

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA POR LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TAIGUAIGUAY CON FINES AGRÍCOLAS.**

Trabajo Especial de Grado Presentado  
a la Ilustre Universidad Central  
de Venezuela para optar por el  
Título de Ingeniero Químico  
Por la Br. Bárbara Emperatriz,  
Alvarado Ayala

Caracas, 2007

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA POR LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TAIGUAIGUAY CON FINES AGRÍCOLAS.**

Tutor(a) Académico: Prof. María Rincones

Tutor Industrial: Lic. Alejandro Valles

Trabajo Especial de Grado Presentado  
a la Ilustre Universidad Central  
de Venezuela para optar por el  
Título de Ingeniero Químico  
Por la Br. Bárbara Emperatriz,  
Alvarado Ayala

Caracas, 2007

Caracas, Junio de 2007

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Bárbara Alvarado, titulado:

**“Evaluación de la calidad del agua tratada por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Taiguayguay para fines agrícolas”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Francisco Yáñez  
Jurado

Prof. Armando Vizcaya  
Jurado



Prof. Maria E. Rincones  
Tutor Académico

Lic. Alejandro Valles  
Tutor Industrial

**Alvarado A., Bárbara E.**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA POR  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
TAIGUAIGUAY CON FINES AGRÍCOLAS.**

**Tutor(a) Académico: Prof . María Rincones. Tutor Industrial: Lic. Alejandro  
Valles.Tesis. Caracas. UCV. Facultad de Ingeniería Química. Año 2007, 112p.**

**Palabras Claves.** Aguas residuales, Riego, Tratamiento de aguas.

**Resumen.** El uso de aguas residuales en la agricultura, es una herramienta muy valiosa ya que permite controlar la contaminación ambiental además de incrementar la producción agrícola; pero estas a su vez pueden constituir un problema sanitario debido a las altas cargas de contaminantes que posee. Por tal motivo la presente investigación tiene como objetivo fundamental la evaluación de la calidad del agua tratada por la planta de tratamiento de aguas residuales de Taiguaiguay para ser incorporadas en el sistema de riego.

Para la realización de este trabajo se siguieron cinco (5) actividades las cuales se encuentran relacionadas con la caracterización del líquido residual, la determinación de la eficiencia de remoción, la comparación de los efluentes y verificación del cumplimiento con los límites máximos permisibles para el agua de riego y por último la evaluación de los efluentes para el uso agrícola; todas estas orientadas hacia el hecho de evitar en lo posible la contaminación ambiental. Los valores obtenidos en cada uno de los muestreos se realizaron de acuerdo a lo establecido en los métodos estándar (APHA-AWWA-WEF, 1998), además se aplicaron herramientas estadísticas que permitieron evaluar el comportamiento de cada uno de los valores obtenidos.

Como aspecto resaltante de la operación de la planta se tiene que el tratamiento primario el cual está constituido por reactores anaerobios no presenta niveles de remoción aceptables obteniéndose un 37 % en remoción de la DBO y un 55 % en la DQO siendo estos los mayores valores reportados en éste tratamiento, indicando de esta manera que el sistema se encuentra operando en condiciones

inestables. Ahora bien, para el tratamiento secundario se obtuvo porcentajes de remoción de 87-88 % de materia orgánica evidenciando el buen funcionamiento de éste tratamiento. Asimismo se puede mencionar que ambos efluentes al ser comparados con las normativas ambientales presentes en el Decreto 3219 no cumplen con los límites máximos permisibles en Coliformes Totales y Fecales, restringiendo de esta manera el uso de estos efluentes en el riego. Asimismo, se debe mencionar que el efluente del embalse presenta menor cantidad en Coliformes Totales y Fecales considerándolo como apto para el riego agrícola.

En función de las actividades expuestas durante el desarrollo de este estudio se considera conveniente recomendar la recirculación periódica del lodo contenido en el reactor a las bandejas de secado con la finalidad de alcanzar un mejor rendimiento en cuanto a la remoción de materia orgánica existente. Igualmente debido al alto contenido de Coliformes Totales y Fecales en el efluente de la PTAR se recomienda la construcción de un tratamiento terciario basado en la desinfección, el cual permitirá eliminar en lo posible los microorganismos presentes en el agua y evitar así los daños de contaminación ambiental.

ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
INTRODUCCIÓN	10
<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
OBJETIVOS	
General	15
Específicos	15
ANTECEDENTES	16
<b>CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	
Calidad del agua	23
Análisis del agua para el riego	25
Consideraciones a tomar en cuenta en la utilización de las aguas residuales	26
Relación Adsorción de Sodio ( $RAS_r$ )	33
Relación Adsorción de Sodio Ajustada ( $RAS_{aj}$ )	34
Relación Adsorción de Sodio Corregida ( $RAS$ )	35
Sistema de Clasificación de Riverside	35
Aspectos físicos, químicos y biológicos del agua relacionada con el riego	39
Recuperación de suelos afectados por riego	
Prácticas de manejo del agua y suelo ante problemas de salinidad	40
Manejo del cultivo	41
<b>CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA</b>	
Embalse Taiguaiguay	42
Planta de tratamiento de aguas residuales de Taiguaiguay	45
Procesos llevados a cabo por la PTAR-Taiguaiguay	46
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA</b>	49
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	60
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES</b>	91
<b>CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES</b>	93
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	94

**APÉDINCES**

Apéndice A: Tablas para estimar las propiedades el suelo	98
Apéndice B: Procedimiento de cálculo para determinar la relación adsorción sodio y relación adsorción de sodio ajustada	101
Apéndice D: Resultados intermedios	108

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1:	Valorización bacteriológica de las aguas usadas para riego	18
Tabla 2:	Valoración de metales pesados presentes en las aguas del sistema de riego Taiguaiguay (1998)	19
Tabla 3:	Análisis químico y biológico en el embalse Taiguaiguay (1 <sup>era</sup> Campaña en el mes de Noviembre)	20
Tabla 4:	Análisis químico y biológico en el embalse Taiguaiguay (2 <sup>da</sup> Campaña en el mes de Abril)	21
Tabla 5:	Aguas destinadas a usos Agropecuarios	29
Tabla 6:	Aguas del sub-tipo 2A	30
Tabla 7:	Aguas del sub-tipo 2B	30
Tabla 8:	Límites que no deben exceder las aguas de sub-tipo 2A y 2B	30
Tabla 9:	Límites máximos de concentración en los vertidos líquidos	31
Tabla 10:	Límites máximos de concentración en los vertidos líquidos (A)	32
Tabla 11:	Límites máximos de concentración en los vertidos líquidos (B)	33
Tabla 12:	Límites máximos de concentración en los vertidos líquidos (C)	33
Tabla 13:	Clasificación del agua según la conductividad eléctrica	37
Tabla 14:	Clasificación del agua de acuerdo a la Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	38
Tabla 15:	Métodos analíticos utilizados para la caracterización del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento y del embalse Taiguaiguay	56
Tabla 16:	Caudales correspondientes a la entrada de la Planta de Tratamiento	61
Tabla 17:	Caudal de retorno a la planta	62
Tabla 18:	Determinación de los parámetros a la entrada de la planta	63
Tabla 19:	Análisis fisicoquímicos efectuados a los 6 muestras compuestas del efluente de la PTAR-Taiguaiguay	65
Tabla 20:	Verificación del efluente de la planta para ser descargado al embalse de Taiguaiguay	68
Tabla 21:	Verificación del afluente para ser usado en el riego agrícola	69
Tabla 22:	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> ) en los 6 muestreos realizados en el Reactor Anaerobio II.	70
Tabla 23:	Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los 6 muestreos realizados en el Reactor Anaerobio II.	72
Tabla 24:	Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	74
Tabla 25:	Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	76
Tabla 26:	Remoción de Nitrógeno Total Kjeldhal y Fósforo Total	78
Tabla 27:	Análisis físicos, químicos y biológicos de los 6 muestreos realizados al efluente de la PTAR-Taiguaiguay	80

Tabla 28:	Comparación y verificación del efluente de la planta para ser descargados al embalse de Taiguaiguay	81
Tabla 29:	Análisis físicos, químicos y biológicos de los 6 muestreos realizados al efluente del embalse de Taiguaiguay	82
Tabla 30:	Verificación de los efluentes para uso agrícola	84
Tabla 31:	Clasificación del sodio y de la salinidad del efluente de la planta de tratamiento de Taiguaiguay	85
Tabla 32:	Clasificación del sodio y de la salinidad del efluente del Embalse de Taiguaiguay	85
Tabla 33:	Relación de Adsorción de Sodio Ajustada	86
Tabla 34:	Toxicidad de iones	88
Tabla 35:	Concentración de Nitratos en los efluentes	89

**INDICE DE FIGURAS**

	Pág.
Figura N° 1: Diagrama para calificar el agua de riego de acuerdo al Laboratorio de Salinidad de Riverside (Adaptado de USSLS, 1954)	36
Figura N° 2: Mapa de Embalse de Taiguaiguay y Suata	44
Figura N° 3: Esquema de la Planta de Tratamiento y la Estaciones de Bombeo	48
Figura N° 4: Llegada de las aguas servidas a la Planta	51
Figura N° 5: Punto de captación de las muestras (Afluente)	51
Figura N° 6: Reactor Anaerobio	52
Figura N° 7: Punto de recolección de muestra (Descarga del Efluente)	53
Figura N° 8: Punto de recolección de muestras (Descarga del Embalse al canal de riego)	53
Figura N° 9: Canales de riego	54
Figura N° 10: Muestreador Automático para la recolección de muestras	55
Figura N° 11: Parámetros químicos de aguas servidas correspondientes a diversas localidades de Venezuela	66
Figura N° 12: Sólidos presentes en aguas servidas correspondiente a diversas localidades de Venezuela	66
Figura N° 13: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el Reactor Anaerobio II	71
Figura N° 14: Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el reactor Anaerobio II	71
Figura N° 15: Demanda Química de Oxígeno en el Reactor Anaerobio II	72
Figura N° 16: Remoción de la Demanda química de Oxígeno en el Reactor Anaerobio II	73
Figura N° 17: Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Laguna Facultativa	74
Figura N° 18: Demanda Química de Oxígeno en la Laguna Facultativa	75
Figura N° 19: Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Laguna Facultativa	76
Figura N° 20: Remoción de la Demanda Química de Oxígeno en la Laguna Facultativa	77
Figura N° 21: Nitrógeno Total y Fósforo Total en los 6 muestreos realizados en la Laguna Facultativa	78
Figura N° 22: Remoción de Nitrógeno y Fósforo Total en la Laguna Facultativa	79

## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	VARIABLE	UNIDADES
$RAS_r$ :	Relación de adsorción de sodio	adim.
$Na$ :	Contenido de sodio en el agua	meq/l
$Ca$ :	Contenido de calcio en el agua	meq/l
$Mg$ :	Contenido de magnesio en el agua	meq/l
$RAS_{aj}$ :	Relación de adsorción de sodio ajustada	adim
$pH_c$ :	pH calculado del agua de riego	adim
$RAS^{\circ}$ :	Relación de adsorción de sodio corregida	adim
$Ca^{\circ}$ :	Contenido corregido de calcio	meq/l
$DBO$ :	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l
$DQO$ :	Demanda Química de Oxígeno	mg/l
$PTotal$	Contenido de Fósforo Total	mg/l
$NTK_{jeldhal}$	Contenido de Nitrógeno Total Kjeldhal	mg/l
$NO_2-N$	Concentración de Nitritos	mg/l
$NO_3-N$ :	Concentración de Nitratos	mg/l
$Cl^-$ :	Concentración de Cloruros	mg/l
$SO_4^{=}$ :	Concentración de Sulfatos	mg/l
$Alc. Total$ :	Alcalinidad Total	mg/l

<i>DCa:</i>	Dureza Cálcica	mg/l
<i>ST:</i>	Sólidos Totales	mg/l
<i>STD:</i>	Sólidos Totales Disueltos	mg/l
<i>SST:</i>	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l
<i>DT:</i>	Dureza Total	mg/l

## **INTRODUCCIÓN**

Muchos países tienen el problema de un severo desequilibrio hídrico. Este desequilibrio entre la demanda de agua y su suministro es debido, principalmente, a la desigual distribución, las altas temperaturas y a la alta demanda de agua para riego. Esto se debe en un principio por que el agua es un elemento indispensable para la vida e imprescindible como herramienta de trabajo, por ello se requiere de fuentes de abastecimiento que permitan suplir la necesidad de este recurso ya que hoy en día el amplio crecimiento demográfico ha ocasionado problemas de escasez de este preciado líquido.

Para solventar un poco esta problemática se ha considerado el uso de las aguas residuales en la agricultura, debido a que es una práctica muy común en todo el mundo ya que se controla la contaminación ambiental y se logra aumentar la producción agrícola. Las aguas residuales son un recurso importante pero a su vez pueden constituir un problema sanitario, por lo que se hace necesario el tratamiento de las mismas para su vertido o reutilización.

Por tal motivo se ha planteado en este Trabajo Especial de Grado evaluar la calidad del agua tratada por la Planta de Tratamiento de Taiguaiguay para ser utilizadas en el riego, debido a que el actual sistema de riego presenta muchas irregularidades que hacen desfavorables el uso de este recurso. La calidad del agua se refiere en primer lugar a las características físicas, químicas y microbiológicas que permitirán clasificar y determinar su grado de aceptabilidad para cultivos y suelos. Esto se llevará a cabo a través de muestreos realizados al afluente y efluente de la planta de tratamiento y así como al efluente del embalse, donde estos muestreos serán efectuados cada quince días con el propósito de conocer los parámetros físicos, químicos y biológicos necesarios que se considerarán a la hora de evaluar este recurso hídrico, así como determinar la eficiencia de remoción del proceso llevada a cabo por la planta de tratamiento.

Cuando se habla de la aplicación del agua previamente tratada se busca en primer lugar eliminar compuestos molestos que puedan causar efectos nocivos sobre

las plantas y cultivos. En este sentido se tomarán en cuenta una serie de factores característicos como las concentraciones de estos compuestos de manera tal que se pueda ajustar a las especificaciones legales existentes para su vertido y su posible reutilización. No obstante estas normas no consideran el uso de algunos parámetros esenciales para mejorar el rendimiento de suelos, plantas y cultivos, por lo tanto se emplearán propuestas elaboradas por otros países las cuales permitirán adecuar las normas existentes con la finalidad de preservar los daños al ambiente y evitar así los efectos adversos sobre la salud de los trabajadores y consumidores.

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presenta un compendio de información que comprenderá la base fundamental para la evaluación de la calidad del agua tratada por la planta de tratamiento de Taiguaiguay y el embalse del mismo nombre, ubicados en el Municipio José Ángel Lamas del estado Aragua.

#### *Planteamiento del Problema*

En el riego agrícola es tan importante la calidad del agua como la cantidad; sin embargo, en el pasado se prestó poca atención a la primera, debido a que las fuentes de agua aprovechadas eran relativamente abundantes, cualitativamente buenas y de fácil utilización. En la actualidad, la necesidad de mayor producción de alimentos ha conducido a la incorporación de sistemas de riego debido a la escasez de este recurso hídrico. Para suplir este déficit de agua en el riego para tierras agrícolas es necesario la construcción de fuentes de abastecimientos de agua para garantizar el suministro de este vital líquido.

Venezuela ha tenido la necesidad de construir algunos embalses para suministrar este recurso hídrico en zonas donde se carece de acceso al suministro adecuado de agua. Una de estas fuentes de abastecimiento es el Embalse de Taiguaiguay, el cual representa uno de los sistemas de riego de muy antigua construcción. El período de entrega del agua por este embalse es de seis meses, comenzando en el mes de Noviembre hasta Abril, en algunos años este ciclo se extiende un poco más hasta Mayo aproximadamente si la disponibilidad del embalse lo permite. Las aguas empleadas abarcan aproximadamente unas 6500 ha. correspondiendo un 55 % a caña de azúcar, 17 % a pasto, y encontrándose en menor proporción el cambur y maíz así como otras hortalizas. Esta superficie de riego comprende las tierras situadas en los sectores de Tocorón y las Flores del Estado

Aragua, empleando un 60 % de agua que proviene del sistema de riego, también es importante destacar que este embalse se abastece de las derivaciones de algunos ríos sobre los cuales son vertidas las aguas servidas de las poblaciones e industrias adyacentes a esta zona.

El uso de aguas residuales en la agricultura, es una herramienta muy valiosa ya que permite controlar la contaminación ambiental e incrementar así la producción agrícola. También es importante resaltar que el uso de este agua puede constituir un problema sanitario, ya que numerosos microorganismos se encuentran presentes en ellas y pueden causar enfermedades. Cuando estas aguas residuales no cumplen con lo establecido en las normativas ambientales, se hace necesario el tratamiento de las mismas a fin de evitar los efectos adversos sobre el rendimiento de los cultivos, así como los posibles daños a la salud de los consumidores y del personal que labora las tierras y por supuesto al medio ambiente.

La planta de Tratamiento de Taiguaiguay recibe un caudal diario de agua servida aproximadamente de 1032 l/s procedente de las diferentes poblaciones e industrias aledañas a la planta. Las aguas a tratar provienen de la Estación Elevadora Cagua, el Canal aductor Turmero-Aragua, la Estación de bombeo Camburito la cual recibe las aguas servidas de la ciudad de Maracay, Palo Negro y Santa Cruz y por último la Estación de bombeo Huete que recibe aguas de las comunidades de Huete, La Comuna y Alí Primera entre otras. Luego de su tratamiento, el efluente es incorporado continuamente al embalse para disponer de más recursos hídricos y aumentar así sus niveles.

El actual sistema de riego cuenta con muchas irregularidades lo cual hace desfavorable el uso de este agua para su inserción en el riego. La finalidad de este Trabajo Especial de Grado es la evaluación de la calidad de las aguas tratadas por la planta de tratamiento de Taiguaiguay para ser utilizadas en el riego.

La calidad del tratamiento tiene una gran influencia en el funcionamiento del sistema suelo-agua-planta. La calidad exigida del efluente depende de los cultivos a regar, las condiciones fisicoquímicas de los suelos, del sistema de distribución y la aplicación del agua a adoptar. En este sentido se plantea dos posibles soluciones una de estas es la utilización del efluente de la planta de tratamiento para su inserción directa en el sistema de riego y la otra es verificar si este puede ser trasvasado al embalse como funciona actualmente. Para ello el Estado Venezolano reformó mediante el decreto 3219, las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua, el control de vertidos o efluentes líquidos capaces de alterar los niveles de calidad exigibles con el objeto de preservar y mejorar el ambiente, presentando valores límites de contaminantes para el uso de las aguas servidas con fines agrícolas, por lo que es necesario realizarle al efluente estudios físicos, químicos y microbiológicos que permitan estimar sus condiciones, tomando en consideración las normativas ambientales vigentes que distinguen dos subtipos de aguas residuales a ser usadas para riego, subtipo 2A, aguas para riego de vegetales crudos al consumo humano y subtipo 2B, aguas para el riego de cualquier otro cultivo y para uso pecuario. La otra alternativa que se presenta es la evaluación de este efluente para estudiar su posible incorporación continua al Embalse, por lo que son necesarios los estudios pertinentes que permitan determinar su calidad. Para ello se debe tomar en consideración el artículo 36 del Decreto 3219 que especifica los límites de cargas máxicas para los parámetros críticos de control, el cual fija los rangos y límites máxicos de concentraciones en los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados en forma directa o indirecta, al Lago de Valencia y red hidrográfica tributaria. Esto con el propósito de evaluar su calidad para comparar y proponer alternativas de solución para su determinado uso.

### *Objetivos*

En virtud de dar respuesta a la problemática planteada seguidamente se exponen los objetivos a cumplir en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

#### General

- Evaluar la calidad del agua tratada por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Taiguiaguay con fines agrícolas.

#### Específicos

- ⊖ Conocer las características físico-químicas y microbiológicas del afluente y efluente de la planta de tratamiento, así como el efluente del embalse de Taiguiaguay.

- Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes por el actual sistema de tratamiento.

- ⊖ Comparar el efluente de la planta de tratamiento con el efluente del embalse de Taiguiaguay y verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles del agua tratada.

- ⊖ Evaluar la calidad de los efluentes de la planta de tratamiento y del embalse para su utilización en el sistema de riego.

### *Antecedentes*

En los últimos años, nuestro país se encuentra afectado por problemas de escasez de agua, como consecuencia de la presencia de una serie hidrológica de años secos, así como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas debido al continuo crecimiento de la población y la desigual distribución de los recursos hídricos. Una de las formas de mejorar la utilización de este recurso hídrico, es con la construcción de sistemas de riego que permitan garantizar la demanda de requerimientos de agua en los meses secos.

El inicio de la construcción de los Sistemas de Riego en Venezuela comienza en el año 1938 con los primeros estudios sistemáticos, construyéndose durante el período 1938 al 1944 las obras del Embalse de Suata y en el período de 1945 al 1948 las del Embalse de Taiguaiguay. El propósito de estos dos Embalses fue el suministro de agua a los sistemas de riego Suata-Taiguaiguay, los cuales contaban para la época con un área desarrollada bajo riego de aproximadamente 2000 y 2500 ha. respectivamente.

De acuerdo con los planes de abastecimiento para la temporada 1982-1983 la superficie a regar en el Sistema de Riego de Suata era de 1205 ha., de las cuales un 70 % correspondía a caña de azúcar, por su parte en el Sistema de Riego Taiguaiguay la superficie a regar era de 2240 ha., con un 62 % de caña de azúcar.

Continuando con el Sistema de Riego de Taiguaiguay para la época de verano 1989-1990 en la zona se sembró un total de 4400 ha, de este total un 60 % correspondía a Caña de Azúcar, 17 % a Caraotas, un 6 % a Cambur y el resto a otras hortalizas.

Para el periodo 1991-1992 el área total de sembrado se estimó aproximadamente a 5075 ha. correspondiendo el 55 % a Caña de Azúcar, 12 % a Caraotas, 11 % a Tomates y el resto a Cambur y otras hortalizas.

