
Coliformes Fecales (Unidades/100 mL)	☺	☺	☺	☺	0.0
Cloro Residual (mg/L)	☹	☹	☺	☹	0.5-1.0
Trihalometanos (mg/L)	☺	☹	☺	☺	0.46

VR: Valor Recomendado

☺: Cumple

☹: No Cumple

\*: Valor Máximo Admisible

De acuerdo a la tabla anterior la PTAP de Camoapa fue la que mostró el mayor cumplimiento a esta normativa ya que sólo cuatro de los quince parámetros evaluados están por encima de los valores recomendados, pero por debajo de los valores máximos admisibles para estos parámetros y la planta que menos cumple es la de Boaco, con seis parámetros que sobrepasaron el valor recomendado y también exceden el valor máximo admisible como en *el aluminio y el cloro residual*. En el caso de las PTAP de Juigalpa y Santo Tomás, cinco parámetros superan los valores recomendados y máximos admisibles por CAPRE. Por lo que se puede concluir que ninguna de las plantas cumplen con asegurar una calidad de agua apta para el consumo de la población.

## **5.4 Tendencias Anuales**

En este acápite se presentan las tendencias de las calidades del agua cruda, sedimentada y desinfectada de las distintas PTAP por año.

### **5.4.1 PTAP de Santo Tomás**

#### **5.4.1.1 Agua Cruda**

En esta primera etapa del proceso de potabilización la planta de Santo Tomás presenta los parámetros físicos, químicos y orgánicos para los años 2003, 2005 y 2007.

##### **❖ Características Físicas**

En la Tabla 5.10 se puede apreciar como han venido disminuyendo los parámetros *temperatura, turbiedad y color* a lo largo de los años en las aguas del Río Quipor que abastece a la PTAP de Santo Tomás. En cambio la *conductividad y los sólidos totales disueltos (STD)* han aumentado.

Tabla 5.10 Valores Anuales de las Características Físicas de Agua Cruda en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás		
	2003	2005	2007
Temperatura( °C)	25.2	22.8	22.0
Turbiedad (NTU)	24.6	15.8	7.0
Color (mg/L Pt-Co)	113.7	87.8	62.0
Conductividad (μS/cm)	187.4	206.7	226.0
STD (mg/L)	131.8	144.7	172.0

❖ **Características Químicas**

Los parámetros químicos del agua cruda de la planta de Santo Tomás se presentan en la Tabla 5.11. Se puede apreciar que el *pH* y *dureza* han disminuido con el tiempo. En cambio la *alcalinidad* presento un comportamiento ascendente. La *acidez* solo se estudió en el año 2003. Así mismo, los parámetros *sulfatos* (10.4 mg/L), *nitratos* (7mg/L), *aluminio* (0.3 mg/L) y *amonio* (1.0 mg/L) solo se estudiaron para el año 2003. El *hierro* ha tendido a disminuir en comparación con la concentración del 2003.

Tabla 5.11 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás		
	2003	2005	2007
pH	7.2	7.2	7.0
Acidez (mg/L)	29.6	-	-
Alcalinidad (mg/L)	109.6	112.0	114.4
Dureza (mg/L)	235.8	186.6	137.3
Hierro (mg/L)	1.0	0.7	0.8

❖ **Características Orgánicas**

Como se observa en la Tabla 5.12 los *parámetros orgánicos* del agua cruda de la planta solo se estudiaron en el año 2003, por tal razón no se puede decir si aumentaron o disminuyeron en el agua cruda. Aunque por los valores encontrados se puede decir que hay problemas debido al alto contenido de material orgánico el cual sino es removido adecuadamente antes del proceso de desinfección puede originar altas concentraciones de subproductos de la desinfección.

Tabla 5.12 Valores de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Santo Tomás.

<b>Parámetros</b>	<b>Santo Tomás</b>
	<b>2003</b>
COT (mg/L)	27.0
COD (mg/L)	24.0
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.4
SUVA (L/mg-cm)	1.5

**5.4.1.2 Agua Sedimentada**

En esta etapa de sedimentación únicamente se tienen datos para el año 2003 por lo que se hace imposible realizar una aproximación de la tendencia de estos parámetros para los próximos años, debido a esto solo se presentaran las tablas correspondientes al año 2003.

❖ **Características Físicas**

La Tabla 5.13 exhiben los parámetros físicos del agua sedimentada para la planta de Santo Tomas.

Tabla 5.13 Valores de las Características Físicas del Agua Sedimentada en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás
	2003
Temperatura (°C)	25.2
Turbiedad (NTU)	2.4
Color (mg/L Pt-Co)	9.1
Conductividad (μS/cm)	206.8
STD (mg/L)	144.8

Se puede observar al comparar la Tabla 5.10 y 5.13 que la *turbiedad* y *el color* son removidos considerablemente al comparar el agua cruda con el agua sedimentada para el año 2003. La *conductividad* y los *STD* aumentaron.

❖ **Características Químicas**

La Tabla 5.14 exhibe los valores de los parámetros químicos que contiene el agua sedimentada de esta planta. Al comparar esta tabla con la del agua cruda (Tabla 5.11) se puede apreciar que el *pH* disminuye al igual que la *alcalinidad* debido al proceso de coagulación donde se adiciona sales de aluminio. Por esto mismo la concentración de *aluminio* y *sulfatos* incrementan. El *amonio* y *el hierro* disminuyen en esta etapa.

Tabla 5.14 Valores de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás
	2003
pH	7.1
Acidez (mg/L)	34.6
Alcalinidad (mg/L)	77.5
Dureza (mg/L)	277.8
Nitratos (mg/L)	0.2
Sulfatos (mg/L)	34.1
Aluminio (mg/L)	0.4
Hierro (mg/L)	0.1
Amonio (mg/L)	0.4

❖ **Características Orgánicas**

En la Tabla 5.15 se muestran los valores de los parámetros químicos correspondientes al año 2003

Tabla 5.15 Valores de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada de la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás
	2003
COT (mg/L)	5.5
COD (mg/L)	4.4
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.1
SUVA (L/mg-cm)	1.8

Se puede observar que la *materia orgánica* ha disminuido aproximadamente en un 80% después de aplicado el proceso de coagulación-floculación-sedimentación.

### 5.4.1.3 Agua Potable

Para el agua potable de la planta de Santo Tomás se tienen valores para los años de 2003, 2005 y 2007.

#### ❖ Características Físicas

En la Tabla 5.16 se detallan las variaciones de los parámetros físicos que comprende el agua potable de la planta. Como se puede apreciar *la temperatura, la turbiedad y la conductividad* han disminuido con el tiempo. Por el contrario el color fue incrementado en estos años. Los *STD* disminuyeron en el 2005 para aumentar en el 2007.

Tabla 5.16 Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Potable en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás		
	2003	2005	2007
Temperatura (°C)	25.2	23.8	22.3
Turbiedad (NTU)	0.6	0.5	0.3
Color (mg/L Pt-Co)	2.1	12.2	19.0
Conductividad (µS/cm)	313.2	280.1	247.0
STD (mg/L)	187.9	85.5	171.0

#### ❖ Características Químicas

Las variaciones de los parámetros químicos se presentan a través de las Tablas 5.17 y 5.18. En la Tabla 5.17 se aprecia que *el pH, acidez y dureza* han venido disminuyendo. En cambio la *alcalinidad* incrementó con el tiempo.

Tabla 5.17 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás		
	2003	2005	2007
pH	6.9	6.7	6.6
Acidez (mg/L)	39.0	19.5	-
Alcalinidad (mg/L)	63.3	75.8	91.5
Dureza (mg/L)	241.0	183.9	100.1

Las concentraciones de *sulfato*, *aluminio*, *bromuro* y *amonio* han ido disminuyendo durante este periodo (2003-2007, Tabla 5.18) a diferencia de las concentraciones de *nitratos* que han incrementado. La concentración de *hierro* se ha mantenido constante. Para el año 2007 no se presentan datos de *aluminio*, *bromuro* y *amonio*.

