



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DE LA URBANIZACIÓN BLANQUILLO, CANTÓN DE OREAMUNO

HELLEN KARINA RODRÍGUEZ FONSECA

CARTAGO, COSTA RICA

2012

## DEDICATORIA

---

A Dios por darme la fortaleza de seguir cuando me he quedado sin esperanza, a mis padres por todos los sacrificios en que incurrieron para brindarme una educación, una herramienta y una fortaleza.

## AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco a mis padres, mis hermanos, mis amigos, a Susana, Bernal y Andrés por acompañarme y motivarme en las largas noches.

A Macario Pino por toda la ayuda brindada, el esfuerzo y tiempo dedicado a este proyecto.

A Jorge Calvo por los tantos consejos y recomendaciones, sobre este trabajo y sobre la vida.

A Ana Lorena por las aportaciones y por permitir que las mejoras planteadas en este trabajo sean puestas en marcha.

A mi tío Guillermo por lo ayuda con la estimación de costos de construcción de las mejoras propuestas.

A William Maroto y a la Municipalidad de Oreamuno, por la información brindada, la ayuda prestada y la comprensión sobre la importancia de trabajos de esta índole que benefician a la comunidad.

A los habitantes de la Urbanización Blanquillo por aportar la información necesaria para este trabajo, por opinar abiertamente y creer que trabajando en equipo es la única forma de todos salir beneficiados.

## ÍNDICE

---

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE CUADROS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
GLOSARIO .....	XIV
ACRÓNIMOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	1
I.    OBJETIVOS .....	3
i.  OBJETIVO GENERAL .....	3
ii.  OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
II.   RESULTADOS OBTENIDOS .....	3
MARCO TEÓRICO .....	4
I.    CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE LA POBLACIÓN .....	4
II.   CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	5
III.  CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....	8
IV.   OPCIONES DE OPTIMIZACIÓN Y/O MEJORA .....	14
V.    MANTENIMIENTO .....	15
METODOLOGÍA .....	18
I.    OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR .....	18
II.   PERFIL FÍSICO-QUÍMICO DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	18
III.  LIMPIEZA Y ARRANQUE DE LA PLANTA .....	19
IV.   IDENTIFICACIÓN DE LAS ACCIONES DE OPTIMIZACIÓN Y/O MEJORA DE LA PTAR .....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
I.    CARACTERIZACIÓN DE LA URBANIZACIÓN .....	21

II.	DESCRIPCIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LAS AR.....	29
III.	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PTAR.....	37
	i. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUALES ...	37
	ii. DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO DE LA PLANTA .....	40
	iii. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO TEÓRICO Y LO CONSTRUIDO EN PLANTA.....	52
IV.	ACCIONES DE OPTIMIZACIÓN Y/O MEJORA .....	56
	i. CAMBIOS ESTRUCTURALES.....	56
	ii. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	57
	iii. ALCANTARILLADO SANITARIO.....	57
	iv. OTRAS .....	58
	v. COSTOS.....	58
V.	MATERIAL DE APOYO .....	60
	i. PERSONAL .....	60
	ii. ARRANQUE DEL SISTEMA .....	60
	iii. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. ....	60
	iv. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS .....	65
	v. REGISTROS Y REPORTES OPERACIONALES .....	66
	vi. SEGURIDAD .....	68
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES .....	75
	BIBLIOGRAFÍA .....	77
	ANEXOS.....	80
	I. ANEXO: ENCUESTA USO Y DISPOSICIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LA URBANIZACIÓN BLANQUILLO, OREAMUNO .....	80
	II. ANEXO: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS ENCUESTAS APLICADAS ..	84
	III. ANEXO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.....	88
	IV. ANEXO: REGISTRO MENSUAL DEL CONSUMO DE AGUA DE LA URBANIZACIÓN .....	90
	V. ANEXO: FORMATO DEL REPORTE OPERACIONAL .....	101

## ÍNDICE DE CUADROS

---

<b>Cuadro 1.</b> Valores típicos para las aguas residuales municipales sin tratar en mg/l .....	6
<b>Cuadro 2.</b> Listado de análisis físico-químicos a realizar y metodología a seguir .....	7
<b>Cuadro 3.</b> Valores estadísticos obtenidos .....	21
<b>Cuadro 4.</b> Resultados de los análisis realizados a las aguas residuales de entrada y salida de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 7 de julio del 2011 .....	30
<b>Cuadro 5.</b> Resultados de los análisis realizados a las aguas residuales de entrada y salida de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 17 de noviembre del 2011.....	30
<b>Cuadro 6.</b> Resultados de los análisis realizados a las aguas residuales de salida del lecho de secado de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 23 de enero del 2012.....	32
<b>Cuadro 7.</b> Resultados de los análisis realizados a los lodos del lecho de secado de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 23 de enero del 2012 .....	33
<b>Cuadro 8.</b> Detalle del sistema de cobro de agua potable por abonado en la Urbanización Blanquillo durante el 2011. ....	34
<b>Cuadro 9.</b> Consumo mensual de metros cúbicos de agua potable (m <sup>3</sup> ) de la Urbanización Blanquillo durante el 2011. ....	34
<b>Cuadro 10.</b> Límites de contaminantes para el vertido de aguas residuales tratadas a un cuerpo receptor .....	37
<b>Cuadro 11.</b> Caudales de agua residual en litros por habitante por día para la Urbanización Blanquillo para el 2011 .....	40
<b>Cuadro 12.</b> Parámetros de diseño del agua cruda municipal según distintas cargas de diseño .....	40
<b>Cuadro 13.</b> Datos de diseño del pretratamiento de agua residual municipal .....	41
<b>Cuadro 14.</b> Dimensiones del pretratamiento de agua residual municipal para distintas cargas de diseño .....	43
<b>Cuadro 15.</b> Parámetros y datos de diseño del tratamiento primario de agua residual municipal, tanque Imhoff.....	44