Para el periodo 2003-2004 el sistema de riego alimentaba aproximadamente a una superficie de 6500 ha. correspondiendo el 55 % a caña de azúcar, 17% a pasto y el resto a cambur, maíz, yuca y otras hortalizas.

Existen otros sistemas de riego en Venezuela uno de ellos es el Sistema de Riego “El Cenizo” el cual comprende una superficie a regar de 5749 ha., este se encuentra ubicado en el Municipio Miranda, Distrito Betijoque del Estado Trujillo.

Para el período 1962-1963, la actividad agrícola en este sector giró en torno al cultivo de arroz, pero debido a los problemas de salinidad y ascenso del nivel freático en los suelos por el irracional uso de las aguas de riego, generó la desaparición de este rubro.

En el año 1968 la actividad agrícola en la zona se estaba orientando más a los tradicionales cultivos de conuco como es la yuca, el maíz y el plátano.

El Río Guárico es otro de estos sistemas, el se encuentra ubicado entre el Municipio Calabozo y El Rastro, del Distrito Miranda del estado Guárico. Este embalse capta las aguas del río Guárico destinadas a riego y para el control de la inundación. El Embalse contempla un área de riego de 110000 ha. entre los ríos Guárico y Tiznados.

En el año 1976 la actividad agrícola estaba basada principalmente en siembra de maíz blanco y sorgo.

Ahora bien retomando nuevamente el sistema de riego Taiguaiguay es importante resaltar que existen algunos estudios realizados, los cuales han arrojado una amplia gama de resultados que permiten evaluar la calidad de estas aguas y ser comparadas con las normativas ambientales vigentes, entre ellos se encuentran los estudios de Mendez, F., 1998; en el cual realizó caracterizaciones del efluente para determinar la presencia de Coliformes Totales y Fecales. Para ello se efectuaron

cuatro monitoreos durante todo el periodo de investigación, un primer muestreo al inicio (época de lluvias), un segundo y un tercer muestreo a mediados del periodo de investigación (época seca) y un último muestreo al final del periodo de investigación (inicio del periodo de lluvias). En donde los resultados se indican en la tabla mostrada a continuación.

**Tabla 1:** Valorización bacteriológica de las aguas usadas para riego.

Fecha Monitoreo	Puntos Monitoreo	Coliformes Totales NMP/100mL Normativa Oficial < a 1.000	Coliformes Fecales NMP/100mL Normativa Oficial < a 100
08/07/1996	R1	5.000.000	3.000.000
	R2	240.000	130.000
05/11/1996	R1	500.000	300.000
	R2	240.000	180.000
23/04/1998	R1	2.000.000	1.000.000
	R2	140.000	180.000
04/06/1998	R1	6.000.000	3.000.000
	R2	340.000	180.000

Fuente: (Mendez, F., 1998)

En la tabla 1, se observa una alta población de microorganismos presentes durante todo el período de monitoreo, más aún en el sitio identificado como canal de riego (**R1**) y canal de mariología para el drenaje de las aguas residuales industriales (**R2**) cuyas aguas son el producto de la mezcla de las aguas residuales industriales y domésticas, de ahí su alto contenido de Coliformes Totales y Fecales; los cuales se encuentran fuera de los rangos establecidos fijados por la Gaceta Oficial N° 5305 decreto 3219 para las aguas de tipo 2, subtipo 2B.

Este autor también presenta un análisis de metales pesados presentes en las fuentes de agua usadas para riego, conservando las mismas épocas para los muestreos así como los mismos puntos mencionado anteriormente, estos muestreos se realizaron en un año aproximadamente; los cuales pueden ser observados en la siguiente tabla.

**Tabla 2:** Valoración de metales pesados presentes en las aguas del sistema de riego Taiguaguay.

Punto de Monitoreo	Metales Pesados presentes en las aguas.							
	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l	Cr mg/l
R1	0,251*	<0,090	1,145*	0,366	0,326	<0,200	0,151	<0,180
R2	0,268*	<0,090	0,696	0,553*	0,233	<0,200	0,070	<0,180
R1	0,096*	<0,090	0,642	0,090	0,103	<0,200	0,075	<0,180
R2	0,113*	<0,090	0,746	<0,025	0,113	<0,200	0,103	<0,180
R1	0,027*	0,092*	1,437*	0,198	<0,100	<0,200	0,148	<0,180
R2	<0,020	0,128*	1,305*	0,188	0,115	<0,200	0,101	<0,180
R1	<0,020	0,374*	1,914*	0,521*	<0,100	<0,200	0,184	<0,180
R2	<0,020	<0,090	0,692	0,284	<0,100	<0,200	0,360	<0,180
R1	<0,020	<0,090	1,008*	0,592	<0,100	<0,200	1,900	<0,180
R2	<0,020	<0,090	1,798	0,462	<0,100	<0,200	0,383	<0,180
<b>Conc. Máx. Permisibles</b>	<b>0,005</b>	<b>0,200</b>	<b>1,000</b>	<b>0,500</b>	<b>0,500</b>	<b>0,050</b>	<b>5,000</b>	<b>0,050</b>

Fuente: (Mendez, F., 1998)

\* Concentración fuera del límite máximo permitido en las Normas venezolanas.

\*\* Concentración no detectada de acuerdo a la apreciación del equipo.

De acuerdo con las normativas emitidas por el gobierno de Venezuela en Gaceta Oficial N° 5305, decreto 3219 se relacionan las aguas usadas para riego dentro de las categorías tipo 2, subtipo 2A y 2B, así se tiene que para ambas fuentes de agua

evaluadas, bien sea la fuente de aguas residuales y las subterráneas, quedan fuera de esta clasificación al no cumplir al menos con los límites máximos tolerables en algunos metales pesados presentes tales como Cadmio, Hierro y Manganeso. En el caso del Plomo y el Cobre quedan ciertas dudas en la evaluación ya que el límite mínimo de apreciación utilizado para su determinación, está por arriba de lo fijado en las normas lo que pudiese interpretarse que su presencia es tal que supera el límite máximo de las mismas y además se debe mencionar que éste valor se encuentra por debajo del límite de apreciación del equipo, dejando cierto margen de incertidumbre. En el caso del Cadmio y el Plomo son metales pesados que bien pueden ser absorbidos por la raíz o tomados del aire por vía foliar.

Otros estudios realizados por Arellano, F. y Salazar, Y., (2004), revelan que algunos de los parámetros evaluados en las caracterizaciones del afluente del embalse no cumplen en su mayoría con las normativas ambientales. Para la evaluación de la calidad de estas aguas y sus tributarios, se diseñó una base de datos que incluye todos los parámetros analizados en las dos campañas de monitoreo (Noviembre del 2003 y Abril del 2004), los cuales se encuentran reportados en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3:** Análisis químico y biológico en el Embalse Taiguaiquay (1<sup>era</sup> Campaña en el mes de Noviembre).

Parámetros	Limite Máximo	Caño Maraca	Caño las Minas	Embalse de Taiguaiquay
DBO (mg/l)	60			
DQO (mg/l)	350	510	105	-
Fósforo total (mg/l)	1,0	1075	103	29
Nitrógeno Total (mg/l)	10	13	3,9	2,21
Sólidos T. (mg/l)	N.A	135	26	5,16
Sólidos T.D (mg/l)	N.A	3436	628	-
Sólidos S.T (mg/l)	80	2143	504	587,16
Cloruro (mg/l)	1000	1291	124	-
Sulfato (mg/l)	600	890	67	103,66

**Tabla 3:** Análisis químico y biológico en el Embalse Taiguaiquay (1<sup>era</sup> Campaña en el mes de Noviembre). (Continuación)

Hierro (mg/l)	10,0	660	20	52,5
Cobre (mg/l)	0,5	1,65	1,81	<0,100
Níquel (mg/l)	1,0	0,07	0,07	<0,050
Manganeso (mg/l)	2,0	<0,100	<0,100	<0,100
Zinc (mg/l)	5,0	0,08	0,46	0,096
Cromo (mg/l)	2,0	0,27	<0,100	0,30
Plomo (mg/l)	0,5	0,62	<0,100	<0,100
Cadmio (mg/l)	0,1	0,13	<0,100	<0,100
Aceite 4g (mg/l)	20	<0,020	<0,020	<0,020
Detergente (mg/l)	2	165	<1,0	-
Coliformes Totales	1000	-	-	-
Coliformes Fecales	200	5000000	80000	4070
		5000000	80000	4066,7

Fuente: Arellano, F. y Salazar, Y., (2004)

**Tabla 4:** Análisis químico y biológico de la entrada, salida y dentro del Embalse Taiguaiquay (2<sup>da</sup> Campaña en el mes de Abril).

Parámetro	Limite Máximo	Caño Maraca	Caño las Minas	Embalse de Taiguaiquay
DBO (mg/l)	60	72	45	<5
DQO (mg/l)	350	255	87	88
Fósforo total (mg/l)	1,0	7,5	4,8	2,2
Nitrógeno Total (mg/l)	10	83	47	12
Sólidos T. (mg/l)	N.A	2292	600	668
Sólidos T.D (mg/l)	N.A	1896	580	560
Sólidos S.T (mg/l)	80	396	20	108
Cloruro (mg/l)	1000	645	130	168
Sulfato (mg/l)	600	249	64	135
Hierro (mg/l)	10,0	1,81	1,48	0,22
Cobre (mg/l)	0,5	<0,050	<0,050	<0,050
Cromo (mg/l)	2,0	1,26	<0,100	<0,100
Níquel (mg/l)	1,0	<0,100	<0,100	<0,100
Manganeso (mg/l)	2,0	<0,050	<0,050	0,25
Zinc (mg/l)	5,0	0,11	0,10	<0,100
Plomo (mg/l)	0,5	<0,100	<0,100	<0,100
Cadmio (mg/l)	0,1	<0,020	<0,020	<0,020
Aceite 4g (mg/l)	20	205	49	<1
Detergente (mg/l)	2	0,84	2,3	0,5
Coliformes Totales	1000	16000000	9000000	2400
Coliformes Fecales	200	16000000	9000000	2400

Fuente: Arellano, F. y Salazar, Y., (2004)

En donde los resultados revelan que las concentraciones de Coliformes Totales y Fecales no cumple con los límites establecidos en el Decreto 3219; el cual clasifica el agua de riego como Tipo 2, Subtipo 2B; que son aguas para el riego de cualquier tipo de cultivo que no sean vegetales de consumo crudo y de uso pecuario; con lo cual se evidencia que los caños y los márgenes del embalse en sus puntos de desembocadura representan un riesgo potencial para las comunidades adyacentes desde el punto de vista sanitario. En las tablas 3 y 4 pueden observarse que para la primera campaña de muestreo se tienen elevadas concentraciones en Coliformes Totales los cuales oscilan entre  $8,0 \cdot 10^3$ - $5,0 \cdot 10^6$  NMP/100ml y para los Fecales se encontró entre  $5,0 \cdot 10^3$ - $16,0 \cdot 10^6$  NMP/100ml. Igualmente se pudo apreciar que para la segunda campaña se reportó un rango de  $9,0 \cdot 10^6$ - $16,0 \cdot 10^6$  NMP/100ml para ambos grupos Coliformes; recalcando que la mayor carga de Coliformes Totales y Fecales se mantuvo en Caño Maraca, esto es debido a la descargas directas de aguas servidas en el tributario.

También se puede observar que los tributarios, presentaron valores que exceden el límite máximo establecido por este decreto, para descargas directas o indirectas al Lago de Valencia y su red hidrográfica tributaria, que limita a 10 mg/l la concentración de Nitrógeno y a 1,0 mg/l la concentración de Fósforo, lo cual se debe a la alta intervención de actividades humanas, indicando que estos reciben aportes elevados de nutrientes., reportándose valores para la primera campaña de 4,6-13 mg/l para Fósforo Total y 24-135 mg/l, para el Nitrógeno Total y para la segunda campaña se obtuvo resultados de 5,2-7,5 mg/l para el Fósforo Total y de 36-83 mg/l para el Nitrógeno Total, respectivamente.

Las altas cargas de nutrientes vertidas en los tributarios afluentes al embalse, son la principal causa del problema de eutroficación que presentaron sus aguas, lo cual trae como consecuencia condiciones limitadas para el uso de este cuerpo de agua.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Con el objeto de facilitar la comprensión de la temática planteada en este capítulo se exhiben los conceptos fundamentales que guardan una estrecha relación con la utilización de las aguas residuales para uso agrícola.

#### *Calidad del agua*

La disponibilidad y la calidad del agua resultan de estudios geológicos y de laboratorio, que permitirán en primer lugar, determinar si el riego es viable. El riesgo potencial del riego con aguas servidas es la incorporación de sodio al suelo, aunque también existen riesgos de salinidad, toxicidad específica, ya que el aporte de estos compuestos en el suelo puede generar problemas en las plantas. Además la presencia de microorganismos pudiera afectar la salud de los trabajadores del campo o de los consumidores.

El sodio actúa desmejorando la estructura, impidiendo la penetración de agua en el suelo, deteriorando progresivamente la aptitud del mismo.

Aunque aguas salinas o sódicas son usadas para riego en muchas zonas áridas y semiáridas del mundo, la introducción de sodio y otros cationes en la solución del suelo puede imponer un estrés en los cultivos disminuyendo sus rendimientos. La composición y concentración de las sales en la solución del suelo puede afectar el crecimiento de las plantas debido a:

- (a) Efecto Osmótico.
- (b) Efecto Tóxico.
- (c) Cambio en las propiedades del suelo.

La interacción entre las propiedades físico-químicas del suelo y la calidad del agua es fundamental para evaluar la posibilidad de utilizar esa agua para regar.

Aún cuando estos parámetros tienen gran incidencia en el agua de riego, también es importante considerar otros parámetros que permitirán calificar el uso de esta agua para el riego.

En relación con los sistemas de depuración previos a la reutilización, se establecen las principales características de un agua residual que deben considerarse al momento de definir su idoneidad para su reutilización en riego:

- (a) **Materia o sólidos en suspensión:** Su presencia en cantidades excesivas puede ocasionar la formación de depósitos de fangos y obstruir el sistema de riego por goteo o aspersión.
- (b) **Materia Orgánica Biodegradable:** La materia biodegradable está constituida, esencialmente, por proteínas, carbohidratos y grasas, sufre una descomposición biológica que necesita gran cantidad de oxígeno, lo que puede dar lugar al agotamiento del oxígeno disuelto.
- (c) **Elementos Nutritivos:** Altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio pueden provocar contaminación de aguas subterráneas y si se vierten en un medio acuático, condiciones de eutrofización.
- (d) **El pH** afecta la alcalinidad de suelo y la solubilidad de los metales, aunque normalmente el pH en aguas residuales urbanas no alcanza valores indeseables.
- (e) **Metales Pesados:** La toxicidad de algunos radica en su capacidad de acumulación en el suelo, afectando a plantas y animales. Otros elementos en cantidades adecuadas son valiosos micronutrientes.
- (f) **Microorganismos Patógenos:** Como organismos indicadores de la presencia de patógenos en el agua se suelen emplear los Coliformes Fecales y los Coliformes Totales. Su presencia podría ser causa de enfermedades de transmisión.

(g) Sustancias Orgánicas estables o refractarias al proceso de Tratamiento: son una serie de compuestos tales como fenoles, pesticidas e hidrocarburos clorados nocivos para el medio ambiente.

(h) Sustancias Inorgánicas Disueltas: La elevada salinidad en el agua de riego es nociva para plantas y suelos, concentraciones elevadas de sodio y boro son tóxicas para numerosos cultivos y además el sodio deteriora la permeabilidad del suelo.

### ***Análisis del agua para riego***

Los análisis realizados a las aguas residuales pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos. Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta en un agua para determinar su calidad en el riego son los siguientes:

#### ***Físicos***

Las características físicas más importantes del agua residual es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante, materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características son la temperatura, color y olor.

#### ***Químicos***

Esta sección se divide en cuatro categorías generales que tratan de:

(a) La materia orgánica

La materia orgánica que se encuentra presente en el agua residual son las proteínas, carbohidratos, agentes tensoactivos, fenoles, pesticidas, productos químicos agrícola y por último las grasas animales.

(b) La medida del contenido orgánico

Los métodos de laboratorio más utilizados hoy en día son el de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_{5,20}$ ), demanda química de oxígeno (DQO), carbono

orgánico total (COT) y la demanda total de oxígeno (DTO). Complementando estos ensayos se cuenta también con la demanda teórica de oxígeno (DTeO).

(c) La materia inorgánica

Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Entre ellos se encuentran el pH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fósforo y azufre. Otros de estos componentes son los compuestos tóxicos como el Cobre, Plomo, Plata, Cromo, Arsénico y Boro. También se encuentran los metales pesados como el Níquel, Manganeso, Plomo, Cromo, Cadmio, Cinc, Cobre, Hierro y Mercurio.

(d) Gases que se encuentran en el agua residual

Los más frecuentes en el agua residual sin tratar son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y el metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que estén expuestas al aire. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual.

***Biológicos***

Los aspectos biológicos con los cuales se debe estar familiarizado son los microorganismos los cuales se clasifican en protistas, virus, plantas y animales. También en este agua pueden encontrarse organismos Coliformes que son útiles para degradar la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamientos de las aguas residuales dentro de estos se encuentran los Coliformes Fecales y Totales.

***Consideraciones a tomar en cuenta en la utilización de las aguas residuales.***

Cuando se plantea la aplicación de aguas residuales sobre el suelo, bien sea de cualquier origen, es de gran importancia tomar en cuenta factores relacionados con el suelo mismo, así como la posible producción de cultivos en dichos suelos, debido a que los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden causar toxicidad a las

plantas y su posible transmisión a la cadena de alimentos. Las características físicas, químicas y biológicas de los suelos donde se han de aplicar las aguas residuales son de sumo interés, pues influyen grandemente en la calidad del agua que percola a través del perfil del suelo y las posibles contaminaciones de aguas subterráneas.

En el caso de la agricultura de regadío, las características más importantes que se consideran para clasificar el agua son el tipo y el contenido de sales totales, el contenido relativo de sodio, la concentración de iones tóxicos y los sólidos totales. Sobre las bases de estas características fundamentales y considerando además las condiciones de suelo, clima, tipo de cultivo, y en algunos casos, el manejo del riego se han propuesto algunas directrices y modelos para guiar la calificación del agua.

Ayers, R. y Westcot, D. (1987), proponen unas directrices para interpretar la calidad del agua, en las cuales se consideran los efectos a largo plazo de la calidad de dicho recurso sobre la producción de cultivos, las condiciones del suelo y el manejo agrícola, estas consideran los siguientes aspectos:

- (a) La concentración salina del agua y su efecto sobre la disponibilidad de agua para las plantas.
- (b) La influencia de la relación de adsorción de sodio y la conductividad eléctrica en la tasa de infiltración del agua en el suelo.
- (c) La toxicidad de iones específicos como sodio, cloro y boro.
- (d) Problemas derivados de la alta concentración de nitrógeno y bicarbonatos.
- (e) Valores extremos de pH.

Estas directrices sólo son aplicables en las siguientes condiciones:

- (a) Suelos franco arenoso o franco arcillosos con buen drenaje interno.
- (b) Clima árido o semiárido donde la precipitación tiene poco efecto sobre el lavado.

- (c) Suelos donde se aplica el riego por superficie o por aspersión y se garantiza una fracción de lavado superior a 0,15.
- (d) El nivel freático está a suficiente profundidad o adecuadamente controlado por un sistema de drenaje interno.
- (e) La extracción de agua por las plantas sigue el patrón clásico 40, 30, 20 y 10, es decir, el 40 % del agua extraída procede del primer cuarto de profundidad de suelo explorado por las raíces del cultivo, el 30 % del segundo cuarto de esa profundidad, el 20 % del tercer cuarto y el 10 % del último cuarto.

Las restricciones señaladas, obviamente limitan la aplicación de estas directrices, aún cuando ellas ilustran muy bien la integración de factores que deben conjugarse para calificar el agua, destacando entre ellos la posible pérdida de la capacidad de infiltración del agua en el suelo, la tolerancia del cultivo a las sales, la toxicidad de iones específicos y el efecto de la tecnología de riego.

Mags, D. y otros (1973), demostraron que los desechos presentes en las aguas residuales produjeron un incremento en la capacidad de retención de humedad del suelo, disminución de la densidad aparente y retención a la compresión del mismo cuando estos se aplicaron consecuentemente sobre el suelo por un período de dos años.

Larson, W. y Gilley, J., (1976), afirman que algunos de los desechos químicos presentes en las aguas residuales pueden resultar beneficiosos tanto para el suelo como para las plantas, mientras que otros pueden ser perjudiciales, por ello el análisis sobre la composición de las aguas residuales es esencial para considerar las consecuencias específicas de su aplicación sobre el suelo. Las aguas residuales contienen considerables cantidades de fósforo y nitrógeno, siendo deficientes en potasio y pueden contener concentraciones tóxicas de metales pesados.

Pescod, M., (1992), presenta un guía de lineamientos sugeridos al emplear el uso de las aguas residuales para el riego los cuales son:

- (a) Tratamiento de las aguas residuales (primario, secundario, almacenamiento.)
- (b) Restricciones en algunos cultivos de acuerdo al grado de salinidad, sodicidad y toxicidad por efectos misceláneos.
- (c) Control en la aplicación de las aguas residuales relacionado con el tipo del suelo, métodos de riego, capacidad de drenaje del suelo, etc.
- (d) Riesgos a la salud humana por efectos a la exposición en el uso de aguas residuales, medidas de control e higiene.

En este sentido el Estado Venezolano ha reformado las normativas ambientales con la finalidad de preservar y mejorar el ambiente. Es por ello que a través del decreto 3219, establece las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua, en estos artículos se encuentran ciertos parámetros para el uso del agua residual en el riego con la finalidad de evitar algunas consecuencias sobre los cultivos, suelo y salud. De acuerdo a esto los organismos responsables clasifican el agua de riego como tipo 2, subtipo 2A agua para riego de vegetales crudos al consumo humano y subtipo 2B aguas para el riego de cualquier otro cultivo y para uso pecuario.