Tabla 5.18 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro, Bromuro y Amonio del Agua Potable en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás		
	2003	2005	2007
Nitratos (mg/L)	0.3	2.1	3.7
Sulfatos (mg/L)	40.6	39.1	37.5
Aluminio (mg/L)	0.4	0.2	-
Hierro (mg/L)	0.1	0.1	0.1
Bromuro (mg/L)	0.8	0.4	-
Amonio (mg/L)	0.4	0.2	-

#### ❖ Características Orgánicas

En la Tabla 5.19 se puede observar que los parámetros orgánicos del agua potable de la planta presentaron un comportamiento descendente durante los años 2003-2005 ya que en el año 2007 no se realizaron análisis para estos parámetros.

Tabla 5.19 Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Potable en la planta de Santo Tomás.

Parámetros	Santo Tomás	
	2003	2005
COT (mg/L)	3.1	1.6
COD (mg/L)	2.1	1.1
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.03	0.02
SUVA (L/mg-cm)	2.1	1.1

## 5.4.2 PTAP de Juigalpa

### 5.4.2.1 Agua Cruda

Las variaciones de los parámetros físicos, químicos y orgánicos de las diferentes etapas del proceso de la planta de Juigalpa para los años 2003, 2006 y 2007 se detallan a continuación.

#### ❖ Características Físicas

En la Tabla 5.20 se muestra que los parámetros de *turbiedad*, y *color* disminuyeron en el 2006 y después aumentaron en el 2007. En cambio la *temperatura* y los *STD* aumentaron en el 2006 y luego incrementaron en el 2007.

Tabla 5.20 Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Cruda en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa		
	2003	2006	2007
Temperatura (°C)	26.5	28.2	25.8
Turbiedad (NTU)	29.1	20.8	83.3
Color (mg/L Pt-Co)	60.8	31.0	139.0
Conductividad (µS/cm)	202.0	180.0	154.0
STD (mg/L)	101.0	184.0	105.0

#### ❖ Características Químicas

Las Tablas 5.20 y 5.21 presentan los parámetros químicos, donde se observa que el comportamiento de estos parámetros fue muy variado. El *pH* por ejemplo, incrementó en el año 2005 y luego disminuyó en el 2007. La *alcalinidad* fue descendiendo año con año. En cambio la *dureza* se redujo, pero luego aumentó ligeramente en el 2007. La acidez solo se analizó en el año 2003.

Tabla 5.21 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa		
	2003	2005	2007
pH	7.9	8.2	7.3
Acidez (mg/L)	43.6	-	-
Alcalinidad (mg/L)	101.3	86.5	50.0
Dureza (mg/L)	180.3	47.9	66.7

La Tabla 5.22 muestra los parámetros de *nitratos*, *sulfatos*, *aluminio*, *hierro* y *amonio* para esta etapa. Como se puede ver existe una ausencia de valores para los años 2006 y 2007. Las concentraciones de *nitratos* no se analizaron en el 2007, sin embargo se

destaca un incremento del 2003 al 2006. Los *sulfatos* a diferencia de los nitratos se analizaron en todos los años y su concentración aumentó y luego bajo. En el caso del *aluminio* y el *amonio* sólo se estudiaron en el año 2003. Las concentraciones de hierro como se puede ver no se estudiaron en el 2006, pero se destaca un aumento durante el periodo en estudio.

Tabla 5.22 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Cruda en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa		
	2003	2006	2007
Nitratos (mg/L)	0.04	5.8	-
Sulfatos (mg/L)	10.1	24.2	18.8
Aluminio (mg/L)	10.8	-	-
Hierro (mg/L)	2.3	-	6.5
Amonio (mg/L)	0.09	-	-

#### ❖ Características Orgánicas

Los parámetros orgánicos presentados en la Tabla 5.23 corresponden al año 2003 ya que solo de ese año se tienen datos.

Tabla 5.23 Valores de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa
	2003
COT (mg/L)	3.9
COD (mg/L)	3.6
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.1
SUVA (L/mg-cm)	1.9

#### 5.4.2.2 Agua Sedimentada

Los parámetros físicos, químicos y orgánicos de la planta de Juigalpa para la etapa de sedimentación se tienen solo para el año 2003 por lo que es imposible hacer algún pronóstico de su comportamiento en los próximos años, sin embargo se muestran los valores en las siguientes tablas.

##### ❖ Características Físicas

Se puede notar en la Tabla 5.24 que los parámetros como *turbiedad* y *color* disminuyen considerablemente en esta etapa, así mismo la *temperatura* y *los STD* pero estos últimos parámetros en menor proporción.

Tabla 5.24 Valores de las Características Físicas del Agua Sedimentada en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa
	2003
Temperatura (°C)	26.1
Turbiedad (NTU)	1.5
Color (mg/L Pt-Co)	4.0
Conductividad (µS/cm)	204.0
STD (mg/L)	102.0

##### ❖ Características Químicas

Después de la adición de sales de aluminio los valores de *pH*, *alcalinidad*, *dureza*, *hierro* y *amonio* disminuyen debido a la presencia de la sal. En cambio *los sulfatos*, *aluminio*, *nitratos* aumentan por la misma razón.

Tabla 5.25 Valores de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa
	2003
pH	7.2
Acidez (mg/L)	54.5
Alcalinidad (mg/L)	74.1
Dureza (mg/L)	170.6
Nitratos (mg/L)	0.3
Sulfatos (mg/L)	28.2
Aluminio (mg/L)	56.6
Hierro (mg/L)	1.4
Amonio (mg/L)	0.02

❖ **Características Orgánicas**

En el proceso de coagulación-floculación-sedimentación de esta planta, *la materia orgánica* es reducida aproximadamente 30%. Esta materia todavía es muy reactiva con el cloro o sus compuestos, lo cual puede originar mayor concentraciones de subproductos de la desinfección sino se elimina más materia orgánica en el proceso de filtración.

Tabla 5.26 Valores de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa
	2003
COT (mg/L)	2.8
COD (mg/L)	2.7
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.05
SUVA (L/mg-cm)	2.0

### 5.4.2.3 Agua Potable

En la última etapa del proceso de potabilización de la planta de Juigalpa se tienen los valores de las características físicas y químicas para tres años 2003, 2006 y 2007. Las características orgánicas no se estudiaron.

#### ❖ Características Físicas

En la Tabla 5.27 se muestran las variaciones de los parámetros físicos, en la cual se observa que la *temperatura*, la *conductividad* y los *STD* han disminuido en estos años. El *color* y la *turbiedad* tienen un comportamiento diferente ya que disminuyen y luego aumentan.

Tabla 5.27 Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Potable en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa		
	2003	2006	2007
Temperatura (°C)	28.0	26.5	24.7
Turbiedad (NTU)	0.7	0.04	1.0
Color (mg/L Pt-Co)	0.4	0.03	1.0
Conductividad (μS/cm)	224.7	190.0	169.0
STD (mg/L)	112.4	131.0	102.0

#### ❖ Características Químicas

Los valores de los parámetros químicos se presentan mediante dos Tablas 5.28 y 5.29. En la Tabla 5.28 se puede ver que el *pH*, *alcalinidad* y *dureza* disminuyeron con el tiempo. En el caso de la *acidez* solo se analizó en el año 2003.

Tabla 5.28 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Juigalpa.

Parámetros	Juigalpa		
	2003	2006	2007
pH	7.2	6.8	6.1
Acidez (mg/L)	42.1	-	-
Alcalinidad (mg/L)	66.5	57.7	14.9
Dureza (mg/L)	170.7	62.0	62.3

En la Tabla 5.28 se muestra que los *nitratos* y *sulfatos* tienden a aumentar con el tiempo. La concentración de *hierro* disminuyó en el 2006 y aumentó posteriormente en el 2007. Para el *aluminio* y *el amonio* solo se tienen datos para el 2003 pero las concentraciones de ambos parámetros disminuyeron en el proceso de filtración en referencia al agua sedimentada.