<b>Cuadro 16.</b> Dimensiones del tratamiento primario de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, tanque Imhoff (dos unidades).....	45
<b>Cuadro 17.</b> Parámetros y datos de diseño del tratamiento secundario de agua residual municipal, tanque sedimentador .....	46
<b>Cuadro 18.</b> Dimensiones del tratamiento secundario de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, tanque sedimentador (dos unidades).....	46
<b>Cuadro 19.</b> Parámetros y datos de diseño del tratamiento secundario de agua residual municipal, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) .....	47
<b>Cuadro 20.</b> Dimensiones del tratamiento secundario de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) (dos unidades) ...	48
<b>Cuadro 21.</b> Parámetros y datos de diseño del tratamiento de los lodos de agua residual municipal, biodigestor.....	48
<b>Cuadro 22.</b> Dimensiones del tratamiento de los lodos de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, biodigestor .....	50
<b>Cuadro 23.</b> Parámetros y datos de diseño del tratamiento de los lodos de agua residual municipal, lecho de secado.....	50
<b>Cuadro 24.</b> Dimensiones del tratamiento de los lodos de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, lecho de deshidratación .....	51
<b>Cuadro 25.</b> Costos de inversión requeridos para las mejoras planteadas .....	59
<b>Cuadro 26.</b> Frecuencias mínimas de análisis y muestreos para aguas residuales de tipo ordinario .....	66
<b>Cuadro 27.</b> Registro de muestreos rutinarios .....	67
<b>Cuadro 28.</b> Costos de operación y mantenimiento de la PTAR.....	69
<b>Cuadro 29.</b> Costos de construcción de la caseta de vigilancia y vertedero.....	70
<b>Cuadro 30.</b> Valores obtenidos de la prueba de Chi Cuadrado para las encuestas aplicadas .....	84
<b>Cuadro 31.</b> Frecuencias obtenidas de los datos procesados de las encuestas aplicadas ....	87
<b>Cuadro 32.</b> Registro de caudal y volúmenes para el muestreo compuesto a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	88
<b>Cuadro 33.</b> Análisis físico-químicos realizados a la PTAR por Bermúdez, en el 2011 ...	89

<b>Cuadro 34.</b> Consumo de metros cúbicos mensuales para la Urbanización Blanquillo durante el 2011 .....	90
---	----



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de la Urbanización Blanquillo .....	1
<b>Figura 2.</b> Diagrama de los componentes de un tanque Imhoff. (OPS, 2005).....	10
<b>Figura 3.</b> Materia orgánica flotante a la entrada de los tanques Imhoff .....	10
<b>Figura 4.</b> Balance de sólidos. Modificado de Hernández, 1998.....	12
<b>Figura 5.</b> Actividades de mayor consumo de agua según la población de Blanquillo .....	23
<b>Figura 6.</b> Nivel promedio de consumo de agua para las actividades del hogar según la población de Blanquillo .....	23
<b>Figura 7.</b> Costumbre de mantener la llave de la tubería de agua abierta durante una serie de actividades según la población de Blanquillo .....	24
<b>Figura 8.</b> Prácticas de ahorro de agua en el hogar según la población de Blanquillo .....	25
<b>Figura 9.</b> Materiales desechados en el servicio sanitario según información suministrada por la población de Blanquillo.....	25
<b>Figura 10.</b> Materiales desechados en las pilas según información suministrada por la población de Blanquillo .....	26
<b>Figura 11.</b> Problemas con el sistema de acueducto y alcantarillado según información suministrada por la población de Blanquillo .....	27
<b>Figura 12.</b> Registros y bajantes en los terrenos de menor nivel .....	27
<b>Figura 13.</b> Salida de la PTAR al cuerpo receptor y salida del alcantarillado pluvial respectivamente .....	29
<b>Figura 14.</b> Registro de alcantarillado pluvial (Agosto 2011).....	32
<b>Figura 15.</b> Consumo mensual total de agua potable de la Urbanización Blanquillo durante el 2011.....	35
<b>Figura 16.</b> Consumo mensual promedio por abonado de agua potable de la Urbanización Blanquillo durante el 2011 .....	35
<b>Figura 17.</b> Distribución del sistema de cobro de agua potable de la Urbanización Blanquillo para diciembre del 2011 .....	36
<b>Figura 18.</b> Comportamiento del consumo de agua potable y la frecuencia de fugas de la Urbanización Blanquillo durante el 2011.....	36
<b>Figura 19.</b> Fango en digestión en el lecho de secado.....	38

<b>Figura 20.</b> Muestra de lodo y AR proveniente del lecho de secado .....	39
<b>Figura 21.</b> Detalle de la barras del canal de rejillas .....	41
<b>Figura 22.</b> Detalle del área de sedimentación de un tanque Imhoff .....	53
<b>Figura 23.</b> Detalle de la tubería de salida de AR tratadas del FAFA.....	57