A continuación se presenta los límites máximos permisibles estipulados en el artículo 8 de la normativa ambiental.

**Tabla 5:** Tipo 2: Aguas destinadas a usos Agropecuarios

<b>Sub-Tipo 2 A:</b>	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano
<b>Sub-Tipo 2B:</b>	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivos y para uso pecuario.

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

**Tabla 6:** Aguas del Sub-tipo 2 A

Parámetro	Límite o Rango máximo
Organismos coliformes totales	Promedio Mensual menor a 1000 NMP Por cada 100 mL
Organismos coliformes fecales	Menor 100NMP por cada 100 mL
Nematodos intestinales (Ascaris, Trichuris y Anquilostoma)	Promedio aritmético de huevos por litro igual ó < 1

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

**Tabla 7:** Aguas del Sub-tipo 2 B

Parámetro	Límite o Rango máximo
Oxígeno Disuelto (OD)	3,0 mg/L mínimo
Organismos Coliformes totales	Promedio mensual menor a 5000 NMP por cada 100 mL
Organismos Coliformes fecales	Menor a 1000 NMP por cada 100mL
Nemátodos intestinales (Ascaris, Trichuris y Anquilostoma)	Promedio aritmético de huevos por litro igual O menor que uno
Clorofila	12 ug/L
Transparencia de las aguas medidas con el disco Secchi	Mínimo 2,0 m

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

**Tabla 8:** Límites que no deben exceder las aguas sub-tipo 2A y 2B

Elementos	Límites(mg/L)	Elementos	Límites(mg/L)
Aluminio	1,0	Molibdeno	0,005
Arsénico	0,05	Níquel	0,5
Bario	1,0	Plata	0,05
Boro	0,75	Plomo	0,05
Cadmio	0,005	Selenio	0,01
Cianuro	0,2	Sólidos Disueltos Totales	3000
Cobre	0,2	Sólidos flotantes	Ausentes
Cromo Total	0,05	Vanadio	10,0
Hierro Total	1,0	Zinc	5,0
Litio	5,0	<b>Biocidas</b>	
Manganeso Total	0,5	Organofosforados	0,1

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

Se debe tener en consideración que el efluente de la Planta de Tratamiento descarga continuamente al Embalse, por lo tanto se deben considerar el artículo 36 del decreto mencionado anteriormente, que especifica los límites de cargas másicas establecidas para los parámetros críticos de control en los vertidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, al Lago de Valencia y red hidrográfica tributaria, lo que en consecuencia deben considerarse estos parámetros.

A continuación se presenta los límites establecidos en el artículo 36 del decreto 3219.

**Tabla 9:** Límites máximos de concentraciones en los vertidos líquidos.

<b>Parámetros Físico-Químicos</b>	<b>Límites o rangos máximos</b>
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y Grasa vegetales y animales	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aldehidos	2,0 mg/l
Aluminio Total	1,0 mg/l
Arsénico Total	0,1 mg/l
Bario Total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio Total	0,1 mg/l
Cianuro Total	0,1 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto Total	0,05 mg/l
Cobre Total	0,5 mg/l
Cromo Total	2,0 mg/l
Cromo Hexavalente	0,1 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l

**Tabla 9:** Límites máximos de concentraciones en los vertidos líquidos.  
(Continuación)

Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,05 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo Total	1,0 mg/l
Hierro Total	10 mg/l
Manganeso Total	2,0 mg/l
Mercurio Total	0,01 mg/l
Níquel Total	1,0 mg/l
Nitrógeno Total	10 mg/l
pH	6-9
Plata Total	0,1 mg/l
Plomo Total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos Flotantes	Ausentes
Sólidos Sedimentables	1,0 mg/l
Sólidos Suspendedos	80 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfatos	600 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

**Tabla 10:** Límites máximos de concentraciones en los vertidos líquidos (A).

<b>Biocidas</b>	<b>Límites o rangos máximos</b>
Organo fosforados	0,55 mg/l
Organoclorados	0,05 mg/l

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

**Tabla 11:** Límites máximos de concentraciones en los vertidos líquidos (B).

<b>Radiactividad</b>	<b>Límites o rangos máximos</b>
Actividad $\alpha$	Máximo 0,1 Bq/l
Actividad $\beta$	Máximo 1,0 Bq/l

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

**Tabla 12:** Límites máximos de concentraciones en los vertidos líquidos (C).

<b>Parámetros Biológicos</b>	<b>Límites o rangos máximos</b>
Organismos coliformes totales	Máximo 1000 NMP/100 ml
Organismos coliformes fecales	Máximo 200 NMP/100 ml

Fuente: Gaceta Oficial N° 5035, 1999

Rhoades, J. y otros (1992), plantearon el sistema de clasificación de las aguas por su salinidad. Según ellos, la mayoría de las aguas usadas en el riego agrícola no sobrepasan los  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , y sólo cultivos muy tolerantes pueden ser manejados con aguas de riego que excedan los  $10 \text{ dS m}^{-1}$ .

### ***Relación de Adsorción Sodio***

Los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos en forma iónica (USSLS, 1954). Los principales cationes son Calcio, Magnesio y Sodio en muy pequeñas cantidades. Los aniones principales son los Carbonatos, Bicarbonatos, Sulfatos, Cloruros y en menor cantidad Nitratos y Nitritos. El peligro de sodificación que potencialmente puede ocasionar el uso de un agua de riego, queda determinado por las concentraciones absolutas y relativas de los cationes. Sí la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y al contrario, sí predominan calcio y magnesio el peligro disminuye. La relación de adsorción de sodio (**RASr**) en una solución del suelo, se relaciona con la adsorción de sodio en el agua de riego y, en consecuencia esta relación puede usarse como “índice de sodio” o “peligro de sodificación que tiene dicha agua”.

$$RAS_r = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (1)$$

Donde: Ca: Contenido de Calcio en el agua (meq/l)

Na: Contenido de Sodio en el agua (meq/l)

Mg: Contenido de Magnesio en el agua (meq/l)

**Relación de Adsorción de Sodio Ajustada** <sup>(Mendez, F., 1998)</sup>

Coger y Maasland (1963), propusieron el uso de la Relación de Adsorción de sodio ajustada (**RAS<sub>aj</sub>**) como un índice que considera los procesos de precipitación y dilución del Ca después de un riego y se emplea para indicar el riesgo de aumento del **RAS** en el suelo.

$$RAS_{aj} = RAS_r [1 + (8,4 - pH_c)] \quad (2)$$

Donde:

**RAS<sub>aj</sub>**: **RAS** ajustado según ocurra precipitación de carbonatos.

**RAS<sub>r</sub>**: **RAS** en el agua de riego.

**pH<sub>c</sub>**: **pH** calculado del agua de riego.

Valores de **pH<sub>c</sub>** inferiores a 8,4 conducirán al aumento de la **RAS<sub>aj</sub>** debido a la precipitación de Carbonatos, lo cual será mayor a medida que la fracción de lavado sea menor. Este índice aparentemente sobrestima la predicción de afectación del suelo por sodio. Además los proponentes de la ecuación aceptaron un valor de **pH<sub>c</sub>** de 8,4 con base en el hecho de que el suelo es más buffer que el agua y que un suelo no sódico que contenga CaCO<sub>3</sub> tiene un pH de 8,4.

### *Relación de Adsorción de Sodio Corregida*

Suárez (1981), propone un índice para predecir los problemas de reducción de la infiltración causados por el aumento de la concentración relativa de sodio o la disminución del Calcio en el agua de riego una vez que esta penetra en el suelo.

$$RAS^{\circ} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{\circ} + Mg^{+}}{2}}} \quad (3)$$

Donde:

RAS<sup>o</sup>: Relación de adsorción de sodio corregida.

Na: Contenido de sodio en el agua, en meq/l.

Ca<sup>o</sup>: Contenido corregido de calcio, en meq/l.

Mg<sup>+</sup>: Contenido de magnesio en el agua, en meq/l.

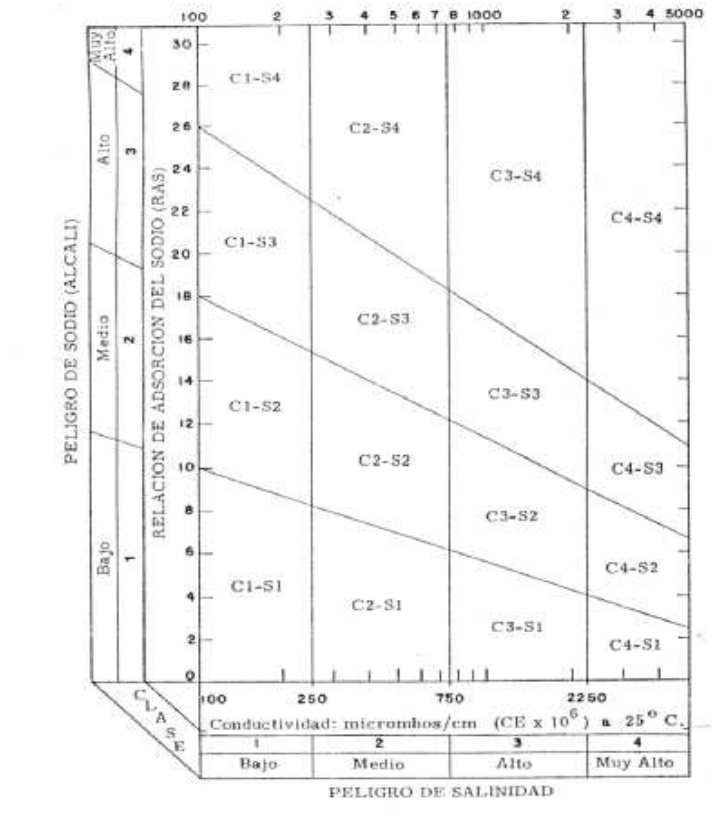
Este procedimiento ofrece una mejor comprensión de las modificaciones del calcio en el agua de riego cuándo esta penetra en el suelo, ya que si el **Ca<sup>o</sup>** es mayor que **Ca<sup>++</sup>**, hay disolución del Calcio de los Carbonatos y Silicatos, y sí **Ca<sup>o</sup>** es menor que **Ca<sup>++</sup>**, hay precipitación de calcio. Este procedimiento presume que no hay precipitación de magnesio ni precipitación de calcio como yeso. Los valores de **Ca<sup>o</sup>** corregido se obtienen de la relación adimensional existente entre  $(CO_3^{-} + HCO_3^{-}) / Ca^{++}$  y la conductividad del agua de riego en dS/m.

### *Sistema de Clasificación de Riverside* (Villafañe, R., 1999)

El laboratorio de Salinidad de Riverside presenta un diagrama de clasificación de las aguas de riego de acuerdo con la concentración total de sales y la concentración relativa de sodio en términos de la **RAS<sub>r</sub>**, donde se señalan recomendaciones de uso de acuerdo con los valores arrojados para dichos términos y con las condiciones de drenaje del suelo. Como los efectos adversos del sodio disminuyen con el aumento de

salinidad, esta clasificación presenta limitación para su uso generalizado. Por otra parte los efectos adversos del sodio sobre el suelo están más asociados al carbonato y bicarbonato de sodio que a las sales de sodio de baja hidrólisis.

Seguidamente se presenta el diagrama para calificar el agua de riego tomando en consideración las sales totales y la conductividad eléctrica.



**Figura 1:** Diagrama para Calificar el agua de riego de acuerdo al Laboratorio de Salinidad de Riverside (Adaptado de USSLS, 1954). (Villafañe, R., 1999)

Uno de los problemas más importantes asociados a la evaluación de la calidad del agua de riego son la salinización y sodificación del suelo. Ambos procesos son consecuencia del aporte de las sales durante el riego y el aumento de la concentración de la solución del suelo, cuando el agua es absorbida por el cultivo. Para poder tomar decisiones sobre la salinización y sodificación del suelo a partir de algunos

parámetros medidos en el agua de riego, se plantea uno de los métodos más utilizados en muchos países y es el propuesto por el Laboratorio de salinidad de Riverside, en donde este sistema se basa en la medida de la conductividad eléctrica (CE) del agua para determinar los riesgos de salinización en este agua. Para determinar el riesgo de sodificación se debe calcular la relación de adsorción de sodio (RAS); esta ecuación depende de las concentraciones de Sodio, Calcio y Magnesio. Para definir el comportamiento del agua se cuenta con cuatro clases de riesgos de salinización y otras cuatro de sodificación, resultando en total 16 clases de agua. Cada una de estas clases tiene unas condiciones para ser utilizadas en el riego.

A continuación se presentan los diferentes tipos y características para calificar el agua de riego.

**Tabla 13:** Clasificación del agua según la conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	Tipo	Características
< 250	C <sub>1</sub>	Aguas poco salinas, que pueden ser utilizadas para riego de cualquier cultivo, en suelos donde exista algún lavaje, bajo prácticas comunes de riego.
250-750	C <sub>2</sub>	Aguas medianamente salinas, pueden ser utilizadas para riego de la mayoría de los cultivos en suelos con lavaje moderado. Los cultivos resistentes a la salinidad pueden crecer sin prácticas especiales para el control de la salinidad.

**Tabla 13:** Clasificación del agua según la conductividad eléctrica (Continuación)

750-2250	C <sub>3</sub>	Aguas altamente salinas pueden ser usadas en suelos con buen drenaje, siendo necesario el empleo de prácticas especiales de manejo para el control de la salinidad
> 2250	C <sub>4</sub>	Aguas muy salinas, no adaptables para el riego a menos que exista una combinación de condiciones favorables, el suelo debe ser permeable y tener buen drenaje. Debe aplicarse un exceso de lámina de riego para asegurar un buen lavado. Sólo pueden sembrarse cultivos de alta tolerancia a la salinidad.

Fuente: Olivar, M. y Pedrique, R., (2006)

**Tabla 14:** Clasificación del agua de acuerdo a la Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

RAS <sub>r</sub>	Tipo	Características
< 10	S <sub>1</sub>	Aguas excelente, pocos daños por sodio; pueden utilizarse en la mayoría de los suelos.
10-18	S <sub>2</sub>	Aguas buenas, daños medianos por sodio: pueden utilizarse en suelos de textura gruesa y suelos orgánicos de buena permeabilidad, pero ocasionan problemas en suelos de textura fina, a menos que contengan yeso.
18-26	S <sub>3</sub>	Aguas aceptables, daños altos por sodio en casi todos los suelos, excepto los de gran contenido de yeso. Pueden usarse en condiciones de buen drenaje y de alta lixiviación. Adiciones de yeso y materia orgánica pueden ser beneficiosas.
> 26	S <sub>4</sub>	Aguas pobres, daño muy alto por sodio; no satisfactoria para la mayoría de los propósitos de riego.

Fuente: Olivar, M. y Pedrique, R., (2006)

*Aspectos físicos, químicos y biológicos del agua relacionada con el riego* (Villafaña, R., 1999)

La calidad exigida del agua de riego también está determinada por la tecnología de riego utilizada; es decir, cada método tiene exigencias particulares para poder operar adecuadamente.

(a) Los sólidos suspendidos no son una limitación en los métodos de riego de superficie a no ser que dentro de estos sólidos exista una carga importante de arcilla y otros materiales, que puedan crear problemas de sellado superficial en el suelo o se requiere de limpieza de canales y tuberías. En el caso de riego localizado, el uso de aguas con más de 100 mg/l de sólidos en suspensión requiere la consideración de decantadores antes de la entrada del agua al equipo, para reducir los problemas de limpieza y los riesgos de obstrucción de los emisores. Aguas contentivas de hierro, manganeso y/o de sales de solubilidad baja, presentan dificultades para su utilización con métodos de riego localizado, en especial del tipo goteo, ya que puede crear problemas de obstrucción por precipitación del hierro, del manganeso, del calcio y del magnesio. La precipitación del hierro y manganeso en los conductos de los emisores se solventa con agitación o caídas sucesivas del agua antes de la entrada al equipo, ya que la aireación promueve la oxidación de estos elementos antes de ser enviados al sistema de tuberías. La precipitación de carbonatos se evita garantizando un pH bajo en el agua retenida en las tuberías de riego, mediante la adición de algún ácido durante los últimos minutos del riego.

(b) Aguas con alto tenor salino manejadas con métodos de riego por aspersión que mojan los frutos y hojas, pueden crear serios problemas de quemado en esos órganos, afectando no sólo el rendimiento del cultivo sino también la calidad de los frutos. En el caso de contenidos importantes de sodio y cloro se pueden crear problemas de toxicidad ya que los mismos son absorbidos por el follaje. Contenidos importantes de carbonatos provocan la formación de incrustaciones blancas en hojas y frutos, que no

se disuelven con el siguiente riego, reduciendo la calidad del producto cosechado. Igualmente contenidos de hierro en el agua aplicada por aspersión provocan depósitos de aspecto desagradable en las hojas y frutos, que reducen la calidad del producto. Estos efectos pueden minimizarse realizando el riego de noche, ya que con la disminución de la evaporación se reducen las posibilidades de acumulación de estas sales y óxidos en las hojas y frutos.

(c) Agua con alto contenido de bacterias presentan riegos elevados de obstrucción de emisores en los equipos de riego localizado, por la actividad bioquímica de ferrobacterias y bacterias reductoras de sulfato. También de diatomeas y otras algas que se mantienen en suspensión y no son retenidos por los filtros. Las bacterias suelen controlarse con la cloración y las algas con la aplicación de sulfato de cobre en el agua de riego. Por lo demás, aguas con sales de solubilidad alta y con microorganismos patógenos pueden ser utilizados con esta tecnología de riego. Sin embargo, el uso prolongado de aguas salinas con riego localizado tipo goteo puede provocar una acumulación considerable de sales en la periferia del bulbo, que con el tiempo difunde hacia el centro del mismo.

En cuanto a la salinización de los suelos por agua de riego, su control depende de la técnica de riego utilizada. Existen diferentes técnicas de aplicación del agua de riego, cada una con sus ventajas, limitaciones y adaptabilidad a las condiciones de suelo, topografía y calidad del agua.

***Recuperación de suelos afectados por riego***<sup>(Villafañe, R., 1999)</sup>

***Prácticas de manejo del agua y suelo ante problemas de salinidad***

(a) Alcanzar altas eficiencias de aplicación y uniformidad de distribución del riego. Es decir, controlar el volumen de agua aplicado y hacer una buena elección y diseño del método de riego.

- (b) Manejo adecuado de la frecuencia y cantidad de agua aplicada (programación del riego).
- (c) Necesidades de lavado, es decir utilizar un determinado volumen de agua de riego o de lluvia, para remover parte o todas las sales del perfil del suelo antes que su concentración afecte el normal crecimiento del cultivo regado.

### *Manejo del cultivo*

Existe una serie de pautas de manejo de cultivos que se aplican cuando se utiliza agua de riego salina; (Rhoades, J. y otros, 1992). Estas son:

- (a) Garantizar la máxima y uniforme infiltración del agua de riego o de lluvia. Independientemente del método de aplicación del riego, deben realizarse todas las prácticas de manejo que favorezcan la infiltración del agua (sistemas de labranzas conservacionistas, uso de enmiendas, abonos verdes.).
- (b) La incorporación de abonos orgánicos, además de mejorar la permeabilidad, libera dióxido de carbono y ácidos orgánicos que al disminuir el pH, contribuyen a la mejor solubilización del carbonato de calcio y el intercambio del sodio por el calcio. De esta forma se previenen o mejoran los problemas de sodificación. El uso de leguminosas y su incorporación como abonos verdes, mejora la estructura y tienen igual efecto que el abono orgánico.
- (c) El cambio de cultivo por otro de mayor tolerancia a la salinidad o RAS es una opción extrema, a la que se debe llegar una vez que casi la totalidad de las otras alternativas posibles hayan sido descartadas.

### CAPÍTULO III

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se describe la ubicación de la Planta de Tratamiento de Taiguaiguay así como la del Embalse de mismo nombre y los diferentes tributarios que descargan en estos cuerpos de agua y posteriormente se detallan los tratamientos llevados a cabo por la planta.

#### *Embalse de Taiguaiguay*

El Embalse de Taiguaiguay está ubicado en el Municipio Lamas del Estado Aragua, construido en 1948 y puesto en funcionamiento con fines de riego a partir del año 1952. El embalse es alimentado por los ríos Turmero y Aragua, mediante un canal de derivación a partir de los Diques Turmero y Aragua, además tienen aportes de río Las Minas y Caño Maraca. El Embalse cuenta con un nivel máximo de 443,50 m.s.n.m, una capacidad máxima de 90 millones de m<sup>3</sup> y un área máxima de 2193 ha., además este Embalse tiene como aliviadero el caño Aparo, el cual drena al Lago de Valencia.

#### *Río Turmero*

Se encuentra ubicado al noreste de la cuenca del Lago de Valencia. Se origina por los aportes de los ríos Pedregal, Guayabita y Paya al norte de la población de Turmero, siendo su principal afluente el río Guayabita. Tiene una longitud aproximada de 41 Km. y drena un área de 245 Km<sup>2</sup>, su caudal es elevado y se encuentra controlado por el Dique Turmero uno de los ríos que alimentaba al embalse de Taiguaiguay a través del canal aductor Aragua-Turmero.

### ***Río Aragua***

Se encuentra ubicado en el sector noreste de la Cuenca del Lago de Valencia y se forma por la quebrada Macanilla y el río San Carlos. La dirección de recorrido es de Este-Oeste a partir de la Victoria, con una longitud de 58 Km. y el área de drenaje es de 398 Km<sup>2</sup>. El río Aragua es el más largo y el más caudaloso de la cuenca, sus aguas son desviadas en dos puntos:

En el dique la Curia, mediante un canal aductor para alimentar el embalse de Suata y aguas abajo está controlado por el Dique Aragua, en donde se une al río Turmero. Ambos ríos alimentan al embalse de Taiguaiguay a través del canal aductor Turmero-Aragua, por lo que el uso principal de estos ríos es el riego.