Tabla 5.29 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Potable en la planta de Juigalpa

Parámetros	Juigalpa		
	2003	2006	2007
Nitratos (mg/L)	0.8	1.1	-
Sulfatos (mg/L)	34.2	34.4	46.2
Aluminio (mg/L)	19.3	-	-
Hierro (mg/L)	1.1	0.2	0.4
Amonio (mg/L)	0.01	-	-

### 5.4.3 PTAP de Camoapa

#### 5.4.3.1 Agua Cruda

##### ❖ Características Físicas

En la Tabla 5.30 se pueden ver como los parámetros de *temperatura* y *turbiedad* aumentaban y luego disminuían durante este periodo. El *color* en cambio tuvo un comportamiento descendente. La *conductividad* fue aumentando, pero en el último año disminuyó. Los *STD* fueron aumentando y después sufrieron una pequeña disminución en el último año de evaluación.

Tabla 5.30 Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Cruda en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa			
	2003	2004	2006	2007
Temperatura (°C)	23.2	25.2	24.7	23.9
Turbiedad (NTU)	52.2	12.3	20.8	8.3
Color (mg/L Pt-Co)	101.2	85.5	78.0	25.0
Conductividad (µS/cm)	121.5	184.6	256.0	178.5
STD (mg/L)	72.9	110.8	139.0	129.0

##### ❖ Características Químicas

Como se observa en la Tabla 5.31 el *pH* y la *acidez* disminuyen, aunque de este último parámetro no se tienen datos para el 2006 y 2007. La *alcalinidad* en cambio tuvo un comportamiento ascendente. La *dureza* al igual que la alcalinidad aumentó, pero sufrió una disminución en el último año de evaluación.

Tabla 5.31 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa			
	2003	2004	2006	2007
pH	7.4	7.2	6.2	6.1
Acidez (mg/L)	18.8	17.8	-	-
Alcalinidad (mg/L)	48.8	70.7	82.7	98.9
Dureza (mg/L)	78.2	88.4	100.1	78.9

El comportamiento de los parámetros químicos: *nitratos*, *sulfatos*, *aluminio*, *hierro* y *amonio* se puede apreciar en la Tabla 5.32. Las concentraciones de *nitratos* aumentaron y después disminuyeron. Las concentraciones de *sulfatos* y *aluminio* al contrario fueron disminuyendo a lo largo de este periodo. Las concentraciones de *hierro* incrementaron. El *amonio* solo se analizó para el año 2003.

Tabla 5.32 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Cruda en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa			
	2003	2004	2006	2007
Nitratos (mg/L)	0.1	5.8	3.7	3.7
Sulfatos (mg/L)	20.2	18.9	12.3	10.0
Aluminio (mg/L)	0.2	0.03	-	-
Hierro (mg/L)	2.2	0.1	4.7	6.5
Amonio (mg/L)	0.04	-	-	-

#### ❖ Características Orgánicas

Los parámetros orgánicos del agua cruda de la planta se presentan en la Tabla 5.33 en la que se puede ver que solo se cuenta con datos del 2003 y 2004. Para estos años los parámetros *COT*, *COD* y *UV<sub>254</sub>* disminuyeron a diferencia de *SUVA* que aumentó su valor.

Tabla 5.33 Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa	
	2003	2004
COT (mg/L)	28.0	13.4
COD (mg/L)	21.3	7.0
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.3	0.2
SUVA (L/mg-cm)	1.4	2.9

#### 5.4.3.2 Agua Sedimentada

##### ❖ Características Físicas

La Tabla 5.34 muestra que los parámetros químicos se comportaron diferentes en cada año. La *temperatura*, *el color* y *la conductividad* aumentaron y luego disminuyeron, volviendo a incrementar en el último año de la evaluación. En cambio la *turbiedad* tuvo un comportamiento opuesto a los anteriores disminuía y después aumentaba durante el mismo periodo. En el caso de los *STD* se puede observar un comportamiento ascendente, pero en el último año disminuyó.

Tabla 5.34 Valores Anuales de las características Físicas del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa			
	2003	2004	2006	2007
Temperatura (°C)	23.1	25.4	24.9	25.3
Turbiedad (NTU)	4.4	3.2	3.4	3.3
Color (mg/L Pt-Co)	15.9	29.8	27.0	29.0
Conductividad (μS/cm)	148.5	210.6	198.2	207.1
STD (mg/L)	89.1	126.0	145.0	124.2

❖ **Características Químicas**

Como se observa en la Tabla 5.35 las variaciones de los *pH* fueron pequeñas en los diferentes años. En cambio la *acidez* disminuyó, no obstante esta solo se presenta para los dos primeros años de estudio. La *alcalinidad* tuvo un comportamiento errático. En cambio la *dureza* iba aumentando, pero en el último año disminuyo ligeramente.

Tabla 5.35 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa			
	2003	2004	2006	2007
pH	7.0	6.7	6.7	6.7
Acidez (mg/L)	26.9	24.0	-	-
Alcalinidad (mg/L)	33.1	44.3	42.0	43.6
Dureza (mg/L)	74.0	79.3	115.8	111.2

Las concentraciones de *nitratos* y *sulfatos* aumentaron y luego disminuyeron, pero en el último año aumentaron (Tabla 5.36). Las concentraciones de *hierro* al contrario de los nitratos y sulfatos disminuían y luego aumentaban. El *aluminio* disminuyó sin embargo solo se estudio en los dos primeros años. Con respecto a las concentraciones de *amonio* solo se analizaron en el 2003.

Tabla 5.36 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa			
	2003	2004	2006	2007
Nitratos (mg/L)	0.3	0.8	0.7	0.8
Sulfatos (mg/L)	31.7	49.4	45.9	48.4
Aluminio (mg/L)	0.8	0.3	-	-
Hierro (mg/L)	0.6	0.06	0.2	0.1
Amonio (mg/L)	0.04	-	-	-

❖ **Características Orgánicas**

Se logra apreciar en la Tabla 5.37 que los parámetros orgánicos para esta etapa en la planta solo se estudiaron en los dos primeros años de la evaluación. Como se puede observar estos últimos disminuyeron en el segundo año. Sin embargo si se hace una comparación con el agua cruda (Tabla 5.33) se nota que estos parámetros sustitutos disminuyeron en la etapa de sedimentación y con el tiempo a excepción del SUVA en el 2004.

Tabla 5.37 Valores de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa	
	2003	2004
COT (mg/L)	10.0	5.9
COD (mg/L)	9.4	2.1
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.2	0.07
SUVA (L/mg-cm)	1.1	5.0

**5.4.3.3 Agua Potable**

❖ **Características Físicas**

La Tabla 5.38 muestra que el valor de *temperatura* sufre un pequeño aumento, pero luego vuelve a su valor inicial. La *turbiedad* en cambio tuvo un comportamiento descendente. La *conductividad* a diferencia de la turbiedad fue ascendiendo. El *color* también aumento, aunque no se encontraron datos para el último año. Con respecto a los *STD* se puede observar su aumento durante estos tres años de estudio.

Tabla 5.38 Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Potable en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa		
	2003	2004	2007
Temperatura (°C)	24.1	25.2	24.1
Turbiedad (NTU)	3.1	0.8	0.6
Color (mg/L Pt-Co)	12.8	24.8	-
Conductividad(μS/cm)	136.7	207.0	211.0
STD (mg/L)	82.0	124.2	128.0

❖ **Características Químicas**

En la Tabla 5.39 se observa que los parámetros de *pH*, *dureza* y *acidez* presentan un comportamiento descendente, aunque la *acidez* no se analizó en el último año, mientras que la *alcalinidad* fue aumentando año con año. Realizando la comparación con la etapa anterior se aprecia la disminución de estos parámetros químicos.

Tabla 5.39 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa		
	2003	2004	2007
pH	7.0	6.8	6.3
Acidez (mg/L)	27.7	24.6	-
Alcalinidad (mg/L)	29.5	40.6	52.9
Dureza (mg/L)	77.0	71.0	64.7

Se aprecia en la Tabla 5.40 que las concentraciones de *nitrato* han aumentado en el periodo de evaluación. Mientras las concentraciones de *sulfatos* incrementaron y luego se redujeron. En cambio las concentraciones de *hierro* descendieron y después aumentaron. En el caso del *amonio* sólo se presentan datos para el año 2003.

Tabla 5.40 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Potable en la planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa		
	2003	2004	2007
Nitratos (mg/L)	0.3	0.7	1.0
Sulfatos (mg/L)	29.6	56.6	33.3
Aluminio (mg/L)	0.3	0.1	-
Hierro (mg/L)	0.4	0.03	0.2
Amonio (mg/L)	0.04	-	-

❖ **Características Orgánicas**

En la Tabla 5.41 se muestran los valores de los parámetros orgánicos para el año 2004.