## ÍNDICE DE ECUACIONES

---

<b>Ecuación 1.</b> Determinación del tamaño de la muestra a encuestar .....	5
<b>Ecuación 2.</b> Ancho del canal de rejillas (m).....	42
<b>Ecuación 3.</b> Nivel de aguas arriba de la rejilla a caudal máximo (m).....	42
<b>Ecuación 4.</b> Pérdida de carga en rejillas limpias (m).....	42
<b>Ecuación 5.</b> Pérdida de carga en rejillas sucias (m).....	42
<b>Ecuación 6.</b> Área de la cámara de sedimentación ( $m^2$ ).....	44
<b>Ecuación 7.</b> Volumen de la cámara de sedimentación ( $m^3$ ).....	44
<b>Ecuación 8.</b> Volumen de la cámara de digestión ( $m^3$ ).....	45
<b>Ecuación 9.</b> Rendimiento de eliminación de la DBO .....	47
<b>Ecuación 10.</b> Carga hidráulica ( $m^3/m^2d$ ).....	47
<b>Ecuación 11.</b> Carga orgánica .....	47
<b>Ecuación 12.</b> Lodos producidos (kg) .....	47
<b>Ecuación 13.</b> Edad del lodo (d).....	48
<b>Ecuación 14.</b> Caudal medio de digestión ( $m^3/d$ ).....	49
<b>Ecuación 15.</b> Volumen del digestor ( $m^3$ ) .....	49
<b>Ecuación 16.</b> Carga de sólidos volátiles ( $kg\ SSV/m^3d$ ).....	49
<b>Ecuación 17.</b> Caudal de lodos a secar ( $m^3/d$ ).....	50
<b>Ecuación 18.</b> Caudal de lodos secos ( $m^3/d$ ).....	51

## RESUMEN

---

El distrito de San Rafael de Oreamuno comprende 7.429 viviendas según datos preliminares del INEC correspondientes al 2011. Donde, para el 2007 según un estudio del PRUGAM, el cantón de Oreamuno no contaba con vivienda alguna que empleará como medio de recolección de aguas residuales, la conexión a un sistema de alcantarillado sanitario. A pesar de ello, existen registros que indican que a la fecha, la Municipalidad de Oreamuno tiene a cargo dos plantas de tratamiento de aguas residuales, la planta de Vista Hermosa y la planta de Blanquillo. La PTAR de la Urbanización Blanquillo fue creada en 1994 y según registros de la Municipalidad de Oreamuno, es hasta el 2011 que las autoridades municipales muestran interés para emprender las acciones necesarias para su adecuado funcionamiento.

En este estudio se propuso evaluar y valorar las mejoras a efectuar en la actual planta de tratamiento de aguas residuales de la Urbanización Blanquillo, en Oreamuno. Las medidas de optimización y/o mejora planteadas se determinaron a partir de una evaluación del desempeño de la PTAR bajo las condiciones actuales de operación. Reflejadas mediante un perfil físico-químico de las aguas residuales de entrada y de salida y una valoración de la infraestructura. Adicional a ello, se procedió a realizar una caracterización del ente generador; muestra de la población de la urbanización.

Antes de efectuar la evaluación de la planta fue necesaria una limpieza de todos los componentes del sistema de tratamiento, con lo cual se ocasionó una demora en el proceso de arranque de la PTAR. Proceso que permitió constatar la necesidad de realizar mejoras en los siguientes componentes de la PTAR: ampliar el componente de rejillas, sustituir la tubería interna en un tanque sedimentador, incrementar el nivel del material filtrante en el FAFA, cambiar e instalar válvulas para la extracción de lodos y techar la porción descubierta del lecho de lodos, con un costo total aproximado de \$5.189.739,91, incluyendo la construcción de una caseta de vigilancia y compra de equipo.

**Palabras clave:** Municipalidad de Oreamuno, tratamiento anaeróbico, FAFA, Urbanización Blanquillo, planta de tratamiento de aguas residuales, tanque Imhoff.

## ABSTRACT

---

The district of San Rafael of Oreamuno includes 7.429 houses according to preliminary data of the INEC corresponding to 2011. Whereas, by 2007 according to a study of PRUGAM, the canton of Oreamuno did not count with a single home that employed the connection to a sanitary sewer system has the mean to collect wastewaters. However, there are registries that indicate that to the date, the Municipality of Oreamuno is in charge of two wastewater treatment plants, the Vista Hermosa plant and the Blanquillo plant. The wastewater treatment plant of the Urbanization Blanquillo was created in 1994 and according to the records of the Municipality of Oreamuno, it is not until 2011 when the municipal authorities show interest to make the necessary works to undertake the proper function of the plant are initiated.

This study proposed to assess and evaluate the improvements to effectuate to the actual wastewater treatment plant of the Urbanization Blanquillo, in Oreamuno. The optimization and/or improvement measures suggested were determined regarding the performance evaluation of the wastewater treatment plant under the actual operating conditions. Such conditions reflected through a physical-chemical outline of the inlet and outlet wastewaters and a valuation of the infrastructure of the plant. In addition, the generating body was characterized; sample of the population of the urbanization.

Before proceeding with the evaluation of the plant, it was necessary to clean all the components of the treatment system, thereby delaying the launch process of the wastewater treatment plant. Process that allowed to acknowledged the need make improvements to the following components: amplify the screen component, replace the inner pipe in the settling tank, increase the level of the filtering material in the UASB, change and install valves for the extraction of sludge and finish roofing the uncover portion of the sludge bed, with an estimated cost of  $\text{¢}5.189.739,91$ , including the construction of a guardhouse and purchase of equipment.