En la temporada de lluvia al igual que en el caso del río Turmero, el excedente continua por el cause natural del río Aragua hasta el lago de Valencia, este río también funciona como aliviadero del embalse de Taiguaiguay en época de lluvia cuando se rebosa el canal de riego de Las Flores.

### ***Caño Maraca***

Está ubicado al noreste del embalse de Taiguaiguay, en su recorrido recoge las aguas urbanas e industriales de la población de la ciudad de Cagua, las urbanizaciones La Trinidad, Cornisa, La Segundera, La zona industrial de Cagua, entre otras. Las principales actividades industriales son de tenerías, procesadores de grasas y papeleras. Actualmente este Caño es enviado a la nueva estación de Bombeo Huete.

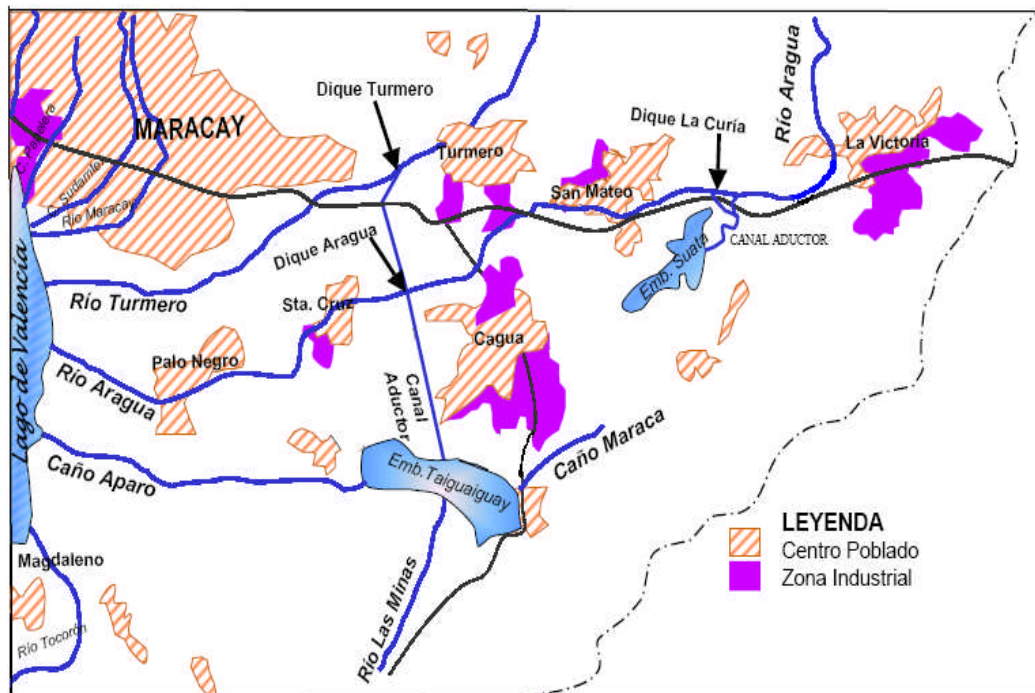
### ***Ríos las Minas***

Está ubicado al sur del embalse de Taiguaiguay en el Municipio Zamora del Estado Aragua, este es alimentado por la quebrada Cogollal. Recoge las aguas

servidas urbanas e industriales de Villa de Cura y la zona industrial de los Tanques para desembocar en el embalse de Taiguaiguay.

### *Canal Aductor Aragua- Turmero*

El Dique Aragua es un punto de control que permite recoger parte de las aguas del río Turmero que llegan al Dique del mismo nombre y de los excedentes del río Aragua que provienen del Dique la Curia, para luego continuar por el canal aductor hacia el embalse de Taiguaiguay. Este sistema fue llevado así por mucho tiempo pero en la actualidad este canal es enviado a la Planta de Tratamiento de Taiguaiguay. El canal tiene una longitud de 9,8 Km., con una capacidad de  $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ .



**Figura 2:** Mapa del Embalse de Taiguaiguay y Suata.

(Leal, N. y Loreto, H., 1997-2000)

### ***Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Taiguaiguay***

La planta de tratamiento de aguas residuales de Taiguaiguay está ubicada en el Municipio José Ángel Lamas específicamente en la población de Santa Cruz del Estado Aragua, su construcción comenzó a partir del año 1990, fue inaugurada en el año 1998 y puesta en funcionamiento a finales del año 2000.

Esta planta consiste en un sistema de lagunas anaerobia-facultativa, ubicada al norte del embalse Taiguaiguay, tratará las aguas servidas de las ciudades: Maracay, Cagua, Palo Negro, Santa Cruz, Turmero y zonas adyacentes. El tratamiento será de tipo secundario, con una capacidad de 5,0 m<sup>3</sup>/s.

En esta planta de tratamiento se tratarán las aguas de los Distritos Cloacales N° 1 (Maracay Centro-Oeste y el Limón), N° 2 (Maracay Norte Colector Marginal Río Las Delicias), N° 3 (Barrios del Sur de Maracay EB La Punta), N° 4 (San Joaquín- Santa Rita), N° 6 (Turmero), N° 7 (Cagua Centro Sur), N° 8 (Cagua Este-zona industrial).

### ***Estación de Bombeo Camburito***

Está ubicada al Sureste de Maracay en las cercanías de la desembocadura del río Turmero en el Lago de Valencia y dentro del área enmarcada por la poligonal de protección del Lago. La capacidad de bombeo es de 300 l/s y el caudal de diseño es de 4 m<sup>3</sup>/s, e incluye las aguas servidas que serán conducidas a través de los colectores: Interceptor Sur, Colector E-38 (El Limón), Colector B (Las Delicias) , Colector Principal Maracay y el Colector E (Marginal derecho río Güey), esta aguas llegarán a esta estación a través de una tubería de impulsión de 17 Km de longitud que bombeará hacia la planta.

### ***Estación de Bombeo Huete***

Está se encuentra ubicada en la parroquia Cagua, municipio Sucre del Estado Aragua, esta estación de bombeo beneficiará a una población de 117.107 habitantes, residenciados en las comunidades Alí Primera, El Huete, Zona industrial Las Vegas y la Comuna. Esta estación de bombeo capta las aguas residuales e industriales que actualmente desembocan en el caño Maraca y las envía a la planta de tratamiento con una capacidad de 500-800 l/s.

### ***Estación Elevadora Cagua***

Esta estación tiene la función de elevar el caudal de Cagua hacia el canal de entrada del sistema, esta consta de tres bombas tipo tornillo de Arquímedes, con una capacidad de 1000 l/s.

### ***Procesos llevados a cabo por la Planta de Tratamiento de Taiguaiguay***

#### ***Tratamiento Preliminar***

Un canal rectangular conduce hasta el desarenador la descarga proveniente de la estación Elevadora de Cagua, dicho desarenador es de tipo ciclón, que consiste en un tanque circular en el cual el caudal entra en forma tangencial y sale de manera radial, creando un vórtice, permitiendo de esta manera la separación de las partículas por fuerza centrífuga y por diferencias de densidades. De este sitio los sólidos serán removidos mediante una cuchara de almeja.

#### ***Tratamiento Primario***

Este consta de cuatro reactores primarios de forma modular, cada uno con una capacidad de 1.250 l/s. Dichos reactores consisten en unos estanques rectangulares,

excavados y revestidos con concreto, cada uno con un volumen de 85.600 m<sup>3</sup> y una profundidad de 5 m., los cuales han sido diseñados por las recomendaciones de Arthur (1983), con una carga orgánica de 350 g DBO/m<sup>3</sup>/día. Los módulos funcionan como lagunas anaerobias, diseñadas para lograr el máximo período de retención de sólidos y contacto entre el lodo retenido y el caudal afluyente. De esta manera se podrá lograr la mayor eficiencia de remoción de DBO y de la digestión de sólidos. Estos a su vez cuentan con cuatro tolvas en el fondo de cada uno de los reactores, cada tolva tendrá un sumidero en el fondo conectado hacia el sistema de lodo excedentes o bien el canal de entrada para inocular al caudal afluyente una biomasa apropiada para lograr una mayor eficiencia.

### ***Tratamiento Secundario***

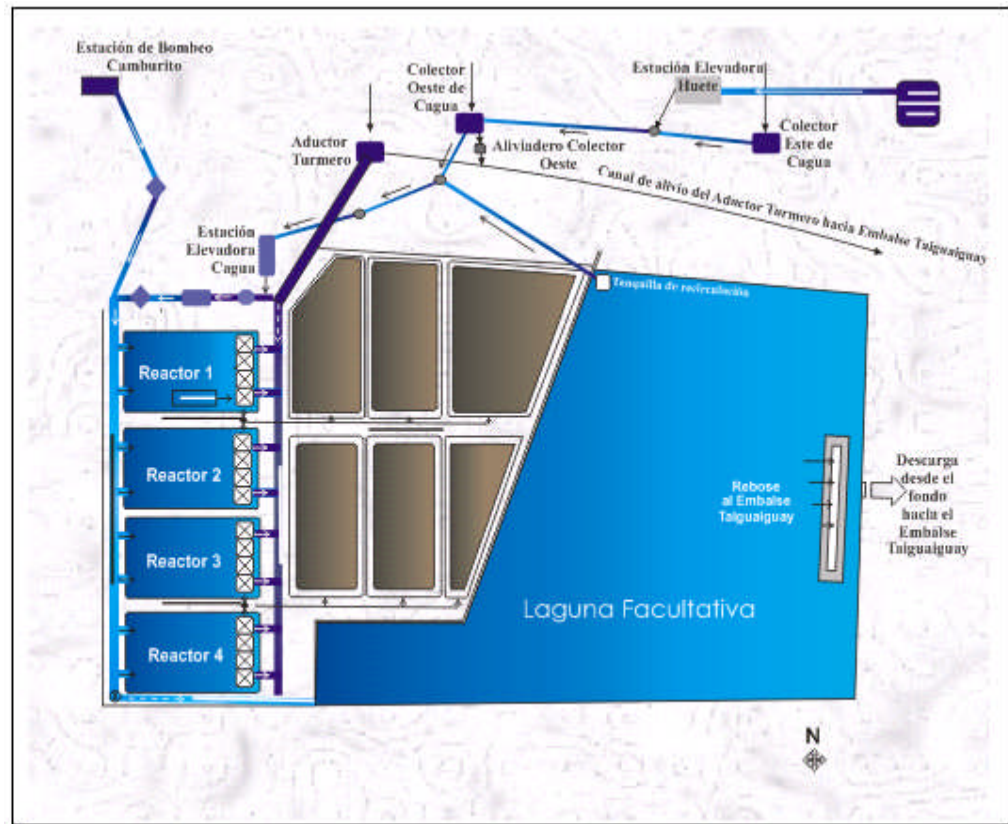
Desde los reactores primarios el canal recolector conducirá el afluyente primario hacia el tratamiento secundario, el cual consiste en una laguna facultativa formada en el vaso del embalse Taiguaiguay, dicha laguna tiene una longitud de aproximadamente 2.000 m., y un ancho promedio de 700 m., ocupando un área de una 155 ha. Esta laguna tendrá una profundidad variable entre 1 y 3,50 m., con un promedio de 1,50 m. y su diseño permite un tiempo de retención nominal de 25 días.

### ***Descarga del Efluente***

Las descargas de la laguna facultativa, consiste en tres vertederos de 12m., de largo, el efluente entrará al embalse en el punto más alejado de la toma actual del sistema de riego a 5 Km., con el propósito de aprovechar al máximo el tiempo de retención del embalse.

### Sistemas de Lodo

Los lodos serán conducidos desde cada reactor primario hasta los lechos de secado, que consiste en módulos de tierra con una profundidad de 1,5 m., cada uno permitirá una larga permanencia de dichos lodos en los mismos, para así lograr la máxima mortalidad de huevos de parásitos. Son 6 unidades con estas características, con una válvula de entrada de lodos y una rampa de acceso vehicular.



**Figura 3:** Esquema de la Planta de Tratamiento de Taiguaiquay y las Estaciones de Bombeo (Leal, N. y Loreto, H., 1997-2000)

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

El presente capítulo expone la secuencia de pasos que se llevó a cabo para cumplir a cabalidad los objetivos planteados en el presente Trabajo Especial de Grado.

#### 1) Revisión Bibliográfica

El objetivo fundamental de esta etapa es profundizar los conocimientos en cuanto a la temática planteada, esto con la finalidad de establecer criterios básicos para facilitar la estructuración de los fundamentos teóricos; entre ellos se consideraron los siguientes tópicos:

- ✚ Características de un agua residual para su reutilización en riego.
- ✚ Parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se deben considerar en un agua para determinar su calidad para el riego.
- ✚ Relaciones matemáticas que se deben aplicar para determinar la elevada concentración de sodio presente en el suelo.

La recopilación teórica, se basó en compilar información contenida en libros, Trabajo Especiales de Grado previos y formato Web. Entre los cuales se encuentran Méndez, F. (1998), Arellano, F. y Salazar, Y. (2004), llevadas a cabo en el embalse de Taiguaiguay y en el Sistema de Riego para la zona. Adicionalmente se consideraron investigaciones involucradas en el manejo del agua residual y aspectos que se deben tomar en cuenta para la reutilización de este agua en el riego y la incidencia de las mismas en el suelo, además del cumplimiento de las normativas aplicables para cada determinado uso.

Es importante destacar que se revisaron investigaciones relacionadas a la Planta de Tratamiento, con la finalidad de verificar su desempeño y la operación de cada uno de los procesos involucrados en la planta, además de considerarse los artículos presentes en el decreto 3219 de la vigente ley.

## 2) Determinación de la calidad del agua a tratar

### Identificación de los puntos para la toma de muestras

El programa de trabajo contempló en principio el reconocimiento de campo, para ello se efectuaron recorridos por todas las instalaciones de la Planta de Tratamiento y las inmediaciones del Embalse de Taiguaiguay. Dichos recorridos tienen la finalidad de precisar las fuentes puntuales de agua con caudal que drenan hacia la Planta y al embalse, características de cada uno de ellos y la ubicación de los diferentes puntos de muestreo.

Para las estaciones o puntos de muestreos se tuvo en consideración el fácil acceso, cercanía a las desembocaduras del embalse y la homogeneidad del agua en su recorrido, de manera que estos puntos siempre sean los mismos para todos los muestreos realizados.

Las estaciones seleccionadas para la captación de muestras, quedan integrados por un total de cuatro puntos ubicados de la siguiente manera.

### ***Entrada a la planta***

En este punto concurren las aguas provenientes de las estaciones de bombeo Camburito, Huete, canal aductor Turmero-Aragua y la estación elevadora de Cagua. La recolección de muestras en este punto permitió determinar las características físicas y químicas del afluente con lo cual se pudo evaluar el comportamiento de cada

uno de los parámetros involucrados, así como el desempeño y la eficiencia de los procesos de tratamientos de la planta.



**Figura 4:** Llegada de las aguas servidas a la planta



**Figura 5:** Punto de captación de las muestras

### ***Reactor Anaerobio***

El punto seleccionado en el reactor se ubicó a la salida de este. Las muestras recolectadas permitieron estudiar el comportamiento y las condiciones de operación llevadas a cabo por el reactor. El reactor que se empleó para toma de muestras es el reactor II ya que existen dos vacíos y el otro no se encuentra completamente lleno.



**Figura 6:** Reactor Anaerobio

### ***Salida de la planta***

El punto para captar las muestras se ubicó sobre el rebosadero de la laguna como es observado en la figura 7, la cual muestra la descarga del efluente que permitió evaluar la calidad del mismo, así como la determinación de la eficiencia de remoción del proceso para evitar las posibles contaminaciones ambientales y poder tomar decisiones sobre su determinado uso. Además se evaluaron el uso de algunos parámetros como las concentraciones de Coliformes Fecales y Totales, Sólidos Suspendedos Totales y otros que tienen una gran incidencia en los suelos y cultivos desmejorando el rendimiento y la calidad de los mismos.



**Figura 7:** Punto de recolección de muestras (Descarga del efluente)

### *Descarga del Embalse hacia los canales de riego*

Este es el último punto seleccionado, y se encuentra ubicado antes de los canales de riego. La recolección de estas muestras permitió evaluar el efluente destinado al riego y la consideración de algunos de los parámetros que la presente ley no considera y que deben tomarse en cuenta debido a estudios realizados que confirman efectos adversos sobre la tierra y los cultivos.



**Figura 8:** Punto de recolección de muestras  
(Descarga del Embalse al canal de riego).



**Figura 9:** Canales de Riego

En este programa de monitoreo se realizaron 6 muestreos los cuales están comprendidos cada 15 días que equivalen a tres meses de muestreos, además se obtuvo un total aproximado de 150 muestras en toda la campaña.

Los parámetros empleados para el análisis del agua se seleccionaron con base a las normativas ambientales presentes en los artículos 8 y 36 del vigente decreto 3219 publicado en la Gaceta Oficial extraordinaria de fecha 13/01/1999. Además es importante destacar que se consideró el uso de otros parámetros que no se encuentran establecidos en las normas para riego, pero que ellos tienen gran incidencia en las plantas, suelos y vida acuática.

#### Determinación de los caudales de entrada a la planta de tratamiento

Los caudales se determinaron a través de los medidores de caudal que se encuentran ubicados en los módulos de servicio de la planta, estos fueron medidos cada dos horas, por ende la captación de las muestras a la entrada se realizó en ese mismo periodo de tiempo hasta completar las veinticuatro (24) horas de muestreos.

La determinación de estos caudales permitió calcular el tiempo de retención de cada uno de los sistemas involucrados en el proceso para evaluar los posibles porcentajes de remoción de dicha planta y verificar su eficaz tratamiento. Además la medición de estos caudales permitió observar las posibles variaciones del agua según las actividades llevadas a cabo por la población; asimismo estos fueron comparados con el caudal proveniente de la población donde aproximadamente un 70 % de la población es retornada como aguas servidas.

#### ✚ Determinación de las características físicas y químicas del afluente

Para conocer estas características se procedió en primer lugar a la recolección de las muestras las cuales fueron divididas en dos turnos; el primer turno estuvo comprendido de 9:30 de la mañana hasta aproximadamente las 5:30 de la tarde y el segundo turno se realizó de 5:30 de la tarde hasta el siguiente día a las 9:30 de la mañana.

Para la recolección de las muestras del segundo turno se empleó un muestreador automático, ya que no se contaba con la disposición del personal, ni con la del vehículo. Este se programó cada dos horas y con un volumen determinado de 500 ml aproximadamente. La figura N° 9 muestra el recolector automático empleado.



**Figura 10:** Muestreador Automático empleados para la recolección de muestras en el turno 2.

Las muestras del primer turno fueron captadas a través de un recolector de muestras y se depositaron en unos recipientes limpios, las muestras del segundo turno se recolectaron en el recipiente observado en la figura. Luego estas muestras fueron mezcladas en el laboratorio en proporciones iguales para obtener la compuesta de 24 horas.

La recolección de muestras en los demás puntos se realizó de manera instantánea o sea al momento de la llegada al sitio seleccionado anteriormente.

Todas las muestras fueron preservadas y se colocaron en botellas previamente especificadas e identificadas según el parámetro a analizar.

✚ La determinación de los parámetros se realizaron según el “Stándar Methods for the Examination of Water and Wastewater” (SMWW) avalados por la APHA-AWWA-WEF. Estos parámetros definen el estudio polucional del medio en estudio. En la tabla que se presenta a continuación se muestra cada uno de los parámetros determinados para las evaluaciones de estas aguas.

**Tabla 15:** Métodos analíticos utilizados para la caracterización del afluente y efluentes de la Planta de Tratamiento y del Embalse de Taiguaguay.

Parámetro	Método	Código SMWW
Temperatura	Termómetro	2550
pH	Electrométrico	4500-H <sup>+</sup> B
Oxígeno Disuelto	Potencimétrico	4500-OG
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo Abierto	5220-B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Diluciones, DBO <sub>5,20</sub> <sub>5,20</sub>	5210-B
Sólidos Totales	Gravimétrico	2540-B
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico	2540-D

**Tabla 12:** Métodos analíticos utilizados para la caracterización del afluente y efluentes de la Planta de Tratamiento y del Embalse de Taiguaguay. (Continuación)

Sólidos Disueltos Totales	Gravimétrico	2540-C
Nitrogeno Total	Macro Kjeldahl	4500-B
Fósforo Total	Ácido Ascórbico	4500-PE
Cloruro	Argentométrico	4500-B
Sulfatos	Turbidimétrico	4500-E
Nitritos	Colorimétrico	4500-B
Nitratos	Espectrométrico U.V Selectivo	4500-B
Surfactantes	Aniónico SAAM	5540-C
Aceites y Grasas	Partición-Gravimétrico	5520-B
Metales	Espectrometría de Absorción Atómica	3110
Plaguicidas Organoclorados	Cromatografía de Gases	6630-B
Dureza Total	Titulométrico de EDTA	2340-C
Dureza Cálcica	Titulométrico de EDTA	3500-D
Dureza Magnesica	Titulométrico de EDTA	3500-D
Alcalinidad	Titulación	2320-B
Bacterias Coniformes Totales	Fermentación Múltiple (NMP)	9225-B
Bacterias Coniformes Fecales	Procedimiento de NMP	9225-C

Fuente: APHA-AWWA-WEF, 1998

Estos parámetros se determinaron para cada una de las muestras recolectadas a la entrada de la planta y a partir de la propagación de error de cada método se pudo evaluar el comportamiento de cada uno de estos resultados y establecer la muestra correspondiente a la entrada. Seguidamente los resultados de las 6 muestras compuestas obtenidas a la entrada de la planta se compararon a través de técnicas estadísticas como el promedio y la desviación estándar para estudiar el comportamiento de cada uno de estos resultados considerando las condiciones locales en cada caso.