Tabla 5.41 Valores de las Características Orgánicas del Agua Potable en la Planta de Camoapa.

Parámetros	Camoapa
	2004
COT (mg/L)	4.7
COD (mg/L)	1.2
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.07
SUVA (L/mg-cm)	6.3

#### 5.4.4 PTAP de Boaco

##### 5.4.4.1 Agua Cruda

###### ❖ Características Físicas

Los parámetros *turbiedad* y *color* han disminuido a lo largo de los años en las aguas del Río Fonseca, el cual abastece a la PTAP de Boaco. En cambio la *conductividad* ha aumentado. Con respecto a los *Sólidos Totales Disueltos (STD)* aumentaban, y después disminuían. La *temperatura* mostró un aumento y decrecimiento en los años evaluados.

Tabla 5.42 Valores Anuales de las Características Físicas del Agua Cruda en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
Temperatura (°C)	23.6	25.5	24.0	24.0
Turbiedad (NTU)	35.9	10.7	9.9	5.0
Color (mg/L Pt-Co)	101.5	60.5	25.1	57.0
Conductividad (μS/cm)	222.6	229.0	275.3	306.0
STD (mg/L)	133.6	137.4	131.7	166.0

###### ❖ Características Químicas

En la Tabla 5.43 se puede apreciar que la *alcalinidad* aumentó en los primeros tres años, pero en el último año decreció. En cambio la *acidez* presentó un comportamiento ascendente aunque solo se estudió en los dos primeros años. El parámetro *pH* en cambio decreció en el segundo año, aumento y luego volvió a disminuir en el último año evaluado. La *dureza* solo se estudió en tres años y como se observa en el segundo año disminuyó y en el último aumentó.

Tabla 5.43 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Cruda en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
pH	8.0	7.5	7.9	7.5
Acidez (mg/L)	30.8	25.4	-	-
Alcalinidad (mg/L)	101.0	106.7	136.6	121.5
Dureza (mg/L)	148.4	80.0	-	82.6

Como se puede apreciar en la Tabla 5.44 los parámetros *aluminio* y *hierro* revelaron un comportamiento descendente. En cambio los *nitratos* y *sulfatos* disminuyeron y luego incrementaron en el último año de la evaluación. Las concentraciones de *manganeso* (0.5 mg/L) fueron analizadas únicamente en el año 2004. Otro parámetro estudiado fue el *amonio*, el cual tuvo un comportamiento descendente y como se puede ver solo se analizó en dos años (2003 y 2006).

Tabla 5.44 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio y Hierro del Agua Cruda en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
Nitratos (mg/L)	4.4	4.4	-	50.0
Sulfatos (mg/L)	11.8	5.0	-	10.0
Aluminio (mg/L)	1.6	0.03	0.04	-
Hierro (mg/L)	1.0	0.5	0.3	0.3
Amonio (mg/L)	0.4	-	0.1	-

#### ❖ Características Orgánicas

Los parámetros orgánicos se estudiaron para tres años. El *COT*, *COD* y *UV<sub>254</sub>* presentaron una disminución en el segundo año y para el último año incrementaron. En cambio el *SUVA* presentó un incremento y luego sufrió una disminución.

Tabla 5.45 Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Cruda en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco		
	2003	2004	2006
COT (mg/L)	15.5	3.9	7.2
COD (mg/L)	9.6	1.2	8.3
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.1	0.06	0.07
SUVA (L/mg-cm)	1.3	5.0	0.8

#### 5.4.4.2 Agua Sedimentada

##### ❖ Características Físicas

En la Tabla 5.46 se puede observar como la *temperatura* variaba en su comportamiento, ya que aumentaba y luego decrecía. También se logra mostrar como a venido aumentando la *conductividad*. En cambio el *color* fue disminuyendo. La *turbiedad* también presentó una disminución, pero en el último año aumentó considerablemente. *Los sólidos totales disueltos (STD)* incrementaron año con año.

Tabla 5.46 Valores Anuales de las Características Físicas de Agua Sedimentada en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
Temperatura (°C)	23.3	26.1	24.6	25.2
Turbiedad (NTU)	5.4	2.0	1.2	7.5
Color (mg/L Pt-Co)	10.0	8.5	6.6	1.1
Conductividad (μS/cm)	197.4	215.4	287.0	350.0
STD (mg/L)	118.4	129.2	135.8	166.0

❖ **Características Químicas**

Se puede apreciar que el *pH* y al *alcalinidad* presentaron disminución e incrementos en los años evaluados (Tabla 5.47). Los parámetros *acidez* y *dureza*, aunque solo se estudiaron en los dos primeros años, presentaron una disminución de su concentración.

Tabla 5.47 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Sedimentada en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
pH	7.4	7.0	7.2	7.1
Acidez (mg/L)	32.0	28.5	-	-
Alcalinidad (mg/L)	72.5	87.1	81.6	81.5
Dureza (mg/L)	147.9	73.9	-	-

El *hierro* presentó una disminución (Tabla 5.48), pero en el último año incrementó un poco. En cambio las concentraciones de *sulfatos* y *aluminio* mostraron una disminución, pero después incrementaron. Las concentraciones de *nitratos* como se puede observar incrementaron en el segundo año de evaluación, pero en el último año evaluado disminuyeron. Las concentraciones de amonio disminuyeron aunque solo se estudiaron en dos años (2003 y 2004). Otro parámetro estudiado es el manganeso (0.2 mg/L) pero solo en el primer año de esta evaluación.

Tabla 5.48 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aluminio, Hierro y Amonio del Agua Sedimentada en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
Nitratos (mg/L)	1.7	2.4	-	1.6
Sulfatos (mg/L)	31.2	16.3	-	21.8
Aluminio (mg/L)	1.9	0.07	0.3	-
Hierro (mg/L)	0.2	0.1	0.004	0.03
Amonio (mg/L)	0.2	0.2	-	-

❖ **Características Orgánicas**

En la Tabla 5.49 se puede apreciar que el parámetro *COT* fue incrementando anualmente. En cambio el *UV<sub>254</sub>* y el *SUVA* exhibieron un comportamiento variado, incrementando y disminuyendo después. El parámetro sustituto *COD*, mostró una disminución y luego un incremento durante los años estudiados.

Tabla 5.49 Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Sedimentada en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco		
	2003	2004	2006
COT (mg/L)	4.5	5.0	5.4
COD (mg/L)	5.2	1.8	6.5
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.04	0.08	0.05
SUVA (L/mg-cm)	1.3	4.6	0.7

#### 5.4.5 Agua Potable

##### ❖ Características Físicas

En la Tabla 5.50 se puede apreciar como ha venido aumentando el parámetro *conductividad* y los *sólidos totales disueltos (STD)* a lo largo de los años. En cambio el *color* exhibió aumento y disminución durante los años evaluados. La *turbiedad* presentó una disminución. La *temperatura* como se aprecia en la tabla aumentó y luego decreció.

Tabla 5.50 Valores Anuales de las Características Físicas de Agua Potable en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
Temperatura (°C)	23.4	26.1	24.3	23.0
Turbiedad (NTU)	3.6	2.0	1.0	0.3
Color (mg/L Pt-Co)	7.2	8.5	4.2	16.0
Conductividad (μS/cm)	197.1	215.4	295.0	359.0
STD (mg/L)	119.5	135.4	138.2	214.0

##### ❖ Características Químicas

La variación del *pH* a través de los años es mínima en cambio la *acidez* disminuyó, en los dos años que se analizó. La *alcalinidad* tuvo un comportamiento ascendente. La *dureza* disminuyó y luego volvió a aumentar.

Tabla 5.51 Valores Anuales de las Características Químicas del Agua Potable en la planta de Boaco

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
pH	7.20	7.0	7.4	7.2
Acidez (mg/L)	29.5	19.6	-	-
Alcalinidad (mg/L)	77.9	89.1	82.4	109.6
Dureza (mg/L)	151.3	66.9	-	121.1

Las concentraciones de *nitratos* y *sulfatos* no se analizaron en el año 2006, pero su comportamiento fue ascendente. Las concentraciones de *hierro*, *amonio* y *aluminio* fueron disminuyendo a lo largo de los años (Tabla 5.52). Otro parámetro estudiado fue el *manganeso* (0.1 mg/L), pero solo en primer año de la evaluación.