**Key words:** Municipality of Oreamuno, anaerobic treatment, UASB, Urbanization Blanquillo, wastewater treatment plant, Imhoff tank.

## GLOSARIO

---

**Afluente:** líquido que llega a una unidad o lugar determinado.

**Agente contaminante:** toda aquella sustancia cuya incorporación al agua conlleve al deterior de su calidad física, química o biológica.

**Agua residual:** agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes.

**Agua residual tipo ordinaria:** agua residual generada por las actividades domésticas del ser humano (uso de inodoros, duchas, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa, etc.) Para efectos de este trabajo, el agua residual municipal se manejará como ordinaria.

**Agua residual de tipo especial:** agua residual de tipo diferente al ordinario.

**Alcantarillado pluvial:** red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas de lluvia hasta su punto de vertido.

**Alcantarillado sanitario:** red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas residuales hasta su punto de vertido.

**Biodigestor:** componente donde se lleva a cabo la digestión anaerobia de los lodos procedentes del tratamiento primario y secundario y que posteriormente son trasladados al lecho secado de lodos.

**Cámara de digestión:** unidad de los tanques Imhoff, donde se almacenan y digieren los lodos.

**Cámara de sedimentación:** unidad del tanque Imhoff, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables.

**Caudal:** volumen de líquido que pasa por un punto en un tiempo determinado.

**Cuerpo receptor:** es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada donde se vierten aguas residuales.

**Demanda bioquímica de oxígeno:** cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la sustancia orgánica, en un tiempo y a una temperatura especificada. Depende enteramente de la disponibilidad de materia utilizable como alimento biológico y de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos durante la oxidación.

**Deshidratación de lodos:** proceso de remoción del agua contenida en los lodos.

**Eficiencia:** relación entre la capacidad real y la teórica total de una unidad o equipo. Usualmente se expresa en %.

**Efluente:** un líquido que fluye hacia afuera del espacio confinado que lo contiene. En el manejo de aguas residuales se refiere al caudal que sale de la última unidad de tratamiento.

**Inóculo:** pequeña cantidad de sustancia (generalmente lodo) que contiene organismos capaces de digerir los lodos.

**Lecho de secado:** lugar donde se deshidratan los lodos estabilizados provenientes del biodigestor.

**Lodos:** sólidos que se encuentran en el fondo de los tanques de tratamiento primario y secundario y que son evacuados a un biodigestor.

**Muestra simple:** es aquella muestra tomada en un corto periodo de tiempo, de tal forma que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

**Muestra compuesta:** dos o más muestras simples que se ha mezclado en proporciones conocidas y apropiadas para obtener un resultado promedio de sus características. Las

proporciones se basan en mediciones de tiempo o de flujo. Dicha muestra debe representar los valores medios que se dan durante el periodo de muestreo.

**Nata:** sustancia espesa que se forma sobre el agua almacenada en el tanque Imhoff compuesto por residuos grasos y otro tipo de desechos orgánicos e inorgánicos flotantes.

**Potencial de hidrógeno:** concentración de iones de hidrógeno.

**Sistema de tratamiento:** conjunto de procesos físicos, químicos o biológicos, cuya finalidad es mejorar la calidad del agua residual a la que se aplican. Para efectos de este trabajo se empleará también el término planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

**Sólido sedimentable:** partícula presente en el agua residual, que tiene la propiedad de precipitar fácilmente.

**Vertido:** es la descarga final de un efluente a un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario.

Los anteriores términos han sido definidos dentro del Decreto N° 33601-MINAE-S: Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales y la Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización de la OPS.



## ACRÓNIMOS

---

**AR:** aguas residuales

**AyA:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

**ASCE:** American Society of Civil Engineers

**DBO:** demanda bioquímica de oxígeno

**DQO:** demanda química de oxígeno

**EPA:** Environmental Protection Agency

**FAFA:** filtro anaerobio de flujo ascendente

**INEC:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

**OPS:** Organización Panamericana de la Salud

**pH:** potencial de hidrógeno

**PTAR:** planta de tratamiento de aguas residuales

**Q:** caudal

**SAAM:** sustancias activas al azul de metileno

**SS:** sólidos suspendidos

**SSed:** sólidos sedimentables

**SSF:** sólidos suspendidos fijos

**SSV:** sólidos suspendidos volátiles

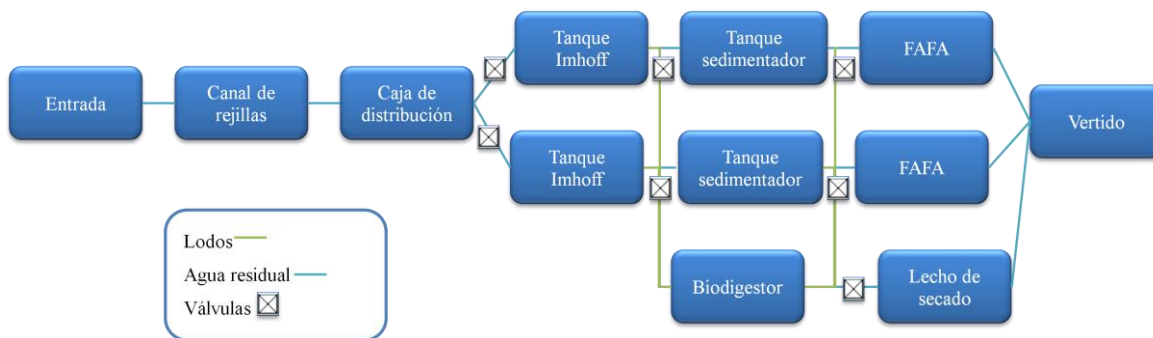
**T:** temperatura

**WEF:** Water Environment Federation

## INTRODUCCIÓN

Según datos del registro de la Municipalidad de Oreamuno, la Urbanización Blanquillo fue inaugurada en 1994, aun que los planos de la planta de tratamiento de aguas residuales datan su aprobación para 1995.