### 3) Determinación de las eficiencias de remoción.

En esta sección se procede a determinar las eficiencias de remoción de cada una de los tratamientos llevados a cabo por la planta; en donde estos porcentajes son determinados una vez cuantificados los parámetros de entrada y salida de cada uno de los procesos involucrados en dicha planta. Estos porcentajes permitieron evaluar la eficacia de los sistemas, ya que a partir de los resultados obtenidos se puede predecir las posibles perturbaciones presentes en el proceso, las cuales pueden entorpecer las condiciones de operación de cada una de las variables involucradas en los tratamientos, además de estudiar la polución del ambiental basada en las cantidades de carga orgánica y de sólidos presentes en el agua tratada. Es importante resaltar que el efluente de la planta de tratamiento es descargado continuamente al embalse, por lo cual se requiere de un estudio exhaustivo a través del artículo 36 del decreto 3219.

### 4) Comparación de los efluentes y verificación del cumplimiento de los límites máximos permisibles para el agua de riego.

Conociendo el resultado de las caracterizaciones, se establecieron aquellos parámetros que excedan los límites establecidos en la normativa ambiental (Decreto 3219 de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5305). En donde estas normas clasifican el agua de riego como tipo 2, subtipo 2 A y 2 B. Además de verificar el cumplimiento de las normas ambientales, esta etapa permite evaluar las alternativas presentes para cada caso y ver cual de estos efluentes pueden ir destinados al riego.

### 5) Evaluación de la calidad de los efluentes para uso agrícola

Para predecir los problemas relacionados con la calidad del agua, se evaluaron los posibles riesgos que el agua de riego puede ocasionar en los suelos y cultivos a través de propuestas elaboradas por diferentes autores para así predecir su

determinado uso y mantener la calidad de éstos en condiciones aceptables. Esto se debe en primer lugar a que las normativas ambientales vigentes para el uso del agua de riego en nuestro país no son muy exigentes y requieren de la determinación de otros parámetros que garanticen la calidad del agua. Para ello se emplearon diferentes técnicas que permitieron evaluar los posibles daños de esta agua en los suelos y cultivos, pero independientemente del método usado se consideraron algunas de las tecnologías de riego más comunes.

Por tal motivo en esta sección se procedió a comparar los parámetros que guardan una estrecha relación con el sistema suelo, agua y plantas con algunos de los procedimientos planteados en la bibliografía de consulta.

Así de esta manera se pudo evaluar cada una de las alternativas presentes para evitar en lo posible la contaminación ambiental, los riesgos en la salud de los consumidores y trabajadores, además de las posibles soluciones acerca del uso de este agua.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados y análisis efectuados a los muestreos realizados en la planta de tratamiento y al embalse de Taiguaiguay con el propósito de cumplir a cabalidad los objetivos propuestos por este Trabajo Especial de Grado. Por último se estudiarán los parámetros que guardan una estrecha relación con el agua de riego y que no son considerados en las normativas ambientales vigentes; éstos tienen que ver con la salinidad, toxicidad y sodicidad del suelo.

#### *Determinación de los Caudales*

El afluente de la planta de tratamiento proviene de las estaciones de bombeo de Camburito y Huete, del canal aductor Turmero-Aragua y de la estación elevadora Cagua. Estas aguas son enviadas a la planta una vez que alcancen los niveles necesarios para ser bombeadas, sin embargo, la estación de bombeo Huete bombea aproximadamente cada tres horas debido a que no se cuenta con mucha actividad en la zona.

En la tabla 16 se exponen, el volumen de líquido vertido a la planta de tratamiento tal y como había sido establecido en el plan de muestreo, se determinó el caudal en litros/segundo de cada descarga a través de los medidores de flujo ubicados en los módulos de servicio de la planta.

Las variaciones de los caudales en una planta de tratamiento normalmente se encuentran relacionados a las actividades diarias llevadas a cabo por la población; pero éstas también pueden verse influenciadas por otros factores que causan un decremento o incremento de los niveles normales de líquido, como puede verse reflejado en los muestreos 1 y 3, ya que los mismos fueron afectados por las precipitaciones pluviales causando el aumento repentino del volumen de agua por

encima de lo normal, que corresponde aproximadamente a 1535 l/s determinado en el muestreo 2. También se observa que para los muestreos 4, 5 y 6 se tienen caudales promedios por debajo de lo normal los cuales oscilan de 735-781 l/s. Esto se debe a que no se contó con el suministro de las estación de bombeo Camburito por razones de mantenimiento, la cual representa el 55% de la dotación de agua servida a la planta. Además es importante resaltar que la variación de estos resultados también se ven perturbados por el sistema de bombeo de la estación de Huete.

**Tabla 16:** Caudales correspondientes a la entrada de la Planta de Tratamiento.

<b>Muestr</b> <b>os</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Hora</b>	<b>(l/s)</b>	<b>(l/s)</b>	<b>(l/s)</b>	<b>(l/s)</b>	<b>(l/s)</b>	<b>(l/s)</b>
09:30 a.m.	1850	1650	1500	1050	750	700
11:30 a.m.	2000	1650	1650	1200	650	700
01:30 p.m.	2150	2000	1650	750	650	750
03:30 p.m.	2150	1950	2000	750	650	700
05:30 p.m.	1775	1400	1700	850	750	900
07:30 p.m.	1825	1400	1900	750	750	900
09:30 p.m.	1800	1300	1850	700	800	950
11:30 p.m.	1600	1300	1700	650	800	800
01:30 p.m.	1550	1300	1600	650	800	800
03:30 p.m.	1450	1300	1550	650	800	750
5:30 p.m.	1450	1300	1550	650	750	750
07:30 p.m.	3000	1250	2050	650	700	700
09:30 p.m.	2800	2150	2950	750	700	700
<b>Q<sub>promedio</sub> (l/s)</b>	<b>2015</b>	<b>1535</b>	<b>1819</b>	<b>773</b>	<b>735</b>	<b>781</b>
<b>S</b>	<b>485</b>	<b>315</b>	<b>382</b>	<b>170</b>	<b>59</b>	<b>88</b>

S: Desviación estándar

1 y 3: Recolección de muestras con precipitaciones pluviales

4, 5 y 6: recolección de muestra con falta del suministro de una de las estaciones de bombeo

La dotación de agua potable a las ciudades de Maracay, Palo Negro, Santa Cruz y Cagua es realizada por la Empresa Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), la cual suministra un caudal de 1447 l/s para una población a servir de 500000 habitantes, lo que representa un abastecimiento por persona en esta zona de 250 l/hab.día. Según Cubillos, A., 2000 el porcentaje de retorno del agua servida se supone aproximadamente alrededor de 70% del agua potable utilizada por la población, por lo que el caudal de retorno a la planta de tratamiento es de 1013 l/s.

En la tabla 17 se presentan los resultados de cada uno de los caudales promedios determinados a la entrada de la planta, así como el de retorno.

Observándose que los caudales obtenidos en cada una de las mediciones realizadas a la entrada de la planta de tratamiento no coinciden con el caudal de retorno. Esto se debe a que el porcentaje supuesto sólo considera las descargas domésticas, en cambio los determinados a la entrada de la planta considera las descargas provenientes de los sectores domésticos e industriales, además sin dejar pasar por alto que estas variaciones de estos resultados se encuentran relacionados a las precipitaciones pluviales y la falta del suministro de la estación de bombeo Camburito.

**Tabla 17:** Caudal de retorno a la planta.

Muestreos	Caudales promedio (l/s)	Caudal de retorno (l/s)
1	2015	1013
2	1535	
3	1819	
4	773	
5	735	
6	781	

**Selección de la muestra de entrada**

En la tabla 18, se exhiben los resultados obtenidos en la determinación de los parámetros para cada una de las muestras recolectadas a la entrada de la planta, realizándose de esta manera para estudiar el comportamiento de cada turno, sin embargo, la muestra empleada es la 3, ya que la misma resulta de la mezcla de la muestra 1 y 2 y además es la que cumple con el tiempo requerido de 24 horas. Por este motivo en los muestreos posteriores únicamente se considera el análisis de esta muestra.

**Tabla 18:** Determinación de los parámetros a la entrada de la planta.

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	102	63	75
DQO (mg/l)	276	265	288
PTotal (mg/l)	3,5	4,1	3,9
NTKjeldhal (mg/l)	20,0	20,0	20,0
NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	<0,010	<0,010	<0,010
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	<0,10	<0,10	<0,10
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	49,0	53,0	48,0
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	79,0	74,0	83,0
Alc. Total (mg/l)	252	230	246
DT (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	178	183	177
DCa (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	131	135	135
ST (mg/l)	716	620	720
STD (mg/l)	368	376	391
SST (mg/l)	348	244	329
Surfactantes (mg/l)	1,69	1,42	2,36
Aceites y Grasas (mg/l)	22	13	19
Ca (mg/l)	52,00	54,00	54,00
Mg (mg/l)	11,00	12,00	10,00
Na (mg/l)	43,0	64,0	43,0

Seguidamente se procede a comparar cada uno de los resultados obtenidos en todos los muestreos realizados en la entrada a la planta, lo que permitió evaluar a través de técnicas estadísticas el comportamiento de cada uno de estos resultados.

### **Determinación de las características físicas y químicas del afluente.**

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la medición de los parámetros físicos y químicos de las muestras correspondientes a la entrada de la planta de tratamiento.

En la tabla 19, se exhiben las concentraciones determinadas a la entrada de la planta, donde se puede observar que las variaciones de estos resultados se deben en un principio a numerosas variables que no pueden ser controladas, como es el caso de las precipitaciones pluviales presentes en los muestreos 1 y 3, las cuales causaron la dilución de algunas de estas concentraciones debido al aumento repentino del caudal, como puede observarse en el resultado de la DBO obtenido en el muestreo 1. También se debe considerar que la falta del suministro de la estación de bombeo Camburito es otro factor que influye en estos resultados.

Comúnmente el promedio y la desviación estándar son empleados para determinar la precisión y la exactitud de cada una de las muestras, sin embargo, es importante resaltar que para poder evaluar estas técnicas se requieren de valores verdaderos así como de ensayos por duplicado, que permitan medir la reproducibilidad de estos valores. Debido a que no se cuenta con valores verdaderos, ni de mediciones por duplicado, estas técnicas serán empleadas únicamente para verificar que tan semejantes o diferentes es un resultado de otro.

Por lo tanto se puede decir que la mayoría de los promedios determinados tienden un comportamiento similar a cada una de las concentraciones obtenidas en los muestreos; ya que la desviación estándar disminuye a medida el promedio se

acerca a los valores determinados, manteniendo la concordancia de cada una de estas mediciones.

**Tabla 19:** Análisis fisicoquímicos efectuados a las 6 muestras compuestas del afluente de la PTAR-Taiguaguay.

Muestras Parámetros	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	S
pH	6,2	6,6	6,8	6,8	7,8	6,6	6,6	0,54
DBO <sub>5,20,20</sub> (mg/l)	75	186	120	117	135	169	134	40
DQO (mg/l)	288	211	387	319	207	250	277	69
PTotal (mg/l)	3,9	3,0	4,5	5,6	4,8	4,2	4,5	0,6
NTKjeldhal (mg/l)	20,0	27,0	25,0	22,0	26,0	33,0	24,0	4,9
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	48,0	119,0	58,0	49,0	18,0	42,0	56,0	34,0
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	83,0	83,0	66,0	73,0	28,0	54,0	65,0	21,0
Alc. Total (mg/l)	246	250	196	223	255	266	239	25
DT (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	177	171	193	173	160	177	175	11
DCa (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	135	99	139	115	115	116	120	15
ST (mg/l)	720	815	928	728	612	524	721	143
STD (mg/l)	391	631	433	430	396	371	442	95
SST (mg/l)	329	184	495	298	216	153	279	125
Surfactantes (mg/l)	2,36	1,75	2,10	3,00	0,95	1,46	1,94	0,72
Aceite y Grasas (mg/l)	19	7	6	16	18	5	12	6
Ca (mg/l)	54,00	40,00	56,00	46,00	46,00	46,00	48,00	6,00
Mg (mg/l)	10,00	17,00	13,00	58,00	11,00	14,00	21,00	18,00
Na (mg/l)	43,0	102,7	70,1	55,3	60,7	44,0	62,6	22,0
K (mg/l)	6,6	7,3	13,8	3,1	8,8	17,0	9,4	5,0
Fe (mg/l)	3,17	1,66	1,77	0,71	0,99	1,75	1,68	0,85

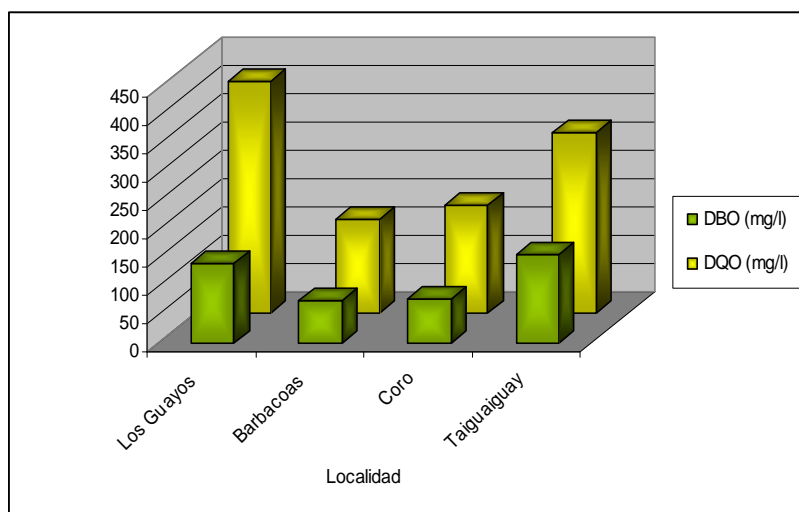
$\bar{x}$  : Promedio de la muestra

S: Desviación estándar de la muestra

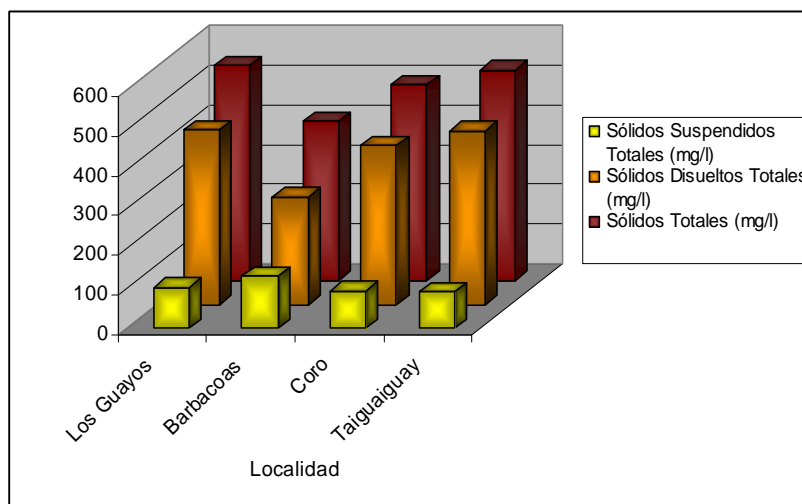
1 y 3: Recolección de muestras con precipitaciones pluviales

4, 5 y 6: Recolección de muestra con falta del suministro de una de las estaciones de bombeo

Seguidamente se presenta una serie de parámetros correspondientes a caracterizaciones de aguas servidas producidas en diversas zonas de Venezuela; todas las determinaciones de estos parámetros fueron aportados por la Dirección Estatal Ambiental Aragua para el año 2006.



**Figura 11:** Parámetros químicos de aguas servidas correspondiente a diversas localidades de Venezuela.



**Figura 12:** Sólidos presentes en aguas servidas correspondiente a diversas localidades de Venezuela.

Como puede apreciarse en las figuras 11 y 12, las composiciones del agua residual varían sustancialmente en los diferentes lugares, zonas o regiones de Venezuela. Esto se debe a varios factores como los hábitos, el nivel de vida de la población, el consumo, y la carga de materia orgánica presente en estas. Las aguas servidas de las diferentes localidades son en su mayoría domésticas, sin embargo, también existen descargas industriales, excepto Barbacoas las cuales son domésticas y de procedencia agrícola.

Por su parte en el medio rural no expuesto a la urbanización, un incremento de las actividades agrícolas debido a sus tecnologías tienen repercusión sobre las aguas servidas en términos de cantidad y naturaleza de las sustancias que disuelven, dispersan o arrastran las aguas de suministro durante el cumplimiento de su función.

Las características físicas, químicas y biológicas son empleadas en los criterios de selección y diseño del proceso de tratamiento con la finalidad de tomar la mejor decisión en cuanto a la tecnología y tratamiento a emplear en cada región y considerando el destino de las aguas tratadas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada una de las caracterizaciones realizadas a la entrada de la planta, así como límites máximos establecidos para las descargas de vertidos y las diferentes clasificaciones del agua para el uso agrícola que se encuentran establecidos en el decreto 3219.

En la tabla 20, se observa que la mayoría de los parámetros determinados en el afluente de la planta de tratamiento no cumplen con los límites máximos establecidos en el artículo 36 (Decreto 3219 de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5305), para ser descargados al embalse de Taiguaiguay, lo que puede causar graves problemas de contaminación ambiental debido a alto contenido de materia orgánica y de nutrientes que desmejora la aptitud del embalse. Por esta razón se requiere del tratamiento de esta agua para determinar las características físicas y químicas del

afluente y efluente con la finalidad de poder evaluar el comportamiento y la calidad de esta agua. También el tratamiento posterior permitirá evitar el impacto nocivo sobre la salud y el ambiente.

**Tabla N° 20:** Verificación del afluente de la planta para ser descargado al embalse de Taiguaiguay.

<b>Parámetros</b>	<b>Promedio del afluente de la PTAR</b>	<b>Límites Máximos Art. 36</b>
<b>DBO<sub>5,20</sub></b>	134	60
<b>DQO (mg/l)</b>	277	350
<b>PTotal (mg/l)</b>	4,5	1,00
<b>NTKjeldhal (mg/l)</b>	24	10
<b>SST (mg/l)</b>	239	80

A continuación la tabla 21, muestra la comparación del afluente de la planta con los diferentes tipos de agua empleadas para el riego, en donde se observa que nuevamente se requiere del tratamiento del mismo, ya que se deben reducir la presencia de microorganismos los cuales deben ser evaluados para estudiar el impacto nocivo sobre el ambiente y la salud. Por tal motivo este afluente no puede ser comparado con los diferentes tipos de agua utilizadas en el riego, sin antes ser tratadas ya que deben determinarse las concentraciones de Coliformes Fecales y Totales, así como las características físicas y químicas que permitirá evaluar la calidad del agua y el desempeño de cada uno de los procesos involucrados en la planta.

**Tabla 21:** Verificación del afluente para ser usado en el riego agrícola.

Parámetros	Promedio del afluente de la PTAR	Límites máximos	
		Aguas Sub-tipo 2A	Aguas Sub-tipo 2B
CF (NMP/100ml)	----	<1000	<5000
CT (NMP/100ml)	----	<100	<100
STD. (mg/l)	442	3000	3000
Cd (mg/l)	<0,0200	0,0050	0,005
Cu (mg/l)	<0,05	0,2	0,2
Fe (mg/l)	<0,10	1	1
Ni (mg/l)	<0,10	0,5	0,5
Zn (mg/l)	<0,10	5	5
Cr (mg/l)	<0,10	0,05	0,05
Pb (mg/l)	<0,10	0,05	0,05

**Eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en los sistemas de tratamiento de la planta.**

A continuación se presentarán los diferentes resultados obtenidos en los muestreos realizados en la planta de tratamiento de Taiguaiquay, además de los respectivos porcentajes de remoción en cada uno de los procesos involucrados en la planta de tratamiento.

***Tratamiento Primario***

El tratamiento anaerobio del agua residual se basa en la descomposición o reducción de materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno, para así obtener la energía requerida en el crecimiento y el mantenimiento de los organismos anaerobios. Este sistema se encuentra constituido por 4 reactores anaerobios.

Además se presentarán las eficiencias de remoción obtenidas para este tratamiento con la finalidad de evaluar el comportamiento de cada uno de los parámetros y el rendimiento del sistema.

En la tabla 22, se exhiben los resultados obtenidos para cada una de las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_{5,20}$ ) determinadas a la entrada y salida del reactor, en donde estos resultados reflejan porcentajes de remoción muy bajos o en algunos no presenta ninguna remoción como puede observarse en los muestreos 1 y 3 debido a que las precipitaciones pluviales presentes en esos días de recolección, causaron la dilución de estas concentraciones disminuyendo su valor. Asimismo es importante destacar que la máxima remoción del tratamiento se obtuvo en el muestreo 2, con un valor de 37%, probablemente favorecido por el efecto de la dilución. Vale la pena resaltar que este porcentaje se logró en un tiempo de retención de 1 día, el cual se encuentra por debajo de los límites de diseño, en donde estos se establecen de 2-5 días. El resto de los muestreos poseen tiempos retención de 3 días, pero a pesar de ello no se cuenta con remociones altas.

**Tabla 22:** Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_{5,20}$ ) en el Reactor Anaerobio II.

Muestreos	$DBO_{5,20}$		Eficiencia de remoción (%)
	Entrada	Salida	
1	75	135	----
2	186	117	37
3	120	120	0
4	117	102	13
5	135	132	2
6	169	123	27

Estos resultados de la tabla pueden verse plasmados en las figuras 13 y 14 mostradas a continuación.

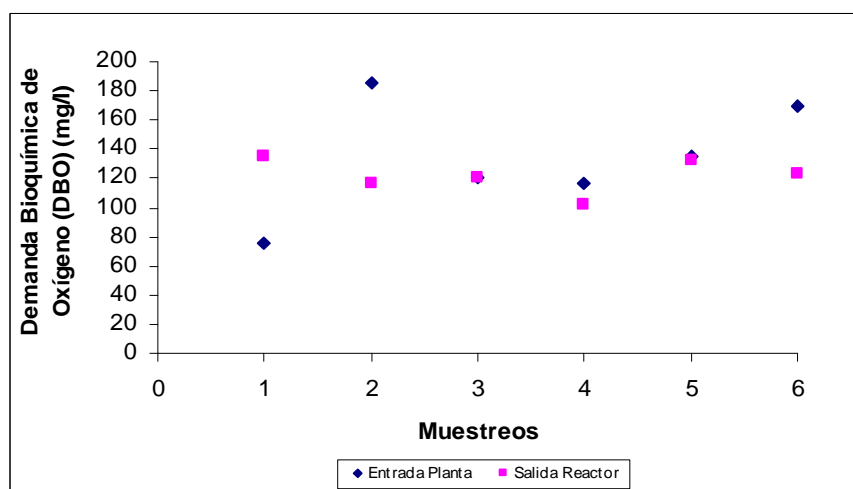


Figura N° 13: Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Reactor Anaerobio II.