Tabla 5.52 Valores Anuales de Nitratos, Sulfatos, Aliminio, Hierro y Amonio del Agua Potable en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco			
	2003	2004	2006	2007
Nitratos (mg/L)	0.7	2.9	-	3.7
Sulfatos (mg/L)	32.3	13.3	-	48.3
Aluminio (mg/L)	1.7	0.1	0.2	-
Hierro (mg/L)	0.2	0.1	0.08	0.08
Amonio (mg/L)	0.2	-	0.1	-

#### ❖ Características Orgánicas

En la Tabla 5.53 se muestra que los valores de los parámetros sustitutos *COT* y *COD* fueron aumentando durante este periodo a diferencia de los parámetros *UV<sub>254</sub>* y *SUVA* que presentaron un comportamiento ascendente, pero luego disminuyeron.

Tabla 5.53 Valores Anuales de las Características Orgánicas del Agua Potable en la planta de Boaco.

Parámetros	Boaco		
	2003	2004	2006
COT (mg/L)	1.7	4.3	5.4
COD (mg/L)	1.3	1.8	5.2
UV <sub>254</sub> (1/cm)	0.02	0.07	0.02
SUVA (L/mg-cm)	1.6	3.7	0.4

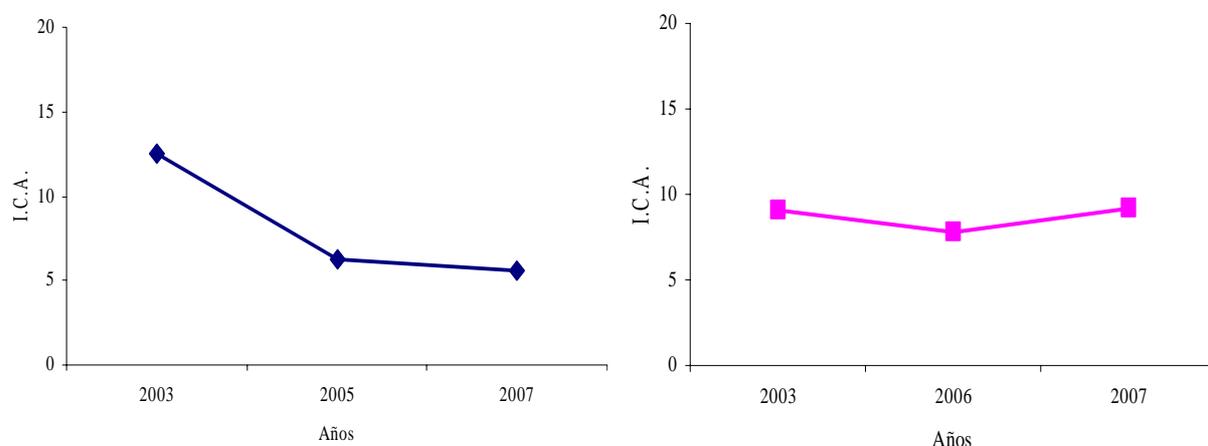
La tendencia en el comportamiento de los distintos parámetros del agua cruda a lo largo del periodo de estudio fue un poco errático en las diferentes PTAP lo que puede deberse a los diferentes tipos de invierno que se tienen en Nicaragua que estuvieron en dependencia de fenómenos climáticos como el Niño en el año 2003 el cual fue un invierno muy pobre, en cambio el año 2007 las lluvias fueron abundantes.

## 5.5 Cálculo de los Índices de Calidad para el Agua Cruda

Las siguientes figuras muestran los índices de calidad para cada planta agrupadas según la región donde se ubican.

En la Figura 5.14 se observa que el ICA del río Quibor que abastece a la PTAP de Santo Tomás ha venido disminuyendo a lo largo de los años debido a las actividades agropecuarias de la zona. La figura también muestra que el índice de calidad para el río Pirre que suministra agua a la planta de Juigalpa, tuvo un pequeño descenso en el año 2006, causado por los vertidos domésticos de la ciudad, que incrementaron los sólidos totales disueltos y nitratos.

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región Boaco-Chontales*



5.14 Índices de la Calidad del Agua Cruda para Santo Tomás (izq.) y Juigalpa (der).

La Figura 5.15 muestra que el comportamiento de los índices de calidad para la fuente abastecedora de la planta de Camoapa (río Mombachito) disminuyó en los años 2004 y 2007 esto correspondió a las lluvias constantes para estos años que arrastraron material en suspensión y parte del manto terrestre ocasionando un aumento en los parámetros como el color, STD, alcalinidad, dureza y nitratos. Además se observa el índice de calidad del río Fonseca, que abastece a la planta de Boaco, ha venido reduciendo, pero en el último año aumento el doble.

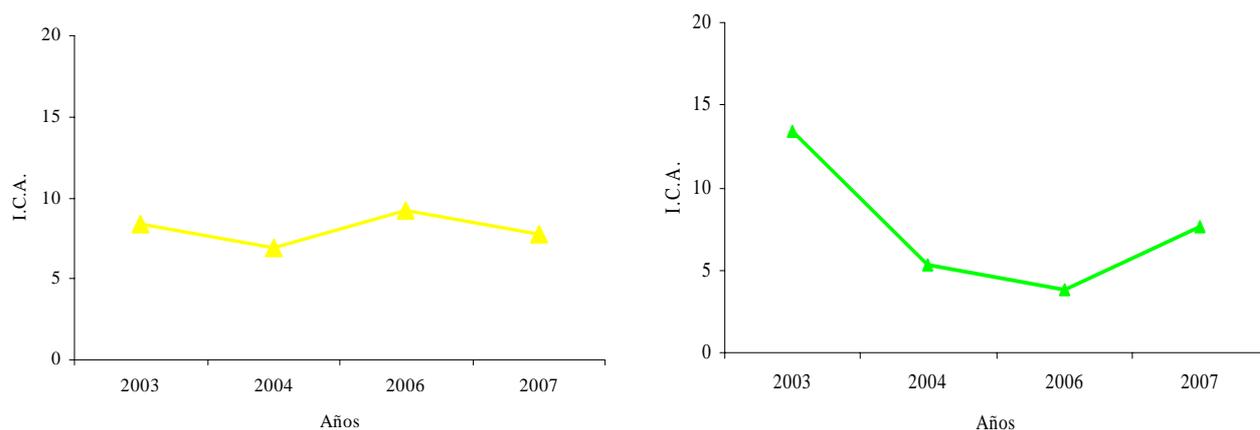


Figura 5.15 Índices de la Calidad del Agua Cruda para Camoapa y Boaco

Como se aprecia en las figuras anteriores todas las fuentes de las distintas plantas se encuentran están por debajo de 20 en un rango 0 a 40 y de acuerdo a la Figura 3.2 y a la Tabla 3.3, estas fuente se clasifican como contaminadas en exceso por lo que se concluye que las aguas provenientes de las distintas fuentes abastecedoras en cada planta son inaceptables para consumo humano y necesitan de un previo de tratamiento para poder convertir estas aguas en agua potable.

Las ponderaciones para cada parámetro analizado se presentan en la Tabla 5.54. Los cálculos de los Índices de Calidad se realizaron en base a la Ecuación 3.4, donde la suma de todos los parámetros analizados debe ser uno.

Tabla 5.54 Datos Ponderados de cada Parámetro para el cálculo de ICA.