Esta planta de tratamiento se caracteriza por contar con un tratamiento biológico anaeróbico y completamente hidráulico. Los componentes de la planta de tratamiento corresponden a:



**Figura 1.** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de la Urbanización Blanquillo

El sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Urbanización Blanquillo busca degradar la materia orgánica contenida en las aguas residuales de modo que al ser vertidas a un cuerpo receptor, este sea capaz de asimilar el grado de contaminación de las aguas provenientes de la planta.

Desde su inicio, la planta recibió pocas acciones de operación y mantenimiento, además según registros de la Municipalidad la planta no ha tenido personal operativo fijo con los conocimientos básicos para operar debidamente la planta. Actualmente las acciones de operación que se realizan ocasionalmente corresponden a la remoción de objetos que saturan las rejillas, limpieza de deslizamientos de tierra y remoción de vegetación de los alrededores de la planta.

En cuanto al mantenimiento de la planta, la acción registrada es la de mejoras en la estructura del lecho de secado, sin embargo aun queda pendiente techar el segmento derecho de la cama de lodos, de acuerdo con los registros de la Municipalidad.

La Municipalidad de Oreamuno ha asumido la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Urbanización Blanquillo, por lo cual deberá acatar los lineamientos estipulados en la legislación nacional pertinente al tratamiento y vertido de aguas residuales.

Dadas las condiciones bajo las cuales se encontraba la planta; descritas anteriormente; como falta de mantenimiento, operación y la carencia de reportes operacionales, además de un total desconocimiento de su eficiencia y calidad de aguas vertidas, se planteó mediante el presente trabajo solventar esta problemática mediante la aplicación de los conocimientos de la Ingeniería Ambiental en materia de diseño, operación y mantenimiento de este tipo de plantas, para mejorar la calidad de las aguas vertidas al cuerpo receptor, y cumplir así con la normativa nacional vigente al tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Para ello, se elaboró un plan con el fin de evaluar la PTAR y plantear una propuesta de optimización y/o mejora del tratamiento de las aguas residuales de la Urbanización Blanquillo. Plan que consiste primeramente en una evaluación detallada del desempeño de la PTAR bajo las condiciones actuales de operación, para lo cual fue necesario contar con un perfil físico-químico y microbiológico de las aguas que ingresan y salen de la planta, determinar las variaciones de caudal y evaluar la infraestructura y los criterios de diseño empleados.

Posterior a la identificación de las condiciones de funcionamiento, se procedió a emprender las acciones necesarias para el arranque de la planta, propiciando las condiciones de operación y mantenimiento óptimas según las características de diseño de la planta. Finalizando así, en el análisis y planteamiento de las acciones de optimización y/o mejora de la PTAR necesarias para mejorar en la calidad de las aguas tratadas.

## **I. OBJETIVOS**

### **i. OBJETIVO GENERAL**

Proponer un sistema adecuado de tratamiento de las aguas residuales para la Urbanización Blanquillo en Oreamuno mediante la optimización y/o mejora de la actual planta de tratamiento de aguas residuales.

### **ii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Urbanización Blanquillo.

Analizar y plantear las acciones de optimización y/o mejora del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Emprender las acciones necesarias para la activación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## **II. RESULTADOS OBTENIDOS**

Los principales resultados obtenidos señalan que aunque estructuralmente la planta está habilitada para manejar la carga orgánica que actualmente ingresa, proveniente de la Urbanización Blanquillo; a excepción del canal de rejillas, adicionalmente, se requiere la implementación de una serie de acciones que optimicen y/o mejoren la eficiencia evidenciada en el transcurso de este proyecto, para así cumplir con los requerimientos solicitados por la legislación nacional.

## MARCO TEÓRICO

---

### I. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE LA POBLACIÓN

La Urbanización Blanquillo pertenece al distrito de San Rafael de Oreamuno con un total de 5550 viviendas según datos de la INEC del 2000. Datos específicos de la Urbanización como el número de viviendas se manejan de forma aproximada en cuyo caso según registros de la Municipalidad la Urbanización Blanquillo abarca 328 viviendas. Donde el valor aproximado de ocupantes por vivienda en San Rafael de Oreamuno es de 4 personas. (INEC, 2000)

Dada la poca información socioeconómica sobre la Urbanización Blanquillo y la poca confiabilidad de la misma, se aplicó como medida de recopilación de información adicional una encuesta (Ver Anexo 1).