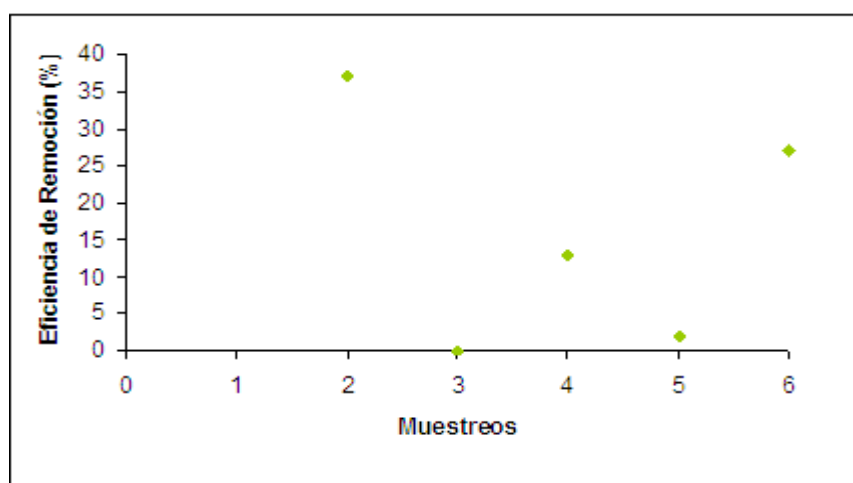


Figura N° 14: Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Reactor Anaerobio II.

En los resultados mostrados en la tabla 23, se puede observar que estos reflejan un mejor comportamiento en cuanto a las concentraciones de entrada y salida, sin embargo, a pesar de este hecho se obtienen porcentajes de remoción bajos, lo que asegura que el tratamiento no está operando eficazmente, ya que los porcentajes no se encuentran dentro del rango establecido por estos tipos de procesos,

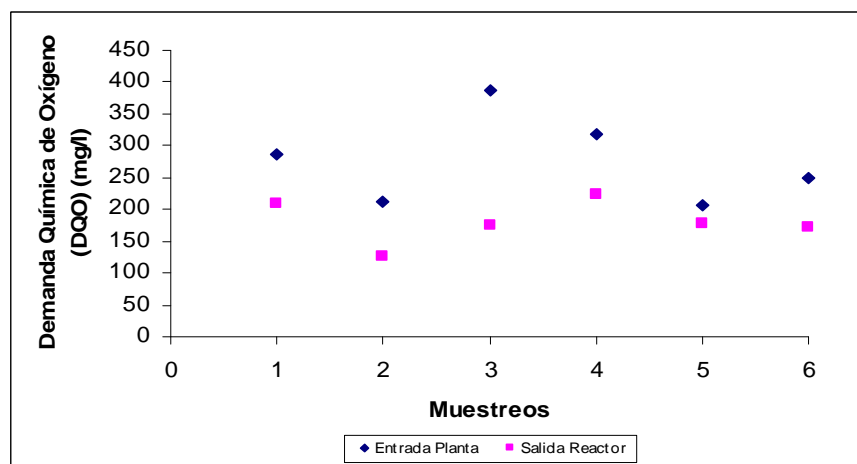
a excepción del muestreo 3, el cual presenta el mayor valor reportado en todos los muestreos realizados, encontrándose en 55%.

Todas estas alteraciones que muestran estos resultados, sólo señalan las condiciones inestables del sistema, haciendo ineficiente su funcionamiento ya que en estos tipos de tratamientos los niveles aceptables se encuentran aproximadamente del 50-70 % en remoción de materia orgánica. Igualmente es importante considerar que la recirculación periódica del lodo mejoraría el rendimiento del mismo.

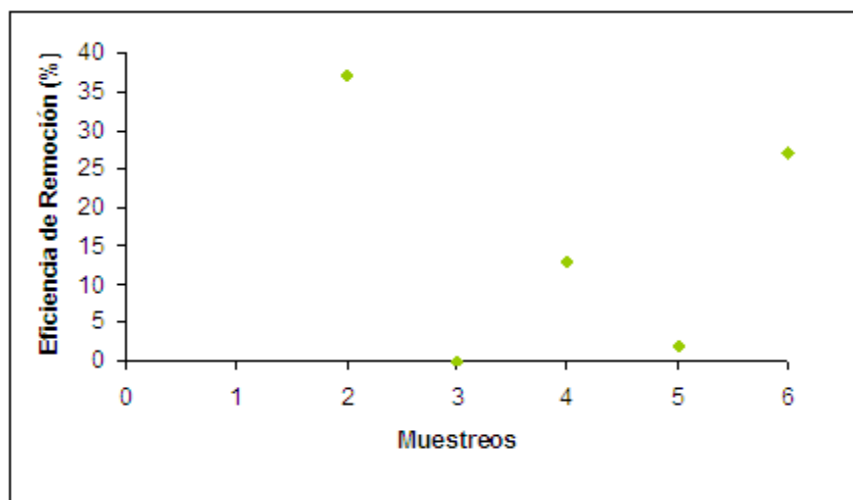
**Tabla 23:** Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el Reactor Anaerobio II.

Muestreos	DQO		Eficiencia de remoción (%)
	Entrada	Salida	
1	288	210	27
2	211	127	40
3	387	175	55
4	319	225	29
5	207	177	14
6	250	171	32

Nuevamente los resultados expuestos en la tabla 23, son mostrados en las siguientes figuras 14 y 15.



**Figura N° 15:** Demanda Química de Oxígeno en el Reactor Anaerobio II.



**Figura N° 16:** Remoción de la Demanda Química de Oxígeno en el Reactor Anaerobio II.

### ***Tratamiento Secundario***

En esta sección serán presentados los resultados obtenidos en la medición de los parámetros químicos de las muestras tomadas en el afluente y efluente de la planta de tratamiento, además de los porcentajes de remoción determinadas en este proceso.

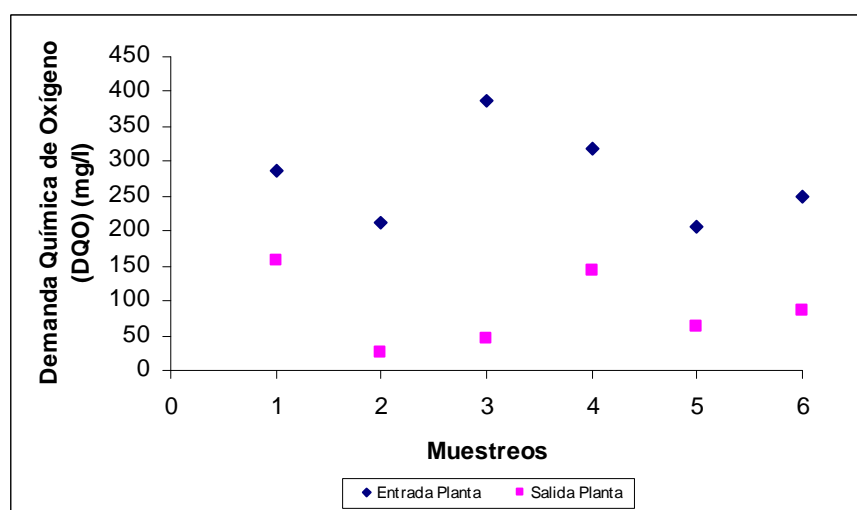
En los resultados mostrados en la tabla 24, se pueden observar las variaciones de las diferentes concentraciones determinadas en cada uno de los muestreos realizados para la DBO, donde se demuestra que el comportamiento de los resultados es el por estos tipos de tratamiento, ya que las concentraciones de entrada son siempre mayores que a la salida. Esto se debe en un principio a que las condiciones de operación de la laguna son las más favorables, debido que las bacterias facultativas degradan la mayoría de la materia orgánica contenida en el agua residual lo que puede corroborarse con los porcentajes de remoción. Estos resultados evidencian que los elevados porcentajes de remoción se encuentran en los muestreos 2 y 3, los cuales poseen remociones de 88%. Nuevamente estos porcentajes son obtenidos en tiempos de retención de 13 a 16 días y a pesar de no encontrarse cerca de los rangos de diseño

(entre 20 y 25 días), son los máximos porcentajes reportados en este tratamiento, confirmando la estabilidad del sistema. Sin embargo, se debe tener presente que el fenómeno de lluvias no afectó significativamente al muestreo 3, pero si al 1, el cual reporta una remoción de 45%, siendo el más bajo de todos los resultados obtenidos. Asimismo puede observarse que el resto de las remociones determinadas en los muestreos 4, 5 y 6, se encuentran afectadas por la falta de suministro de la estaciones de bombeo Camburito.

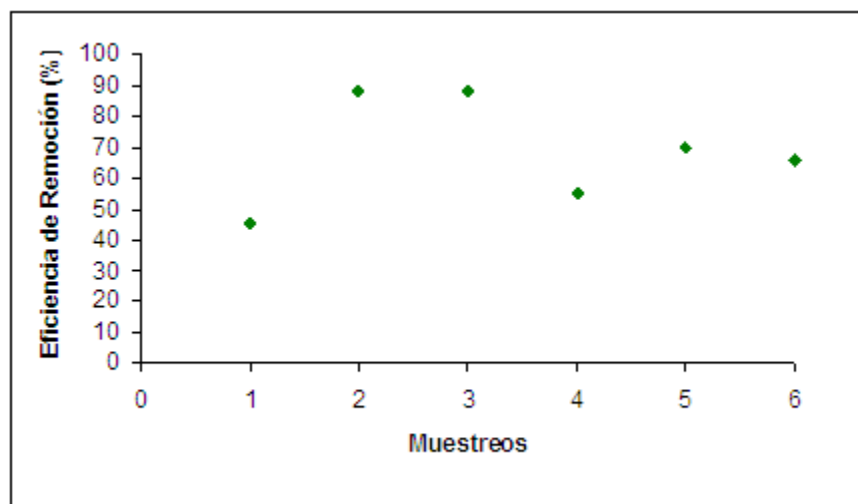
**Tabla 24:** Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Muestreos	DQO		Eficiencia de remoción (%)
	Entrada	Salida	
1	288	158	45
2	211	26	88
3	387	46	88
4	319	143	55
5	207	62	70
6	250	85	66

Los resultados presentados en la tabla 24 pueden verse representados en las siguientes figuras 17 y 18.



**Figura N° 17:** Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Laguna Facultativa.



**Figura N° 18:** Remoción de la Demanda Química de Oxígeno en la Laguna Facultativa.

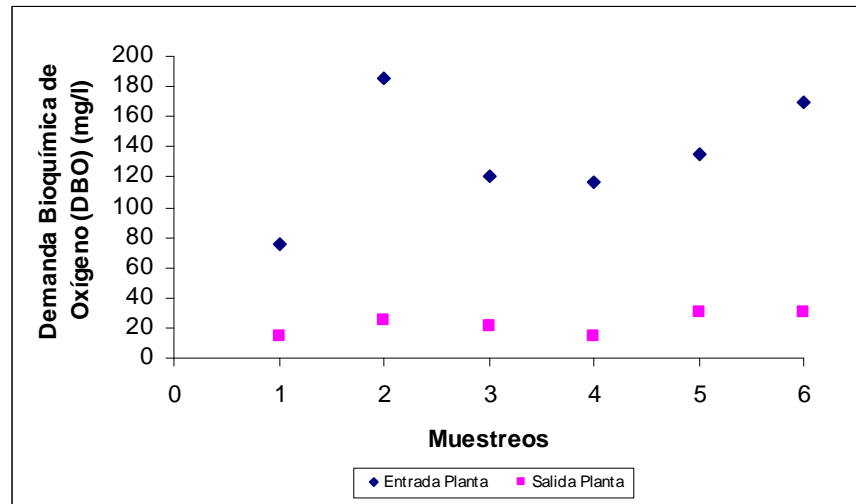
Seguidamente en la tabla 25, se exhiben los resultados obtenidos de las diferentes concentraciones medidas para la Demanda Bioquímica de Oxígeno. En donde estos resultados revelan que se obtienen niveles aceptables de remoción sobre todo para los muestreos 2 y 4, los cuales se encuentran entre 87 y 88%, lo que indica que el sistema se encuentra estabilizado.

La diferencia en los resultados de  $DBO_{5,20}$  y DQO para algunas de las muestras recolectadas en diferentes muestreos son atribuibles a la carencia de reproducibilidad en el patrón de uso de agua en la comunidad que alimenta la entrada de la planta y de forma aún más drástica a la dilución de la carga producida por la elevada pluviosidad registrada en algunos de estos muestreos.

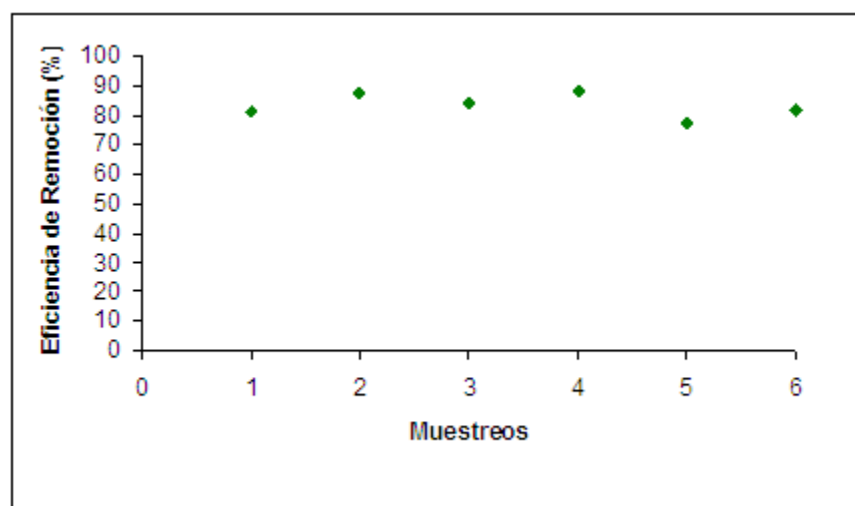
**Tabla 25:** Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Muestras	DBO <sub>5,20</sub>		Eficiencia de remoción (%)
	Entrada	Salida	
1	75	14	81
2	186	25	87
3	120	21	83
4	117	14	88
5	135	30	78
6	169	30	82

Nuevamente estos resultados serán mostrados a continuación en las figuras 19 y 20.



**Figura N° 19:** Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Laguna Facultativa.



**Figura N° 20:** Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_{5,20}$ ) en la Laguna Facultativa.

En los resultados expuestos en la tabla 26, se observan las diferentes concentraciones obtenidas para el Nitrógeno y el Fósforo Total en cada uno de los muestreos realizados en el tratamiento secundario, en donde se puede apreciar que las concentraciones de Nitrógeno presentan un comportamiento adecuado al tipo de tratamiento ya que los valores de la entrada son mayores a los de la salida, exceptuando el muestreo 1. Esto se debe en un principio a que el Nitrógeno es empleado por el sistema como protoplasma celular, convirtiéndose gran parte de éste en Nitrógeno Amoniacal, en Nitritos y Nitratos. Asimismo se puede observar que el Fósforo reporta concentraciones menores a la del Nitrógeno. En estos resultados también se observa que la remoción de estos compuestos es baja obteniéndose el máximo porcentaje en el muestreo 5 para ambos compuestos, encontrándose en 54% para el nitrógeno y en 48% para el Fósforo.

El uso de estos nutrientes en el sistema garantiza la formación y el mantenimiento del protoplasma celular necesario en éste tipo de tratamiento, sin embargo, las concentraciones de éstos compuesto en el efluente del tratamiento deben ser controladas ya que pueden causar el envejecimiento prematuro de los cuerpos

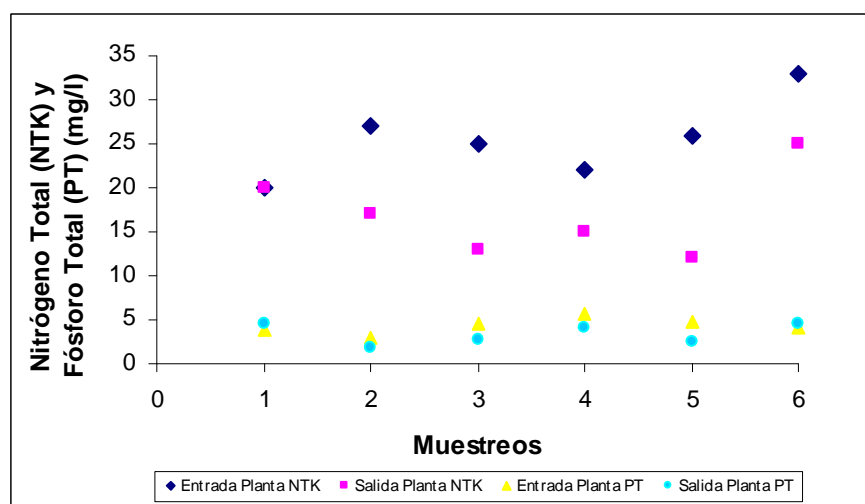
receptores debido al alto contenido de bioestimulantes que aceleran el crecimiento de plantas y algas afectando la vida acuática del embalse.

Todos estos resultados mostrados señalan la condiciones estables del sistema ya que se logra el grado de remoción deseado por estos tipo de tratamiento el cual es cerca del 90 %, sin embargo, es importante resaltar que algunos de estos resultados se encuentran afectados por las altas cargas de materia orgánica contenidas en el afluente recibido del tratamiento primario.

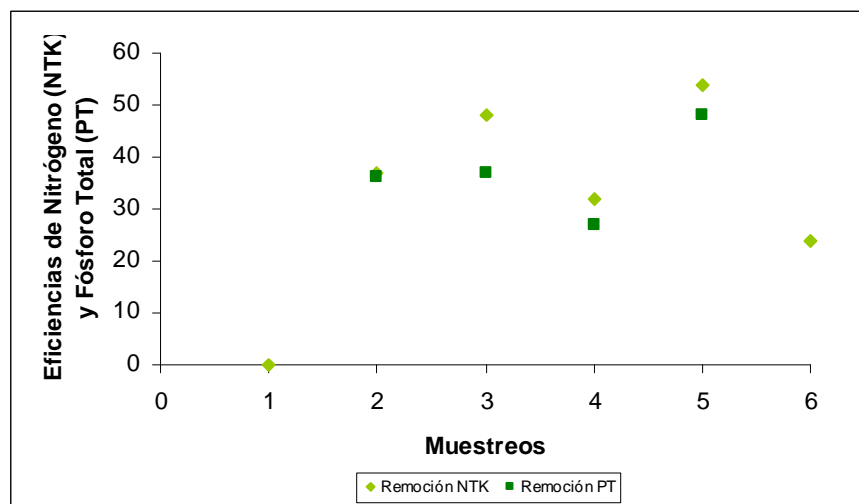
**Tabla 26:** Remoción de Nitrógeno Total Kjeldhal y Fósforo Total

Muestrros	NTK		PT		Eficiencia de remoción NTK (%)	Eficiencia de remoción PT (%)
	Entrada PTAR	Salida PTAR	Entrada PTAR	Salida PTAR		
1	20,0	20,0	3,9	4,5	0	----
2	27,0	17,0	3,0	1,9	37	36
3	25,0	13,0	4,5	2,8	48	37
4	22,0	15,0	5,6	4,1	32	27
5	26,0	12,0	4,8	2,5	54	48
6	33,0	25,0	4,2	4,5	24	----

Los resultados mostrados de Nitrógeno y Fósforo Total son representados gráficamente en las figuras 21 y 22.



**Figura N° 21:** Nitrógeno Total y Fósforo Total en la Laguna Facultativa



**Figura N° 22:** Remoción de Nitrógeno y Fósforo Total en la Laguna Facultativa.

Seguidamente en la tabla 27, se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros físicos y químicos determinados a la salida de la planta. En donde se observa, que las concentraciones del muestreo 3 para los Coliformes Fecales y Totales disminuyó en comparación al resto de las otras mediciones, reportando una concentración de 8000 NMP/100ml. Esto se debe principalmente a las pluviosidades presentes en ese día de recolección, sin embargo, este fenómeno no afectó las concentraciones del muestreo 1. Es importante mencionar que el promedio y la desviación estándar se utilizará únicamente para verificar la diferencia de cada uno de estos resultados, ya que no se tienen valores verdaderos de estos parámetros. En este sentido se puede apreciar que estos resultados reflejan poca dispersión ya que la desviación estándar disminuye una vez que el promedio se comporta de manera similar a cada uno de las mediciones realizadas; exceptuando las concentraciones de los Coliformes Fecales y Totales.

**Tabla 27:** Análisis físicos, químicos y biológicos de los 6 muestreos realizados al efluente de la PTAR-Taiguaguay

Parámetros \ Muestreos	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	S
pH	8,3	6,8	7,2	6,9	7,6	6,7	7,0	0,39
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	14	25	21	14	30	30	22	7
DQO (mg/l)	158	25	46	143	62	85	87	53
PTotal (mg/l)	4,5	1,9	2,8	4,1	2,5	4,5	3,4	1,1
NTKjeldhal (mg/l)	20,0	17,0	13,0	15,0	12,0	25,0	17,0	4,9
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	51,0	32,0	49,0	45,0	54,0	48,0	46,5	7,7
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	76,0	37,0	55,0	45,0	42,0	38,0	48,8	14,8
STD (mg/l)	495	391	348	373	390	387	397	51
SST (mg/l)	25	29	120	35	62	53	54	35
Surfactantes (mg/l)	0,29	0,20	0,33	0,38	0,23	0,20	0,27	7,41
Aceite y Grasas (mg/l)	6	5	3	3	4	3	4	1
CT. (NMP/100ml)	30000	30000	8000	90000	90000	24000	45000	36000
CF (NMP/100ml)	30000	30000	8000	90000	90000	24000	45000	36000

$\bar{x}$  : Promedio de la muestra

S: Desviación estándar de la muestra

1 y 3: Recolección de muestras con precipitaciones pluviales

4, 5 y 6: Recolección de muestra con falta del suministro de una de las estaciones de bombeo

A continuación se presentan los límites establecidos en el decreto 3219 de la Gaceta Oficial de Venezuela N° 5305 para los parámetros que mayor incidencia tienen en el tratamiento de las aguas residuales.