<b>Parámetros Físicos</b>	<b>w<sub>i</sub></b>
Temperatura (°C)	0.043
Turbiedad (NTU)	0.058
Color (mg/L Pt-Co)	0.063
Conductividad (µS/cm)	0.068
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	0.048
<b>Parámetros Químicos</b>	
pH	0.063
Alcalinidad (mg /L)	0.055
Dureza (mg /L)	0.058
Nitratos (mg/L)	0.053
Sulfatos (mg/L)	0.068
Aluminio (mg/L)	0.093
Hierro (mg/L)	0.083
Amonio (mg/L)	0.068
<b>Parámetros Orgánicos</b>	
TOC (mg/L)	0.076
DOC (mg/L)	0.103
<b>Total</b>	<b>1</b>

A continuación se muestran los resultados anuales de ICA de cada fuente de agua. En la cual para el 2007 el río que presentó el mayor valor es decir “menos contaminación” es el Río Pirre en Juigalpa, seguido del Río Mombachito en Camoapa, Río Fonseca en Boaco y finalmente el Río Quipor en Santo Tomás el cual está más contaminado.

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región Boaco-Chontales*

Tabla 5.55 Resultados Anuales de los ICA para cada planta.

<b>Años</b>	<b>PTAP</b>			
	<b>Santo Tomás</b>	<b>Juigalpa</b>	<b>Camoapa</b>	<b>Boaco</b>
2003	12.5	9.1	8.4	13.4
2004	-	-	6.9	5.4
2005	6.3	-	-	-
2006	-	7.8	9.2	3.8
2007	5.6	9.1	7.7	7.6

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

En este capítulo se muestran las conclusiones que se obtuvieron en este trabajo, éstas se presentan de acuerdo al tipo de agua estudiada.

##### ❖ Agua Cruda

La calidad de las fuentes abastecedoras es considerada baja debido a que éstas presentaron valores muy altos de *color*, *turbiedad*, *dureza*, *aluminio*, *materia orgánica* y una gran cantidad de *coliformes fecales*. Cabe mencionar que la planta de Santo Tomás es la que recibe el agua cruda más contaminada, seguida de Juigalpa, Camoapa y Boaco. Esto fue corroborado al estimar los Índices de Calidad para cada fuente abastecedora

##### ❖ Agua Sedimentada

En el agua sedimentada, los porcentajes de remoción teóricos de *turbiedad* y *color* para las plantas de la región Chontales no fueron alcanzados. Asimismo los porcentajes de remoción de materia orgánica fueron menores en estas plantas potabilizadoras que en las plantas del departamento de Boaco.

##### ❖ Agua Filtrada

Las unidades filtradoras están teniendo problemas de limpieza, ya que tres de las cuatro plantas no cumplieron con los porcentajes de remoción teóricos para los distintos parámetros evaluados.

❖ **Agua Potable**

De acuerdo con las norma CAPRE, ninguna de las plantas presentó una calidad de agua completa, Sin embargo el cumplimiento de la calidad del agua potable de las distintas PTAP con estas normativas es el siguiente de mayor a menor: Camoapa, Santo Tomás, Juigalpa y Boaco.

## **6.2 Recomendaciones**

- ❖ Todas las PTAP evaluadas necesitan realizar programas de monitoreo completos, es decir no sólo los parámetros físicos sino también los parámetros químicos y bacteriológicos a sus respectivas fuentes abastecedoras. Así conocerán previamente la calidad del agua cruda que está entrando a las plantas y podrán corregir a tiempo algunos problemas. Este monitoreo deberá además realizarse después del proceso de sedimentación y filtración.
- ❖ Implementar planes de protección y conservación a las cuencas para evitar el deterioro, previniendo la contaminación y protegiendo a éstas para que haya más disponibilidad de agua y mejor calidad en las distintas fuentes abastecedoras. Esto podría mejorar el funcionamiento de los sedimentadores y filtros. A la vez realizar campañas en contra de los vertidos domésticos, agrícolas e industriales.
- ❖ Realizar mayores análisis para las características químicas ya que en la actualidad ENACAL e INAA realizan cuatro análisis por año. También efectuar monitoreos en cada planta para el contenido de TOC en agua cruda y contenido de THMs presentes en el agua tratada
- ❖ Realizar limpiezas con mayor frecuencia en las unidades sedimentadoras, floculadoras y filtradoras, principalmente en los filtros, los cuales presentan problemas en cuanto a remoción en todas las plantas estudiadas; de esta manera aumentar la eficiencia de éstos y evitar recontaminar el agua que ya ha sido tratada previamente.
- ❖ Evitar la sobre-cloración llevando un control más ordenado en la dosificación de este, para evitar irritación en la mucosa del estomago y la formación de Subproductos como los THMs y por ende brindar un agua más segura a la población.

## **REFERENCIAS**

Altamirano, A.A. y Núñez, J.C. (2004). Evaluación de la eficiencia entre Sulfato de Aluminio y Cloruro de Hierro en el proceso de Coagulación Mejorada para la Remoción de Precursores del Proceso de Desinfección en la PTAP de Camoapa. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química, Recinto Universitario Simón Bolívar. UNI-FIQ-RUSB. Managua, Nicaragua, C.A.

Álvarez, R.A. y Marín, L.F. (2006). Caracterización del tipo y tamaño de partícula que más influye en la Formación de Trihalometanos. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química, Recinto Universitario Simón Bolívar. UNI-FIQ-RUSB. Managua, Nicaragua, C.A.

Buiteman, J. (1995). Water Treatment Handout. International Institute of Hydraulic and Sanitary Engineering. IHE. Delft, The Netherlands.

Castro, S.M. y Gutiérrez, M. (2004). Evaluación de las Modificaciones de cuatro Factores que influyen en la Formación de Subproductos de la Desinfección después de la aplicación de Coagulación Mejorada al Agua Cruda. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química, Recinto Universitario Simón Bolívar. UNI-FIQ-RUSB. Managua, Nicaragua, C.A.

CAPRE. (2000). Normativa Regional de Agua de Consumo Humano y Saneamiento para America Central y el Caribe. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado.

Dinius, S.H. (1987). Design of a Water Quality Index. W.R. Bulletin. 23(5), 833-843.

Edzwald, J. y Tobiason J. (1999). Enhanced coagulation: US requirements and a broader view. *J. of Water Science and Technology*. 40(9), 63-70.

Gutiérrez, L. y Medrano, J. (2003). Remoción de los Precursores de los Subproductos de la Desinfección en la PTAP de la ciudad de Boaco usando la Coagulación Mejorada. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química, Recinto Universitario Simón Bolívar. UNI-FIQ-RUSB. Managua, Nicaragua, C.A.

Instituto Nicaragüense de Censos (INEC). (2005), Censo Nacional.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2008). Reporte Meteorológico.

Leon, L.F. (1991), Índice de Calidad del Agua, ICA. Informe No. SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. pp 36.

Matus, R.A. (2003). Disminución de los Subproductos de la Desinfección en la PTAP de Santo Tomas-Chontales a través de la Coagulación Reforzada ó Mejorada. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química, Recinto Universitario Simón Bolívar. UNI-FIQ-RUSB. Managua, Nicaragua, C.A.

Mendoza, C.F. y Morazán E. (2003). Remoción de Trihalometanos como Subproductos del Proceso de Desinfección utilizando Coagulación Mejorada en la PTAP de Juigalpa. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química, Recinto Universitario Simón Bolívar. UNI-FIQ-RUSB. Managua, Nicaragua. C.A.

Organización Mundial de la salud (OMS). (1997). Guías para la calidad del Agua Potable, 2<sup>da</sup> Edición.

Rodríguez, R.A. y López, Y. (2004). Evaluación de las modificaciones de cuatro factores que influyen en la Formación de Trihalometanos y Ácidos Haloacéticos en la Planta de Boaco a nivel de laboratorio. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región  
Boaco-Chontales para el periodo de tiempo  
2003-2007.*

---

Ingeniería Química, Recinto Universitario Simón Bolívar. UNI-FIQ-RUSB. Managua, Nicaragua, C.A.

Romero, J. (1999). Calidad del agua. 1<sup>ra</sup> Edición. Editorial ALFAOMEGA, México D.F, México.

Romero, J. (1985). Potabilización del agua. 2<sup>da</sup> Edición. Editorial Alfa Omega. Colombia.

Standard Method for Water and Wastewater Examination. (1998). 20<sup>th</sup> Edition. Editada por American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environmental Federation. USA.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1999). Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual. United States. Office of Water. EPA 815-R-99-012.