La cual se diseñó con la finalidad de obtener la siguiente información:

- Situación socioeconómica de la población: estrato social, escolaridad
- Cantidad consumida de agua potable
- Sistema de facturación
- Costumbres del uso de agua dentro de la vivienda
- Estado global del sistemas de recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales y pluviales
- Aceptación y criterio sobre el pago de servicios municipales en materia del tratamiento de aguas residuales

Para determinar la cantidad de la población a muestrear, se empleó la forma más simple de muestreo de probabilidad, muestreo simple al azar, con la cual se seleccionó cualquier muestra posible de igual tamaño con una probabilidad distinta de cero. (Iarossi, 2006).

Esta metodología depende de tres factores:

- Tamaño de la población

- Variabilidad del parámetro que deseamos estimar
- Nivel deseado de precisión y confianza a alcanzar (Iarossi, 2006).

Dado que se desea estimar la porción de una población  $\bar{P}$  con una característica dada con precisión  $e_0$  y una confianza  $\alpha$ , el mínimo tamaño de la muestra se calcula de la siguiente forma (Iarossi, 2006):

**Ecuación 1.** Determinación del tamaño de la muestra a encuestar

$$n = \frac{\frac{z_{\alpha/2}^2 P(1-P)}{\bar{z}}}{e_0^2 \frac{z_{\alpha/2}^2}{\bar{z}} \frac{P(1-P)}{N}}$$

Donde:

$N$ = tamaño de la población

$n$ = tamaño de la muestra

$P$  = porción de la población  $Y$

$e_0$  = nivel deseado de precisión

$\alpha$  = nivel deseado de confianza (95%)

$z_{\alpha/2} = z$  distribución correspondiendo al nivel deseado de  $\alpha$

## II. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para caracterizar la situación actual de la planta de la Urbanización Blanquillo y analizar el dimensionamiento de la misma, es necesario calcular el volumen diario de agua residual, y cualquier variación a corto o largo plazo en el flujo que afecte el tamaño de cualquiera de los componentes del sistema. Dado que la planta no cuenta con un sistema de medición constante de caudal de entrada y salida, se deberán establecer los picos de consumo de agua potable directamente relacionados con los picos de los caudales de entrada a la planta. (US-EPA, 1980)

Otra alternativa para calcular el volumen diario de agua que entra a la planta consiste en multiplicar la población atendida por un indicador de consumo diario por persona, el cual

para Costa Rica corresponde a 250 litros por persona por día (Rosales, 2010) de forma teórica y posteriormente comparar los resultados obtenidos al realizar una medición compuesta del caudal de entrada a la planta. (Davis, 2010).

Para determinar el caudal de entrada a la PTAR, se realizó un análisis del consumo de agua potable por la población de la Urbanización y los caudales de diseño:

- Caudal medio diario: es el caudal medio durante un lapso de 24 horas obtenido a partir de los datos de todo un año.
- Caudal máximo diario: es el caudal máximo durante un lapso de 24 horas obtenido a partir de los datos de todo un año.
- Caudal mínimo diario: es el caudal mínimo registrado un lapso de 24 horas obtenido a partir de los datos de todo un año. (Metcalf & Eddy, 1996)

Para lo cual se consideró que del consumo de agua potable por habitante, entre el 60 y 85 por ciento se convierte en agua residual. (Metcalf & Eddy, 1996)

La mayor parte de la caracterización de las aguas residuales corresponde a la evaluación de la variación en la concentración de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, interpretados como la eficiencia de funcionamiento de la planta. En cuyo caso, para las características del agua residual cruda se resume la composición típica en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Valores típicos para las aguas residuales municipales sin tratar en mg/l

Contaminante	Concentración		
	Débil	Media	Fuerte
<b>SST</b>	100	220	350
<b>SSed</b>	5	10	20
<b>DBO</b>	110	220	400
<b>DQO</b>	250	500	1000
<b>G y A</b>	50	100	150
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	50	100	200



Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

Los parámetros de caracterización físico-química y microbiológica realizados corresponden a:

**Cuadro 2.** Listado de análisis físico-químicos a realizar y metodología a seguir

<b>Análisis</b>	<b>Referencia de muestreo</b>
<b>DBO</b>	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (20° Ed.)
<b>DQO</b>	
<b>pH</b>	
<b>GyA</b>	
<b>SSed</b>	
<b>SST</b>	
<b>SAAM</b>	
<b>T</b>	
<b>ST, fijos y SSV para muestras sólidas y semisólidas</b>	
<b>Q</b>	Muestreo volumétrico
<b>Turbidez</b>	Manual de usuario Colorímetro SMART 2,
<b>Color</b>	LaMotte
<b>Conductividad</b>	Manual de usuario Conductímetro Thermo Orion 4 Stars

En el caso de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo las aguas tratadas son vertidas a la Quebrada Marta, las aguas de ésta quebrada son utilizadas para el riego de cultivos en distintos puntos del trayecto de la misma, recalcando la importancia de evaluar y mejorar el desempeño de la planta y cumplir con los límites de vertimiento de la legislación nacional.