En la tabla 28 se presentan los resultados obtenidos de las concentraciones de diversos parámetros físicos y químicos de las muestras recolectadas, en donde se observa que, la mayoría de los parámetros, a excepción de la DBO, DQO y SST, exceden los límites establecidos en el artículo 36 de la normativa ambiental (Decreto 3219 de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5305).

Es importante señalar que el uso de este efluente puede causar un grave peligro de contaminación al embalse debido a su alto contenido en Coliformes Fecales y Totales, asimismo, éste puede ocasionar problemas de eutrofización por las elevadas concentraciones de nutriente (Nitrógeno y Fósforo).

**Tabla 28:** Comparación y verificación del efluente de la planta para ser descargado al embalse de Taiguaguay.

Parámetros	Promedio del efluente de la PTAR	Límites Máximos Art. 36
DBO <sub>5,20</sub>	22	60
DQO (mg/l)	87	350
PTotal (mg/l)	3,4	1,00
NTKjeldhal (mg/l)	17	10
SST (mg/l)	54	80
CT. (NMP/100ml)	45000	1000
CF (NMP/100ml)	45000	200

En la tabla 29 se exhiben los parámetros físicos y químicos del efluente del embalse, en donde estos resultados reflejan que la mayoría de los parámetros tienen un comportamiento similar a los valores determinados, debido a que la desviación estándar disminuye a medida que el promedio se acerca a cada uno de estos resultados, sin embargo, se debe nuevamente resaltar que el promedio y la desviación sólo son empleados para evaluar las diferencias de cada uno de estos resultados. Sin embargo, lo antes expuesto no aplica para las concentraciones de los Coliformes Fecales y Totales, ya que los mismos presentan concentraciones elevadas debido a que no se han controlado las descargas puntuales y no puntuales del embalse causando una gran dispersión en la determinación de estos parámetros. Asimismo puede apreciarse que las precipitaciones pluviales afectaron las concentraciones determinadas en los muestreos 1 y 3, encontrándose en 40 y 5000 NMP/100ml.

**Tabla 29:** Análisis físicos, químicos y biológicos de los 6 muestreos realizados al efluente del embalse de Taiguaiguay.

Muestreos Parámetros	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	S
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	5	8	6	4	11	5	7	3
DQO (mg/l)	77	43	61	23	18	63	48	24
PTotal (mg/l)	2,9	1,7	2,6	3,2	2,8	3,0	2,7	0,6
NTKjeldhal (mg/l)	6	7	6	6	4	15	7	4
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	83	81	74	72	74	74	76	5
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	76	60	55	57	45	51	57	11
STD (mg/l)	500	460	392	406	410	392	427	44
SST (mg/l)	25	27	160	22	22	12	45	57
Surfactantes (mg/l)	0,25	1,7	0,24	0,28	0,10	0,10	0,45	0,62
Aceite y Grasas (mg/l)	1	1	1	4	1	3	2	1
CT. (NMP/100ml)	40	30000	5000	160000	50000	5000	42000	61000
CF (NMP/100ml)	40	24000	5000	160000	50000	5000	41000	61000

$\bar{x}$  : Promedio de la muestra

S: Desviación estándar de la muestra

1 y 3: Recolección de muestras con precipitaciones pluviales

4, 5 y 6: Recolección de muestra con falta del suministro de una de las estaciones de bombeo

Seguidamente se presentan los límites establecidos en el decreto 3219 de la Gaceta Oficial de Venezuela N° 5305, para los diferentes tipos de aguas empleados en el riego agrícola.

**Comparación de los Efluentes y verificación del cumplimiento de los límites máximos permisibles del agua para el riego.**

En esta sección se presentarán los resultados correspondiente a los efluentes propuestos para su posible inserción en el sistema de riego, además de la verificación del cumplimiento de los límites permisibles establecidos en el Decreto 3219, el cual clasifica las aguas de riego como tipo 2, subtipo 2A y 2B.

El agua destinada para riego debe considerar algunos factores que garanticen la calidad del producto deseado y reduzcan así el impacto nocivo de los contaminantes sobre la salud y el ambiente. Es por ello que el suelo y el tipo de cultivo deben tomarse en consideración a la hora de calificar el agua de riego, ya que pueden existir la presencia de algún parámetros que obstruyan los sistemas de riego y causen daños irreversibles a las plantas y frutos disminuyendo así el rendimiento.

Los resultados de la tabla 30 revelan, que las concentraciones de Coliformes Fecales y Totales exceden los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental (Decreto 3219 de la Gaceta Oficial de Venezuela N° 5305); ya que los mismos presentan valores para los Coliformes Fecales entre 42000 y 45000 NMP/100ml y para los Colifomes Totales de 41000 y 45000 NMP/100ml, restringiendo de esta manera el uso de este agua en los sistemas de riego, ya que pueden causar daños de salud a los trabajadores de las tierras. Asimismo puede observarse que las concentraciones de sólidos totales disueltos se encuentran por debajo de los límites establecidos en las normativas ambientales (3000), encontrándose en 397 y 427 mg/l. El resto de los parámetros se encuentran por debajo de los límites establecidos en la normativa ambiental.

En estas tierras el cultivo que predomina es la caña de azúcar, este rubro representa el 55 % de la siembra en toda la zona y puede ser consumido de forma cruda, al igual que el cambur y otras hortalizas que a pesar de encontrarse en menor proporción en la zona estas deben tener un control extremadamente estricto ya que estos cultivos son de consumo fresco, lo que requiere aguas de tipo 2 A. Otros de los rubros sembrados es el maíz y este puede ser regado por los dos sub-tipos de agua presentes en estas normas ya que pueden consumirse con o sin cocción y el último cultivo a considerar es la yuca la cual debe regarse con aguas de tipo 2B.

**Tabla 30:** Verificación de los efluentes para uso agrícola

Parámetros	Promedio del efluente de la PTAR	Promedio del efluente del Embalse	Límites máximos	
			Aguas Sub-tipo 2A	Aguas Sub-tipo 2B
CF (NMP/100ml)	45000	42000	<1000	<5000
CT (NMP/100ml)	45000	41000	<100	<100
STD. (mg/l)	397	427	3000	3000
Cd (mg/l)	<0,0200	<0,0200	0,0050	0,005
Cu (mg/l)	<0,05	<0,05	0,2	0,2
Fe (mg/l)	<0,10	<0,10	1	1
Ni (mg/l)	<0,10	<0,10	0,5	0,5
Zn (mg/l)	<0,10	<0,10	5	5
Cr (mg/l)	<0,10	<0,10	0,05	0,05
Pb (mg/l)	<0,10	<0,10	0,05	0,05

ND: No detectable

Sub-tipo 2A, aguas para riego de vegetales crudos al consumo humano.

Sub-tipo 2B, aguas para el riego de cualquier otro cultivo y uso pecuario.

### **Evaluación de la Calidad de los efluentes**

Como fue mencionado anteriormente en esta sección se consideran los diferentes procedimientos que permitirán predecir los problemas relacionados con el uso del agua en el riego y sus posibles repercusiones en los suelos y cultivos.

A continuación se presentan los principales problemas que generan la aplicación de estas aguas en los suelos y cultivos sembrados en la zona.

Según el Sistema de Riverside existen 16 tipos para clasificar el agua empleada para riego, los cuales permiten evaluar las posibles consecuencias que el agua puede causar en los suelos y cultivos. Por lo tanto en las tablas 31 y 32 se pueden observar que en todos los muestreos se tiene un comportamiento similar o sea

que su clasificación es de tipo  $C_2S_1$ , lo cual indica que las aguas son medianamente salinas y pueden ser utilizadas en el riego de la mayoría de los cultivos; además se debe resaltar que el agua es excelente ya que puede ocasionar poco daño de sodio. La salinidad y sodicidad son factores importantes que deben ser considerados por que reducen la disponibilidad del agua en los cultivos a tal punto que afectan el crecimiento de las plantas ocasionando pérdidas en la producción debido a que estos factores pueden actuar simultáneamente en suelos y plantas.

**Tabla 31:** Clasificación del sodio y de la salinidad del efluente de la Planta de Tratamiento de Taiguaiguay.

Mueetros	$RAS_r$	$C.E$ ( <i>mmhos/cm</i> ) @ 25 °C	Tipo
1	3,07	773	$C_2S_1$
2	1,87	611	$C_2S_1$
3	2,47	543	$C_2S_1$
4	1,95	583	$C_2S_1$
5	2,00	609	$C_2S_1$
6	2,46	604	$C_2S_1$

**Tabla 32:** Clasificación del sodio y de la salinidad del efluente del Embalse de Taiguaiguay.

Mueetros	$RAS_r$	$C.E$ ( <i>mmhos/cm</i> ) @ 25 °C	Tipo
1	2,09	781	$C_2S_1$
2	2,42	677	$C_2S_1$
3	2,31	612	$C_2S_1$
4	1,74	634	$C_2S_1$
5	2,53	640	$C_2S_1$
6	2,43	612	$C_2S_1$

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos para la relación adsorción de sodio ajustada que permite evaluar los riesgos de alcalinidad presentes en estas aguas.

En los resultados expuestos en la tabla 33, se puede observar que los índices de saturación para ambos efluentes son positivos, lo que indica que existe precipitación de carbonatos. Además para ambos efluentes el  $RAS_{aj}$  reporta valores mayores al  $RAS_r$ , lo que da lugar a un aumento significativo de la relación de sodio en el suelo por las precipitaciones de carbonatos, reduciendo la calidad de los cultivos sembrados en la zona.

Esta técnica debe considerar las tecnologías de riego empleada, ya que la presencia de sales en el agua de riego desfavorece el rendimiento de los cultivos debido a que estas sales suelen depositarse en hojas y frutos desmejorando su apariencia, en especial cuando se emplea el riego por aspersión.

**Tabla 33:** Relación Adsorción de Sodio Ajustada.

Muestras	Índice de Saturación ( $I_s$ )		$RAS_{aj}$	
	Efluente PTAR	Efluente Embalse	Efluente PTAR	Efluente Embalse
1	0,3	0,5	4,0	3,1
2	0,7	0,6	3,2	3,9
3	0,5	0,4	3,7	3,2
4	0,5	0,6	2,9	2,8
5	0,6	0,6	3,2	4,0
6	0,5	0,6	3,7	3,9

Existen otros problemas que deben considerarse para interpretar la calidad del agua de riego, dentro de los cuales tenemos la toxicidad de iones específicos ya que

las altas concentraciones de esos compuestos pueden afectar los cultivos y las técnicas de riego empleadas.

En los resultados reportados en la tabla 34, se puede observar que ambos efluentes presentan concentraciones elevadas de cloruros causando un daño severo a las plantas y cultivos sembrados en la zona ya que este compuesto desmejora la calidad y el rendimiento del producto, sin embargo, el efluente del embalse presenta concentraciones mayores de cloruros que el de la planta de tratamiento. Como fue mencionado anteriormente el efluente del embalse es empleado por el actual sistema de riego, lo que se presume que éste causa problemas de toxicidad de plantas y cultivos debido al contenido excesivo de este compuesto, que provocan quemaduras en los bordes de las hojas cuando estos son absorbidos por las plantas a través del agua disminuyendo así el rendimiento de los cultivos. Es importante destacar que según la directrices aplicadas para evaluar la calidad del agua para riego la presencia de cloruros son dañinas a concentraciones mayores de 10 mg/l (Ayers, R. y Westcot, D., 1987), enfatizando que estos problemas de toxicidad pueden ocurrir aún cuando estos iones se encuentren en concentraciones muy bajas, debido a que estos se complementan cuando existen la presencia de salinidad y sodicidad en el agua de riego y en los suelos. Esto puede evitarse sembrando cultivos de corto tiempo de producción o sembrando cultivos tolerantes a estas concentraciones.

La tecnología de riego empleada también debe considerarse ya que si el riego es por aspersión este tiende a mojar las hojas causando quemaduras en las mismas debido a los iones tóxicos presentes en el agua de riego. Esta técnica presenta una restricción más estricta que para la técnica de riego por superficie. El sodio y el cloro son los iones que principalmente absorben las hojas y la toxicidad de ambos o de cada uno de ellos pueden causar problemas a cultivos sensibles, como los cítricos.

**Tabla 34:** Toxicidad de iones

Muestras	Cloruros en el Efluente Planta de Tratamiento Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Cloruros en el Efluente Embalse de Taiguaiquay Cl <sup>-</sup> (mg/l)
1	51,0	83,0
2	32,0	81,0
3	49,0	74,0
4	45,0	72,0
5	54,0	74,0
6	48,0	74,0

Otros problemas que ocurren con frecuencia es la proliferación de algas y de plantas acuáticas en los canales y en los sistemas de riego debido a la presencia de concentraciones elevadas de nitrógeno en forma de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) que ocasiona el retraso de la madurez de los cultivos reduciendo así la calidad del producto cosechado, además del crecimiento excesivo de las plantas por la estimulación de nutrientes presentes en el agua. Por tal motivo éste parámetro debe ser incorporado en las normativas ambientales. Según Ayers, R. y Westcot, D., (1987) los límites permisibles para las concentraciones de Nitrato no debe ser mayores a 10 mg/l. Como puede observarse las concentraciones de Nitratos para ambos efluentes presentan concentraciones bajas, asegurando que no se tenga la presencia de algas y de plantas acuáticas que obstruyan los canales y sistemas de riego empleados. Estos resultados son mostrados en la tabla 35.

**Tabla 35:** Concentraciones de Nitratos en los efluentes.

	Nitratos en el Efluente de la	Nitratos en el Efluente del
--	-------------------------------	-----------------------------

Muestreos	Planta de Tratamiento NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Embalse de Taiguaiguay NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
1	0,04	0,05
2	0,04	0,02
3	0,24	0,20
4	0,18	0,15
5	<0,10	0,10
6	<0,10	<0,10

Basándose en los resultados presentados, es posible afirmar que el parámetro más significativo en la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales y en el embalse es el alto contenido en Coliformes Totales y Fecales, los cuales restringen el uso del agua para el riego debido a los daño de salud que estas pueden causar a los trabajadores de la tierras, sin embargo, se puede resaltar que el efluente del embalse presenta menor concentración de estos parámetros, calificándolo como apto para ser empleado en el sistema de riego.

Ahora bien, considerando el objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado se puede decir, que existen soluciones para garantizar un efluente de calidad en la planta capaz de demostrar a través de sus propias características la capacidad de las operaciones de tratamiento para reducir significativamente el potencial de éste contaminante en el vertido líquido que puede afectar la calidad de vida de los seres establecidos en el cuerpo receptor o que representen potencial amenaza para la salud pública una vez que se propaguen a la cadena alimenticia; esto puede lograrse con la construcción de un tratamiento de desinfección, el cual garantizará una disminución significativa de aquellos organismos vivientes que puedan difundir o transmitir infecciones a través del agua. De esta manera se tendrá un efluente capaz de cumplir con las normativas establecidas y evitar la contaminación ambiental.

Asimismo esta acción beneficiará las condiciones del embalse, ya que resulta conveniente citar que el efluente de la PTAR descarga continuamente a este cuerpo receptor. En relación a este hecho se puede mencionar que existen otras descargas puntuales y no puntuales que deben controlarse para poder reducir el principal contaminante presente y mejorar la aptitud de éste recurso hídrico.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas de la culminación de cada una de las etapas implementadas para alcanzar los objetivos propuestos en este Trabajo Especial de Grado.

- ✚ La variación del caudal de entrada a la planta se debe principalmente a las precipitaciones pluviales, las cuales causaron el aumento repentino del volumen del agua por encima de lo normal y a la falta del suministro de una de las estaciones de bombeo.
- ✚ La dotación de agua potable por persona en la zona adyacente a la planta, es de 250 l/hab.día y el 70 % de este recurso hídrico utilizado por la población es retornado a la planta de tratamiento con un caudal de 1013 l/s.
- ✚ Análogamente, el porcentaje de retorno sólo considera las descargas domésticas, por lo tanto la cantidad de agua residual a la entrada de la planta no concuerda con el caudal de retorno.
- ✚ La mayoría de los valores determinados en el afluente de la planta mantienen un comportamiento similar a las mediciones realizadas.
- ✚ El afluente de la planta requiere de un tratamiento posterior para reducir la presencia de microorganismos presentes y evitar la contaminación ambiental.
- ✚ Los bajos porcentajes de remoción en tratamiento primario confirman el mal funcionamiento del mismo ya que el máximo valor obtenido es de 37%.

- ✚ Los elevados porcentajes de remoción obtenidos en el tratamiento secundario confirma la operación efectiva del mismo ya que se obtienen porcentajes de 88%.
  
- ✚ La reducción significativa de los contenidos de Nitrógeno y Fósforo indican que los compuestos están siendo utilizados en la síntesis de nuevo material celular microbiano responsable de conferir continuidad al proceso de depuración.
  
- ✚ Los Coliformes Fecales y Totales son los parámetros determinantes en la evaluación del sistema de tratamiento por ser éste el único valor fuera de los rangos permisibles en el Decreto 3219.
  
- ✚ Aún con las dificultades para el control de las descargas puntuales y no puntuales el efluente del embalse sigue siendo calificado para ser empleado en el sistema riego.

## CAPÍTULO VII

### RECOMENDACIONES

A continuación se presentarán unas series de recomendaciones que podrán mejorar los resultados obtenidos en este Trabajo Especial de Grado.

- ✚ Para alcanzar una operación estable en términos de remoción de materia orgánica contaminante, capaz de generar un efluente cualitativo y cuantitativamente demostrativo, se recomienda la recirculación periódica del lodo contenido en el reactor a las bandejas de secado con la finalidad de cumplir con los requerimientos necesarios por estos tipos de tratamiento.
- ✚ Ante las condiciones críticas de alto contenido de Coliformes Totales y Fecales en el efluente de la PTAR-Taiguaiguay, debe construirse un tratamiento terciario basado en la desinfección del agua, el cual promoverá la destrucción de los microorganismos presentes y evitará las posibles contaminaciones ambientales.
- ✚ Tomando en consideración los diferentes procedimientos empleados para evaluar la calidad del agua de riego, se recomienda la caracterización de los suelos sembrados a fin de predecir cada uno de estos riesgos y su posible repercusión en la cadena de cultivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARELLANO, F. y SALAZAR, Y., **Evaluación de la calidad física, químicas y biológicas de las aguas del embalse Taiguaiguay**. Trabajo Especial de Grado, I.U.T-Valencia, Escuela de Química, 2004.
2. AYERS, R. y WESTCOST, D. (1987), **La calidad del Agua en la Agricultura**. Volumen 29, N° 1. Editorial FAO. Roma (Italia).
3. BASTIDAS, L., **Estudio de la situación actual de los pequeños sistemas de riego de la zona central del país sector Valle de Tucutunemo**. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Escuela de Agronomía, 1982.
4. CANOVAIC, J., (1990), **Calidad agronómica de las aguas de riego**, Editorial Mundi-prensa, Madrid.
5. CLAIR, S. y otros (2000); **Química para Ingeniería Ambiental**; 4<sup>ta</sup> Edición. Editorial Mc Graw Hill. Colombia.
6. CRUZ, L., **Caracterización y diagnostico del grado de salinización actual o pontencial en los suelos de los asentamientos campesinos arenales del sistema de riego Suata-Taiguaiguay**, Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Escuela de Agronomía, 1986.
7. CUBILLOS, A., (1981), **Calidad y control de la polución del agua, ambiente y recursos naturales renovables**, Mérida Venezuela.
8. CUBILLOS, A., (2000), **Reactores Anaeróbios para el Tratamiento de Aguas Residuales Domiciliarias**. Editorial Rodeco. Mérida Venezuela

9. **Depuración de aguas residuales mediante Lagunaje Múltiple**\_revista [http://ab.dip-caceres.org/alcantara/alcantara\\_online/55/55\\_005c.htm](http://ab.dip-caceres.org/alcantara/alcantara_online/55/55_005c.htm),  
(Consulta, 2007, Enero 25).
10. GORDON, F. y ALEXANDE, D., (1987), **Ingeniería Sanitaria de las Aguas Residuales**, Tomo I y II. Editorial Ciencia y Tecnologías C.A. México
11. HIDROCAPITAL, **El agua en nuestras vidas**, <http://hidrocapital.com.ve/index.asp?spg>, (Consulta: 2006, Julio 9).
12. HILLEBOE, H., (1976), **Manual de Tratamiento de Aguas Negras**. Editorial Limusa. México, D.F.
13. HURTADO, J., GONZÁLEZ, C., LANDAETA W., **Análisis de la capacidad de regulación de aguas servidas tratadas del embalse Taiguaiguay**, Proyecto Lago de Valencia, Ministerio del Ambiente, 1986.
14. **Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales-IRC Centro Internacional de Agua Potable y Saneamiento**, [http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com\\_tecnologias&func=ver&id=9](http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com_tecnologias&func=ver&id=9),  
(Consulta, 2007, Enero 25).
15. LARSON, W. y GILLEY, J., (1976), **Soil-climate-crop. Considerations in the coastal rivers of Israel**. Water air soil pollution Vol. 4, Editorial HortScience Israel.
16. LEAL, N. y LORETO, H., (1997-2000), **Estudio Integral de los Tributarios de cuenca del Lago de Valencia**. Serie de Informes Técnicos (MARN).