Weiner, E.R. (2000). Applications of Environmental Chemistry. A Practical Guide for environmental. Editorial CRC Press. Boca Ratón, Florida; USA

### **Sitios Web Visitados**

- <http://www.onu.org.ni/noticia?idnoticia=200>
- <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/coagulacion-floculacion.htm>

## ANEXOS

### ANEXO A: Normas para Aguas de Consumo Humano

**Tabla A.1 Parámetros Bacteriológicos.**

Coliformes Fecales	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Todo tipo de agua de bebida	Negativo	Negativo
Agua que entra al sistema de distribución	Negativo	Negativo
Agua en le sistema de distribución	Negativo	Negativo

*Nota: La bacteria coliforme total no es un indicador aceptable de la calidad sanitaria de acueductos rurales, particularmente en áreas tropicales muchas bacterias sin significado sanitario se encuentran en la mayoría de acueductos sin tratamiento. El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la E. Coli.*

**Tabla A.2 Parámetros Organolépticos.**

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color Verdadero	mg/L (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	NTU	1	5
Olor	Factor Dilución	0	-
Sabor	Factor Dilución	0	-

**Tabla A.3 Parámetros Físico-Químicos.**

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	°C	18 a30	-
Iones Hidrógeno	-	6.5 a 8.5 a)	-
Cloro Residual	mg/L	0.5 a 1.0 b)	c)
Cloruros	mg/L	25	250
Conductividad	µS/cm	-	400
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-	400
Sulfatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	25	250
Aluminio	mg/L	-	0.2
Calcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-	100
Cobre	mg/L	10	2.0
Magnesio	mg/L	30	50
Sodio	mg/L	25	200
Potasio	mg/L	-	10
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	-	1000
Zinc	mg/L	-	3

a) Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustaciones en los acueductos.

b) Cloro Residual libre.

c) 5 mg/L con base a evidencias científicas, las cuales han demostrado que este valor residual no afecta la salud. Por otro lado cada país deberá tomar en cuenta los aspectos económicos y organizativos en la interpretación de este valor.

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región  
Boaco-Chontales para el periodo de tiempo  
2003-2007.*

**Tabla A.4 Parámetros para Sustancias no Deseadas.**

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	mg/L	25	50
Nitritos(NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> )	mg/L	-	(*)
Amonio	mg/L	0.05	0.5
Hierro	mg/L	-	0.3
Manganeso	mg/L	0.1	0.5
Fluoruro	mg/L	-	0.7-1.5 (**)
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	-	0.05

(\*)Nitritos: Valor máximo admisible 0.1 ó 3.0

(\*\*) 1.5 mg/L para temperatura entre 8 a 12° C

0.7 mg/L para temperatura entre 25 a 30° C

V.R: Valor recomendado

$$\frac{[NO_3]}{V.R.NO_3} + \frac{[NO_2]}{V.R.NO_2}$$

**Tabla A.5 Parámetros para Sustancias Inorgánicas Significativas para la Salud.**

Parámetros	Unidad	Valor Máximo Admisible
Arsénico	mg/L	0.01
Cadmio	mg/L	0.05
Cianuro	mg/L	0.05
Cromo	mg/L	0.05
Mercurio	mg/L	0.001
Níquel	mg/L	0.05
Plomo	mg/L	0.01
Antimonio	mg/L	0.05
Selenio	mg/L	0.01

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región  
Boaco-Chontales para el periodo de tiempo  
2003-2007.*

**ANEXO: B.Datos Evaluados en las Distintas Etapas del Tratamiento**

TABLA B.1. PROMEDIO ANUAL PARA AGUA CRUDA																						
PTAP	Santo Tomás					Juigalpa					Camoapa					Boaco						
Años	2003	2005	2007	X	S	2003	2006	2007	X	S	2003	2004	2006	2007	X	S	2003	2004	2006	2007	X	S
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>																						
Temperatura (°C)	25.2	22.8	22	23.33	1.665333	26.5	28.2	25.8	26.83	1.2342339	23.21	25.2	24.7	23.9	24.25	0.877321	23.6	25.5	23.97	24	24.2675	0.841561
Turbiedad (NTU)	24.6	15.8	7	15.80	8.8	29.1	20.8	83.3	44.40	33.943041	52.19	12.3	20.8	8.34	23.40	19.88741	35.9	10.66	9.9	5.02	15.37	13.91292
Color (mg/L Pt-Co)	113.7	87.8	62	87.82	25.83001	60.8	31	139	76.92	55.785489	101.20	85.5	78	25	72.42	33.05744	101.5	60.5	25.08	57	61.02	31.34084
Conductividad (µS/cm)	187.4	206.7	226	206.70	19.3	202	180	154	178.67	24.027762	121.50	184.6	256	178.5	185.15	55.1228	222.6	229	275.3	306	258.233	39.57387
STD (mg/L)	131.8	144.7	172	149.49	20.53004	101	184	105	130.00	46.808119	72.90	111	139	129	112.92	29.12615	133.6	137.4	131.7	166	142.158	16.07279
<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>																						
pH	7.17	7.07	6.96	7.07	0.10504	7.85	8.2	7.3	7.78	0.4536886	7.40	7.2	6.17	6.08	6.71	0.68427	8	7.46	7.85	7.46	7.6925	0.275363
Acidez (mg/L)	29.6	-	-	29.60		43.6	-	-	43.62		18.80	17.8	-	-	18.31	0.692965	30.8	25.35	-	-	28.075	3.853732
Alcalinidad (mg/L)	119.6	112	114.4	112.00	2.4	101	86.5	50	79.25	26.382996	48.80	70.7	82.7	98.9	75.28	21.09531	101	106.7	136.4	121.5	116.393	15.86892
Dureza (mg/L)	235.8	186.6	137.3	186.57	49.265	180.3	47.90	66.70	98.31	71.656406	78.20	88.4	100.1	78.9	86.40	10.24923	148.4	75.94	-	82.6	102.313	40.0509
Nitratos (mg/L)	1.6	-	-	-	-	0.04	5.78		2.91	4.0580858	0.10	5.75	3.67	3.67	3.30	2.346364	4.43	4.39	-	50	19.6067	26.32141
Sulfatos (mg/L)	10.4	-	-	10.41	-	10.1	24.2	18.8	17.69	7.124755	20.20	18.9	12.27	10	15.35	4.979166	11.8	5	-	10	8.93333	3.523256
Aluminio (mg/L)	0.28	-	-	0.28	-	10.8	-		10.78		0.20	0.03	-	-	0.12	0.120208	1.64	0.025	0.04		0.56833	0.928121
Hierro (mg/L)	0.96	0.72	0.8	0.72	0.2395	2.25	-	6.46	4.36	2.9769195	2.20	0.1	4.7	6.51	3.83	3.211158	1.03	0.46	0.33	0.3	0.53	0.34049
Manganeso (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0	-	-	0.00	0.000163	0	0.45	-	-	0.225	0.318198
Bromuro (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amonio (mg/L)	0.96	-	-	0.96	-	0.09	-	-	0.09	-	0.04	-	-	-	0.04	-	0.44	-	0.13	-	0.285	0.219203
<b>PARÁMETROS ORGÁNICOS</b>																						
TOC (mg/L)	27	-	-	26.96	-	3.9	-	-	3.90	-	27.96	13.4	-	-	20.68	-	15.5	3.93	7.16	-	8.86333	5.970112
DOC (mg/L)	24	-	-	23.99	-	3.64	-	-	3.64	-	21.29	7	-	-	14.15	-	9.56	1.23	8.34	-	6.37667	4.498692
UV-254 (l/cm)	0.37	-	-	0.37	-	0.07	-	-	0.07	-	0.30	0.16	-	-	0.23	-	0.143	0.063	0.067	-	0.091	0.045078
SUVA (L/mg*cm)	1.53	-	-	1.53	-	1.89	-	-	1.89	-	1.43	2.89	-	-	2.16	-	1.33	4.96	0.808	-	2.366	2.261581
<b>PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>																						
Coliformes Fecales	INCONTABLES					INCONTABLES					INCONTABLES					INCONTABLES						

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región  
Boaco-Chontales para el periodo de tiempo  
2003-2007.*

TABLA B.2. PROMEDIO ANUAL PARA AGUA SEDIMENTADA														
PTAP	Santo Tomás	Juigalpa	Camoapa						Boaco					
Años	2003	2003	2003	2004	2006	2007	X	S	2003	2004	2006	2007	X	S
PARÁMETROS FÍSICOS														
Temperatura (°C)	25.2	26.12	23.1	25.4	24.9	25.27	24.6675	1.06625122	23.3	26.08	24.58	25.17	24.7825	1.165114444
Turbiedad (NTU)	2.4	1.5	4.4	3.2	3.44	3.26	3.575	0.55937465	5.35	2	1.2	7.52	4.0175	2.946844357
Color (mg/L Pt-Co)	9.13	3.962	15.9	29.8	27.02	29	25.43	6.4598968	10.04	8.47	6.58	1.07	6.54	3.911410658
Conductividad (µS/cm)	206.8	204	148.5	210.6	198.18	207.06	191.085	28.86666884	197.4	215.35	287	350	262.4375	70.04193238
STD (mg/L)	144.76	102	89.1	126.03	145	124.24	121.0925	23.3050372	118.44	129.21	135.83	166	137.37	20.38773324
PARÁMETROS QUÍMICOS														
pH	7.05	7.2	7	6.65	6.73	6.67	6.7625	0.16194135	7.37	7.005833	7.17	7.06	7.151458333	0.160909416
Acidez (mg/L)	34.6	54.5	26.9	24.02			25.46	2.03646753	32.04	28.47917			30.25958333	2.517889397
Alcalinidad (mg/L)	77.54	74.075	33.1	44.25	42.03	43.61	40.7475	5.18300026	72.5	87.055	81.59	81.46	80.65125	6.027332709
Dureza (mg/L)	277.79	170.6	74	79.3	115.8	111.18	95.07	21.4623919	147.9	73.88333		88.82	103.5344444	39.14080853
Nitratos (mg/L)	0.21	0.27	0.3	0.79	0.7	0.776	0.6415	0.23107502	1.65	2.38		1.47	1.833333333	0.481905938
Sulfatos (mg/L)	34.07	28.15	31.7	49.44	45.9	48.43	43.8675	8.24718689	31.2	16.315		21.84	23.11833333	7.524387572
Aluminio (mg/L)	0.35	56.61	0.8	0.26			0.53	0.38183766	1.89	0.065	0.278		0.744333333	0.997875911
Hierro (mg/L)	0.1	1.39	0.6	0.06	0.17	0.096	0.2315	0.24989798	0.23	0.139167	0.004	0.034	0.101791667	0.103268562
Manganeso (mg/L)			0	0.00012			0.00012	8.4853E-05	0	0.220833			0.110416667	0.156152748
Bromuro (mg/L)														
Amonio (mg/L)	0.38	0.02	0.03				0.03		0.194		0.15		0.172	0.031112698
PARÁMETROS ORGÁNICOS														
TOC (mg/L)	5.45	2.8	10	5.88			7.94	2.91327994	4.53	4.986667	5.36		4.958888889	0.415696649
DOC (mg/L)	4.35	2.65	9.43	2.05			5.74	5.21844805	5.19	1.770833	6.52		4.493611111	2.449972269
UV-254 (l/cm)	0.07	0.052		0.07			0.07		0.04	0.0775	0.048		0.055166667	0.019750527
SUVA (L/mg-cm)	1.76	1.96		5			5		1.25	4.625	0.742		2.205666667	2.110544085
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS														
Coliformes Fecales	INCONTABLES	INCONTABLES	INCONTABLES						INCONTABLES					

*Evaluación de la Calidad del Agua Potable en Cuatro Plantas Potabilizadoras de la Región  
Boaco-Chontales para el periodo de tiempo  
2003-2007.*

TABLA B.3. PROMEDIO ANUAL PARA AGUA POTABLE= AGUA FILTRADA																						
PTAP	Normas CAPRE	Santo Tomás					Juigalpa					Camoapa					Boaco					
Años		2003	2005	2007	X	S	2003	2006	2007	X	S	2003	2004	2007	X	S	2003	2004	2006	2007	X	S
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>																						
Temperatura (°C)	18-30°C	25.2	23.75	22.3	23.75	1.45	28	26.5	24.7	26.4	1.65	24.1	25.2	24.1	24.47	0.63	23.43	26.5	24.3	23	24.31	1.55
Turbiedad (NTU)	5	0.6	0.446	0.292	0.446	0.154	0.707	0.041	1	0.5827	0.49	3.1	0.8	0.57	1.49	1.399	3.6	0.83	0.97	0.29	1.42	1.48
Color (Pt_Co)	15	2.13	12.165	19	11.09	8.48	0.36	0.032	1	0.464	0.49	12.8	24.8		18.8	8.48	7.17	3.67	4.17	16	7.75	5.71
Conductividad (µS/cm)	400	313.2	280.1	247	280.1	33.1	224.7	190	169	194.57	28.12	136.7	207	211	184.9	41.79	199.1	225.7	295	359	269.1	71.9
SST(mg/L)	1000	187.9	85.5	171	148.13	54.89	112.4	131	102	115.12	14.69			128	128		119.5	135.4	138	214	151.77	42.3
<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>																						
pH	6.5-8.5	6.85	6.74	6.63	6.74	0.11	7.18	6.75	6.09	6.6733	0.54	7	6.75	6.27	6.673	0.37	7.2	7.04	7.35	7.21	7.2	0.12
Acidez (mg/L)	No Específica	39	19.5		29.25	13.78	42.12			42.12		27.7	24.6		26.13	2.22	29.5	19.58			24.54	7.0
Alcalinidad (mg/L)	No Específica	63.3	75.75	91.5	76.85	14.13	66.5	57.7	14.9	46.367	27.60	29.5	40.6	52.9	40.98	11.70	77.9	89.12	82.4	110	89.74	14.0
Dureza (mg/L)	400	241	183.85	100.1	175.2	70.86	170.7	62	62.3	98.333	62.67	77	71	64.7	70.91	6.15	151.3	66.87		120	112.7	42.6
Nitratos (mg/L)	25	0.33	2.005	3.68	2.01	1.675	0.77	1.13		0.95	0.25	0.3	0.68	0.97	0.65	0.33	0.72	2.91		3.68	2.43	1.53
Sulfatos (mg/L)	25-250	40.59	39.055	37.52	39.05	1.535	34.24	34.37	46.2	38.257	6.84	29.6	56.6	33.26	39.81	14.62	32.3	13.28		48.3	31.3	17.54
Aluminio (mg/L)	0.2	0.35	0.175		0.262	0.123	19.34			19.34		0.3	0.1		0.2	0.14	1.71	0.062	0.24		0.67	0.90
Hierro (mg/L)	0.3	0.09	0.0865	0.083	0.086	0.004	1.05	0.18	0.36	0.53	0.46	0.4	0.03	0.146	0.192	0.18	0.17	0.063	0.01	0.08	0.08	0.06
Manganeso (mg/L)	No Específica												0		2E-04			0.129			0.12	
Bromuro (mg/L)	No Específica	0.8	0.4		0.6	0.282	2.58			2.58												
Amonio (mg/L)	0.05	0.43	0.18		0.305	0.176	0.01			0.01		0.04			0.04		0.192		0.14		0.16	0.16
Cloro residual (mg/L)	0.5-1						1.75			1.75		0.7			0.7		4.4	2.38	0.35		2.3	2.03
THMs (mg/L)	0.46				0.085		0.11			0.1098					0.07		0.034	0.31	0.17		0.17	0.13
<b>PARÁMETROS ORGÁNICOS</b>																						
TOC (mg/L)	No Específica	3.13	1.565		2.34	1.106							4.7		4.7		1.72	4.26	5.4		3.7	1.88
DOC (mg/L)	No Específica	2.1	1.05		1.57	0.742							1.2		1.2		1.27	1.771	5.18		2.74	2.12
UV-254 (mg/L)	No Específica	0.03	0.015		0.02	0.011							0.07		0.07		0.023	0.067	0.02		0.03	0.03
SUVA (mg/L cm-1)	No Específica	2.07	1.035		1.55	0.73							6.32		6.32		1.62	3.666	0.38		1.88	1.66
<b>PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>																						
Coliformes Fecales	0			0					0					0						0		