17. MAGS, D. y otros (1973), **Municipal compost: Effect on crop yield and soils propities**, Optimun Crop Production, Israel.
18. MARNR: GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA N° 5305. Decreto N° 3.219. **Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos**. Caracas 1995.
19. MARN. **Informe y resultados de la caracterización de la planta de tratamiento Taiguaiguay realizado durante los años 2002-2003**.
20. MENDEZ, F., **Contribución al estudio sobre el uso de las aguas residuales con fines de riego**, Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Escuela de Agronomía, 1998.
21. MENDOÇA, S., (2000); **Sistemas de laguna de estabilización**, Mc GRAW HILL. Barcelona España.
22. METCALF & EDDY, (1985); **Tratamiento, Evaluación y Reutilización de Agua Residual**, 2<sup>da</sup> edición. Mc Graw Hill. Barcelona.
23. **Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA-AWWA-WPCF)**(1998).
24. OLIVAR, M. y PEDRIQUE, R., **Evaluación hidrogeológico del río del Valle Tucutunemo, Municipio Zamora-Estado Aragua**. Trabajo Especial de Grado, U.C.V. Escuela de Geología, 2006.

25. PESCOD, M., (1992), **Wastewater treatment and use in agriculture, irrigation and Drainage** paper 47, Editorial FAO, Rome (Italy).
26. RIVAS, G., (1978), **Tratamiento de Aguas Residuales**, Editorial Vega, 2<sup>a</sup> edición, Madrid (España).
27. ROMERO, J., (1999); **Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización**; 3<sup>era</sup> Edición. Editorial Alfaomega. México D.F.
28. RHOADES, J. y otros (1992), **The use of saline water for crop production**, Irrigation and Drainage paper 48, Editorial FAO, Rome (Italy).
29. SUAREZ, D., (1981), **Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters**, Sci Amer, Jerusalem (Israel).
30. VILLAFAÑE, R., **Clasificación y manejo de aguas de riego**; Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Escuela de Agronomía, 1999.



APÉNDICE A

*Tablas para calificar el agua desde el punto de vista de las propiedades el suelo*

A continuación se presentan las tablas empeladas para obtener la composición salina del agua.

**Tabla A.1:** Suma de concentraciones de Calcio y Magnesio

Cálculo de  $p(\text{Ca} + \text{Mg})$

Suma de $\text{Ca}^{++}$ y $\text{Mg}^{++}$ (meq/l)	Valor de $p(\text{Ca} + \text{Mg})$
0,05	4,6
0,10	4,3
0,15	4,1
0,20	4,0
0,25	3,9
0,30	3,8
0,40	3,7
0,50	3,6
0,75	3,4
1,00	3,3
1,25	3,2
1,50	3,1
2,00	3,0
2,50	2,9
3,00	2,8
4,00	2,7
5,00	2,6
6,00	2,5
8,00	2,4
10,00	2,3
12,50	2,2
15,00	2,1
20,00	2,0
30,00	1,8
50,00	1,6
80,00	1,4

**Tabla N° A.2:** Suma de concentraciones de Calcio, Magnesio y Sodio

Cálculo de  $(pK_2' - pK_1')$

Suma de $Ca^{++}$ , $Mg^{++}$ y $Na^+$ (meq/l)	Valor de $(pK_2' - pK_1')$
0,05	2,0
0,10	2,0
0,15	2,0
0,20	2,0
0,25	2,0
0,30	2,0
0,40	2,0
0,50	2,1
0,75	2,1
1,00	2,1
1,25	2,1
1,50	2,1
2,00	2,2
2,50	2,2
3,00	2,2
4,00	2,2
5,00	2,2
6,00	2,2
8,00	2,3
10,00	2,3
12,50	2,3
15,00	2,3
20,00	2,4
30,00	2,4
50,00	2,5
80,00	2,5

**Tabla N° A.3:** Suma de las concentraciones de Carbonatos

Cálculo de p(AIK)

Suma de $\text{CO}_3^{2-}$ y $\text{CO}_3\text{H}^-$ (meq/l)	Valor de p(AIK)
0,05	4,3
0,10	4,0
0,15	3,8
0,20	3,7
0,25	3,6
0,30	3,5
0,40	3,4
0,50	3,3
0,75	3,1
1,00	3,0
1,25	2,9
1,50	2,8
2,00	2,7
2,50	2,6
3,00	2,5
4,00	2,4
5,00	2,3
6,00	2,2
8,00	2,1
10,00	2,0
12,50	1,9
15,00	1,8
20,00	1,7
30,00	1,5
50,00	1,3
80,00	1,1

**APÉNDICE B**

*Procedimiento de cálculo para determinar la Relación Adsorción Sodio y Relación Adsorción de Sodio ajustada.*

En esta sección se exhibe el desarrollo matemático para la estimación de la composición salina del agua para ambos efluentes. Este procedimiento se llevó a cabo empleando herramientas de cálculo, así como la ecuación propuesta en la revisión bibliográfica.

**Tabla B.1:** Pesos Atómico y de Valencia de los protones

Nombre	Símbolos	Peso Atómico	Valencia
Calcio	Ca <sup>++</sup>	40,078	2
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	24,305	2
Sodio	Na <sup>+</sup>	22,989	1

$$P.e = \frac{\text{Peso atómico}}{\text{Valencia}} \quad (\text{B.1})$$

$$\text{meq/l} = \frac{\text{mg/l}}{P.e} \quad (\text{B.2})$$

**Tabla B.2:** Peso equivalente de los protones

Símbolos	P.e
Ca <sup>++</sup>	20,039
Mg <sup>++</sup>	12,152
Na <sup>+</sup>	22,989

Una vez obtenido el peso equivalente de cada uno de los protones se procede a calcular las concentraciones en mili equivalentes/litros (meq/l) de cada uno de los muestreos correspondientes.

**Tabla B.3:** Concentraciones en mili equivalentes/litros a la salida de la Planta de Tratamiento

Muestreros	Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>		Na <sup>+</sup>	
	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)
1	59	2,94	11	0,91	98	4,26
2	31	1,55	27	2,22	59	2,57
3	46	2,29	7	0,58	68	2,96
4	52	2,59	26	2,14	69	3,00
5	53	2,65	8	0,66	59	2,57
6	55	2,75	6	0,49	72	3,13

**Tabla B.4:** Concentraciones en mili equivalentes/litros a la salida del embalse

Muestreros	Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>		Na <sup>+</sup>	
	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)	(mg/l)	(meq/l)
1	48	2,39	18	1,48	67	2,91
2	42	2,09	20	1,65	18	3,31
3	58	2,89	15	1,23	76	3,31
4	55	2,74	41	3,37	70	3,05
5	54	2,69	11	0,91	78	3,39
6	58	2,89	12	0,99	78	3,39

Seguidamente se emplea la ecuación (1) y así obtener la Relación de Adsorción de Sodio.

**Tabla B.5:** Relación de Adsorción de Sodio

Muestreros	RAS <sub>r</sub>	
	Planta de Tratamiento	Embalse
1	3,07	2,09
2	1,87	2,42
3	2,47	2,31
4	1,95	1,74
5	2,00	2,53
6	2,46	2,43

A continuación se presentan los cálculos para la obtención del RAS<sub>ajustado</sub> correspondiente al efluente de la Planta de Tratamiento.

$$pH_c = (pK_2 - pK_c) + p(Ca + Mg) + p(Alk) \quad (B.3)$$

Cálculo de  $(pK'_2 - pK'_c)$

$$Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ = 8,1 \text{ meq/l}$$

Una vez obtenida esta suma de las concentraciones, se procede a emplear la Tabla N° A.2 el correspondiente valor de  $(pK'_2 - pK'_c)$  se busca el valor correspondiente.

$$(pK'_2 - pK'_c) = 2,3$$

a) Cálculo de  $p(Ca + Mg)$

$$Ca^{++} + Mg^{++} = 3,85 \text{ meq/l}$$

Empleando la Tabla N° A.1 el valor correspondiente a  $p(Ca + Mg)$

$$p(Ca + Mg) = 2,72$$

b) Cálculo de  $p(ALK)$

Empleando la Tabla N° A.3, el valor correspondiente a  $p(ALK)$

$$CO_3 + HCO_3 = 1,73 \text{ meq/l}$$

$$p(ALK) = 0,6$$

$$pH_c = 2,3 + 2,7 + 0,6$$

$$pH_c = 5,6$$

La influencia sobre la permeabilidad del suelo que tiene un agua de riego no depende sólo de la relación entre sodio, calcio y magnesio, sino que está relacionada también con la presencia en la composición del agua de iones bicarbonato y carbonatos cuya actividad da lugar a la precipitación de calcio y magnesio y en

consecuencia, a la disminución de la concentración de estos elementos en beneficio de la acción degradante del sodio-

$$RAS_{aj} = 3,07 * (1 + (8,4 - 5,6))$$

$$RAS_{aj} = 11,9$$

**Tabla B.6:** Relación de Adsorción de Sodio Ajustado en el efluente de la Planta de Tratamiento.

$(pK'_{2} - pK'_{c})$	$p(Ca+Mg)$	$p(ALK)$	Índice de Saturación ( $I_s$ )	$RAS_{aj}$
2,3	2,7	3,1	0,3	4,0
2,2	2,7	2,8	0,7	3,2
2,2	2,8	2,9	0,5	3,7
2,3	2,6	3,0	0,5	2,9
2,2	2,8	2,8	0,6	3,2
2,3	2,8	2,8	0,5	3,7

**Tabla B.7:** Relación de Adsorción de Sodio Ajustado en el efluente del embalse de Taiguaguay.

$(pK'_{2} - pK'_{c})$	$p(Ca+Mg)$	$p(ALK)$	Índice de Saturación ( $I_s$ )	$RAS_{aj}$
2,3	2,7	2,9	0,5	3,1
2,3	2,7	2,8	0,6	3,9
2,2	2,8	3,0	0,4	3,2
2,3	2,5	3,0	0,6	2,8
2,3	2,7	2,8	0,6	4,0
2,3	2,7	2,8	0,6	3,9

## APÉNDICE C

### *Procedimiento de cálculo para la propagación de error.*

En esta sección se muestran las ecuaciones requeridas para determinar la propagación de error de algunos de los métodos empleados.

#### **Alcalinidad Total (DT)**

Se procede en primer lugar a ubicar los errores de cada uno de los instrumentos empleados en la determinación de éste método.

Solución madre (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02N)

$$C1*V1=C2*V2 \quad \text{C.1}$$

$$C2 = \frac{C1*V1}{V2} \quad \text{C.2}$$

$$\Delta C2 = \left[ \frac{\Delta V1}{V1} + \frac{\Delta V2}{V2} + \frac{\Delta V3}{V3} + \frac{\Delta C1}{C1} \right] * C2 \quad \text{C.3}$$

$$\Delta C2 = \left[ \frac{0,5ml}{50ml} + \frac{0,05ml}{125ml} + \frac{0,02ml}{3,54ml} + \frac{0,0007N}{0,02N} \right] * 178 = \pm 9$$

Donde: C1: Concentración de la solución madre

C2: Concentración de la muestra (mg/l)

V1, V2: Volumen de los instrumentos empleados fioas y cilindros (ml)

V3: Volumen de la titulación (ml)

#### **Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK)**

$$\Delta C2 = \left[ \frac{0,08ml}{100ml} + (3) * \frac{0,5ml}{50ml} + \frac{0,01ml}{1,83ml} + \frac{0,0002N}{0,02N} \right] * 20 = \pm 0,9$$

**Cloruros (Cl<sup>-</sup>)**

Solución madre (AgNO<sub>3</sub> 0,01233N)

$$\Delta C2 = \left[ \frac{0,5ml}{100ml} + \frac{0,05ml}{250ml} + \frac{0,02ml}{2,38ml} + \frac{0,00004N}{0,01233N} \right] * 48 = \pm 0,8$$

Es importante resaltar que el procedimiento es el mismo para cada uno de los métodos titulométricos; la diferencia se encuentra en los tipos de instrumentos empleados, la cantidad y el volumen usado en cada titulación. Para estos resultados se empleó las concentraciones correspondiente a la muestra 3.

**Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>)**

Solución madre (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Peso<sub>solmadre</sub> = 0,1479 g/l

$$\frac{0,1479gNa_2SO_4}{1l} * \frac{1molNa_2SO_4}{14,2Na_2SO_4} * \frac{96gSO_4^{=}}{1mol} * \frac{1000mg}{1g} = 99,99mg/l \cong 100mg/l$$

Luego se escogen varias concentraciones de Sulfato para obtener los patrones necesarios para la realización de la curva en el espectrofotómetro UV.

(5, 10, 20, 30, 40)ppm

$$\frac{5ppm * 100ml}{100ppm} = 5ml$$

Así se realiza para el resto de las concentraciones propuestas, obteniéndose de esta manera los diferentes patrones que se emplearán para la medición de la absorbancia en el equipo. Está curva puede observarse en el apéndice siguiente.

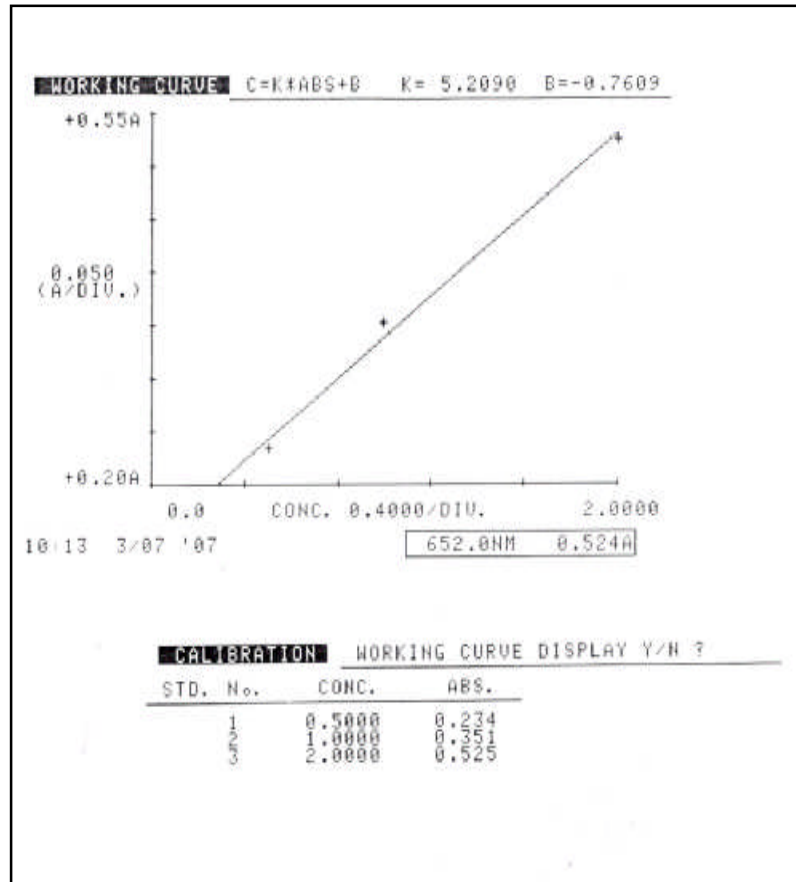
Para la propagación del error en los métodos que se determinan a través del espectrofotómetro UV, se procede a determinar los patrones de cada uno de los parámetros a ciertas concentraciones escogidas para ser leídas por éste equipo y obtener la absorbancia para así realizar la curva correspondiente para cada parámetro. Para obtener el error se utilizó el programa Graphic Start, cual arrojó el ajuste lineal y el error relativo de cada método.

En la metodología se puede observar la tabla en la cual se especifica los parámetros y el método empleado.

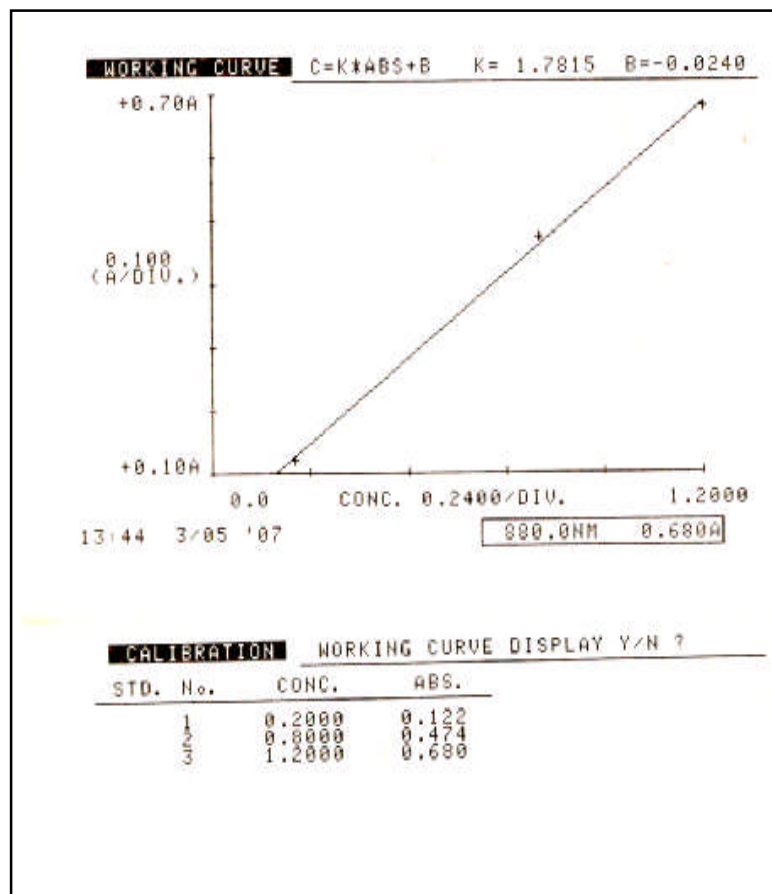
**APÉNDICE D**

*Resultados intermedios*

En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos en el espectrofotómetro UV, de algunos de los parámetros obtenidos en este equipo.



**Figura D.1:** Curva de Concentración para los Sulfatos



**Figura D.2:** Curva de concentración del Fósforo

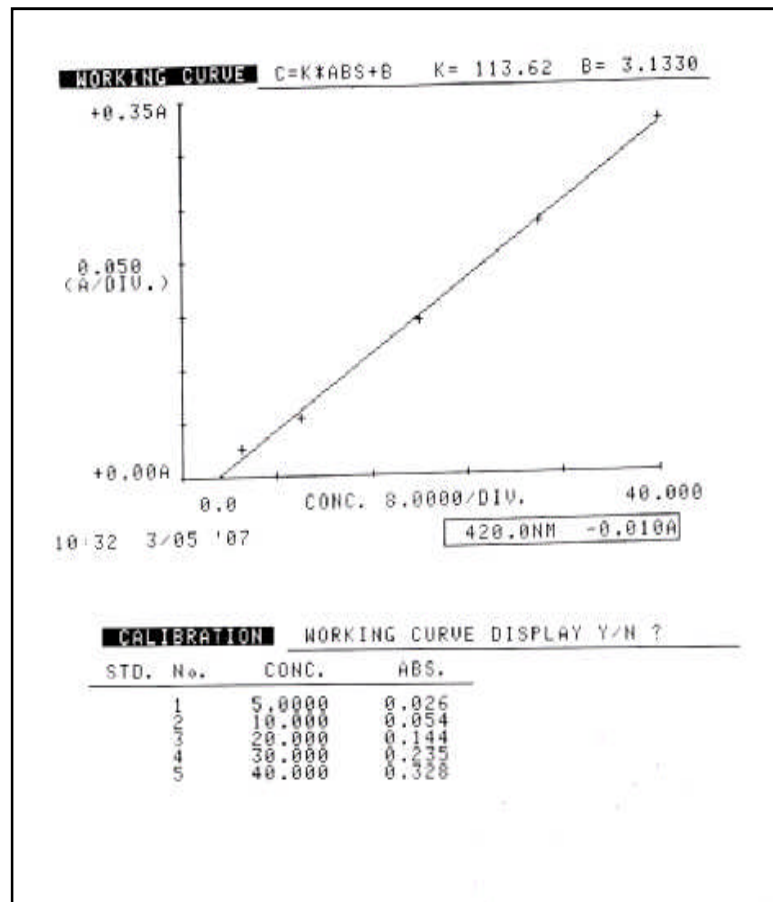


Figura D.3: Curva de concentración Sulfatos

**Tabla D.1:** Resultados del efluente de la planta

<b>Parámetros</b>	<b>Promedio del afluente de la PTAR</b>	<b>Límites Máximos Art. 36</b>
<b>pH</b>	6,6	6-9
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	56	1000
<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	65	600
<b>Surfactantes (mg/l)</b>	1,94	2,0
<b>Aceites y Grasas(mg/l)</b>	12	20
<b>CT. (NMP/100ml)</b>	----	1000
<b>CF (NMP/100ml)</b>	----	200
<b>Fe (mg/l)</b>	1,68	10
<b>Zn (mg/l)</b>	<0,10	5,0
<b>Cu (mg/l)</b>	<0,05	0,5
<b>Cr (mg/l)</b>	<0,10	2,0
<b>Cd (mg/l)</b>	<0,0200	0,1
<b>Pb (mg/l)</b>	<0,10	0,5
<b>Ni (mg/l)</b>	<0,10	1,0

**Tabla D.2:** Verificación y comparación de los efluentes con las normativas ambientales vigentes

Parámetros	Promedio del efluente de la PTAR	Promedio del efluente del Embalse	Límites máximos	
			Aguas Sub-tipo 2A	Aguas Sub-tipo 2B
<b>Cd (mg/l)</b>	<0,0200	<0,0200	0,0050	0,005
<b>Cu (mg/l)</b>	<0,05	<0,05	0,2	0,2
<b>Fe (mg/l)</b>	<0,10	<0,10	1	1
<b>Ni (mg/l)</b>	<0,10	<0,10	0,5	0,5
<b>Zn (mg/l)</b>	<0,10	<0,10	5	5
<b>Cr (mg/l)</b>	<0,10	<0,10	0,05	0,05
<b>Pb (mg/l)</b>	<0,10	<0,10	0,05	0,05