### III. CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual doméstica son la estabilización de la materia orgánica y en muchos casos la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. (Metcalf & Eddy, 1996)

Las plantas de tratamiento biológico anaerobio tienen varias ventajas sobre los procesos aerobios convencionales. Dentro de estas ventajas se encuentra un proceso de tratamiento especializado, que es capaz de tratar aguas con alto contenido de materia orgánica no aptas para sistemas aerobios. Debido a las tasas de reacción de los procesos aerobios, aguas con alto contenido de materia orgánica requieren tiempos de aireación superior o más de un reactor aerobio en serie para alcanzar el tratamiento necesario. (Alley, 2007)

Las plantas de tratamiento biológico constan de un tratamiento primario cuya finalidad es la separación de elementos sólidos contenidos en el agua, es decir es un tratamiento físico. El tratamiento secundario se logra mediante los métodos biológicos de lodos activados o lecho bacteriano, caso de la planta de la Urbanización Blanquillo. La ventaja del tratamiento biológico sobre el químico consiste en su operación simple, bajos costos y poco mantenimiento requerido, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. (Hernández, 1998)

Las rejillas consisten de barras de acero verticales o inclinadas espaciadas a intervalos constantes dentro de un canal por el que circula el agua residual, con la finalidad de remover los materiales gruesos. Los criterios para su diseño incluyen: tamaño de la barra, espaciado y ángulo con la vertical, ancho del canal y velocidad de aproximación de las AR. (WEF & ASCE, 1998)

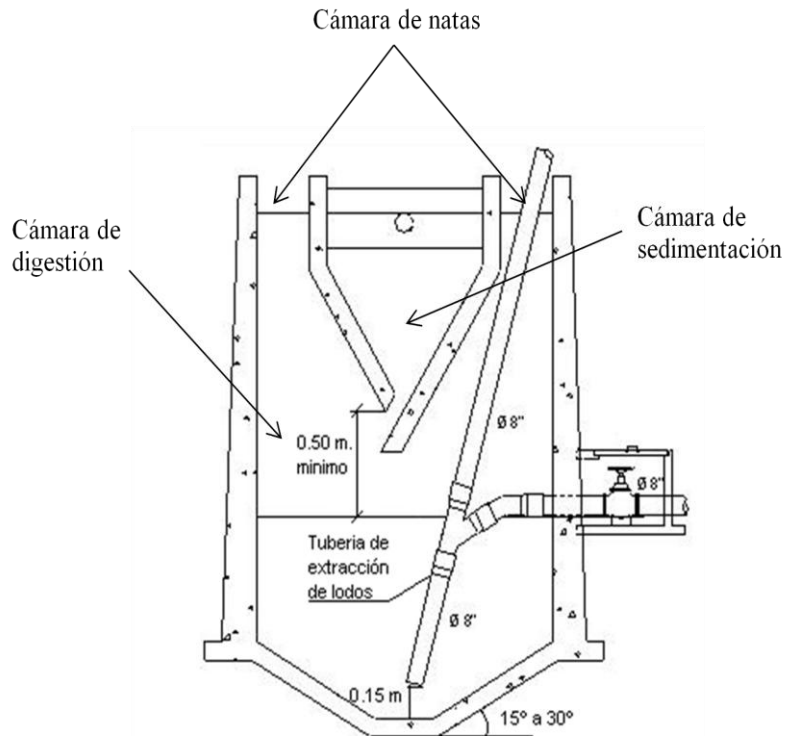
La PTAR de la Urbanización Blanquillo como se mencionó posee los siguientes componentes: rejillas, caja de distribución, tanques Imhoff, tanques sedimentadores, FAFAS, biodigestor de lodos y un lecho de secado. Esta información se ha verificado tras varias visitas a la planta y revisión de los planos de la misma.

Para el año de 1984 el INEC registró que el distrito de San Rafael tenía 2782 viviendas, es decir 14824 personas, mientras que en el 2011 el registro es de 7429 viviendas con un total de 27249 personas.

Para evaluar el funcionamiento de una planta de tratamiento y determinar si las dimensiones de la planta requieren cambios para tratar el caudal entrante de la forma más eficiente es necesario estudiar las condiciones climáticas de la zona en la que se encuentra una planta, caudal, caracterización físico-química y microbiológica. Se debe tener presente además, que los incrementos en la población influyen en aumentos del caudal. (Tilley, *et al.* 2008).

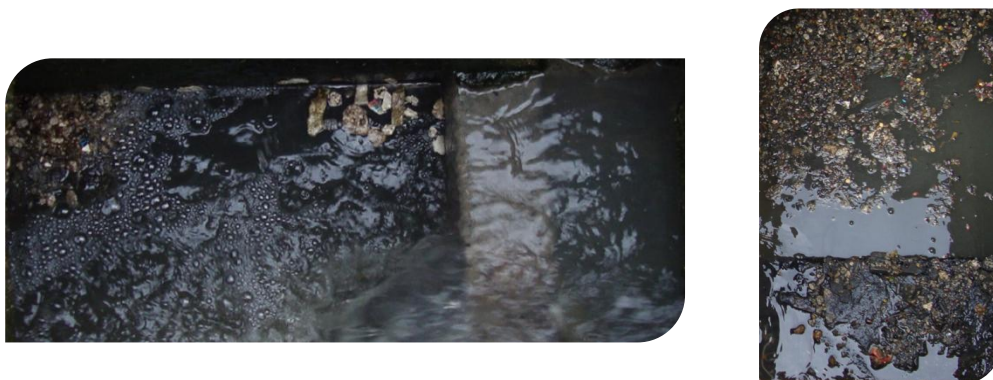
El tratamiento primario consiste en dos tanques Imhoff en paralelo cuya finalidad principal según la OPS es la remoción de sólidos suspendidos; aunque también se remueve gran parte de sólidos sedimentables, tratamiento recomendado para comunidades de 5000 habitantes o menos. Tales tanques son típicamente de forma rectangular y se conforman de tres compartimentos:

- Cámara de sedimentación
- Cámara de digestión de lodos
- Área de ventilación y acumulación de natas (OPS, 2005)



**Figura 2.** Diagrama de los componentes de un tanque Imhoff. (OPS, 2005)

En la cámara de sedimentación, los sólidos son principalmente removidos al caer sobre las mamparas o paredes inclinadas en el fondo del sedimentador, para posteriormente ingresar a la cámara de digestión de lodos. Estas mamparas impiden que los gases o partículas suspendidas de sólidos producto de la digestión interfieran con el proceso de sedimentación. Los cuales son desviados hacia el área de ventilación. (OPS, 2005)



**Figura 3.** Materia orgánica flotante a la entrada de los tanques Imhoff

Un tratamiento anaeróbico implica la generación de gases nocivos e inflamables, por lo que un punto importante a evaluar en la estructura de la planta consiste en la existencia de escapes o ventilas para la liberación controlada de tales gases, que afectan los microorganismos degradadores de la materia orgánica de las aguas residuales (Tilley, et al. 2008).

Los tanques Imhoff no tienen equipo mecánico y normalmente tienen requerimientos de bajo mantenimiento, sin embargo poseen problemas de operación como la periódica formación de espumas con malos olores, el acumulamiento excesivo de natas en las cámaras de ventilación y la producción de sólidos digeridos olorosos. (WEF & ASCE, 1998).

Según la OPS, el tanque Imhoff elimina del 40 al 50% de sólidos suspendidos y reduce la DBO de 25 a 35%. Al tener un valor bajo de remoción de DBO, se recomienda emplear otro proceso de modo que se efectuó una buena remoción de microorganismos en el efluente.

El diagrama de la planta de tratamiento consiste en que después de los tanques Imhoff siguen dos cámaras de sedimentación. El dimensionamiento de los tanques o cámaras está basado en el flujo promedio durante un periodo de 16 o 24 horas, el cual depende de la velocidad de flujo y la profundidad mínima del agua en el tanque. (Hardenbergh & Rodie, 1987). Estos son criterios básicos para el dimensionamiento de los tanques de sedimentación, criterios que se evaluarán en este trabajo.

Otro criterio de diseño importante corresponde a la distribución uniforme y a baja velocidad de las aguas residuales entrantes en todo lo ancho del tanque de sedimentación. Para los tanques rectangulares se emplean unos tubos cortos de un tubo de visita de alimentación central permitiendo que el flujo de aguas ingrese por debajo de la superficie del tanque, evitando así, que la materia orgánica flote. (Hardenbergh & Rodie, 1987).

Esto permite evitar que la mayoría de los sólidos gruesos entrenen la unidad de filtración obstruyendo los poros del filtro. Esta cama de filtración o filtro anaerobio de flujo

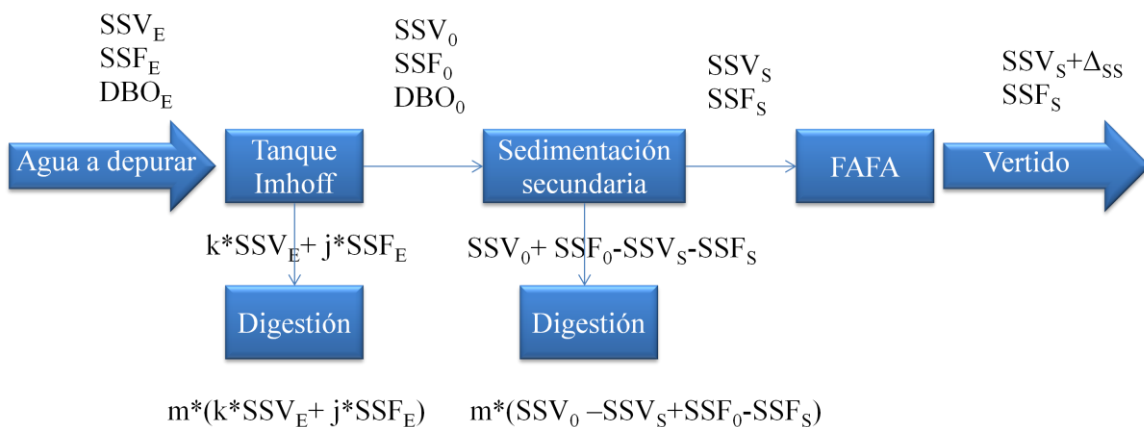
ascendente consiste en un reactor biológico de cama fija llena de piedras similares a las de un filtro aeróbico de goteo, sin embargo el desecho se distribuye a lo largo del fondo del FAFA. (Rose, 1999).

Al igual que para un tanque séptico, para los filtros anaeróbicos es necesaria la ventilación para prevenir la liberación de gases potencialmente dañinos. La remoción de obstrucciones del filtro es peligrosa y se deben tomar medidas de seguridad apropiadas. (Tilley, et al. 2008).

Para evaluar el estado del FAFA un punto importante a considerar es que el nivel de agua debe cubrir el material del filtro por lo menos 0,3 m para garantizar el flujo regular. Así como un tiempo de retención hidráulico de 0,5 y 1,5 días y una tasa de carga superficial máxima de 2,8 m/d. (Tilley, et al. 2008).

El desempeño del FAFA se mide a través de la eliminación de sólidos suspendidos y de DBO que normalmente corresponden al 50% y 80% respectivamente, en el caso del nitrógeno la eliminación no excede el 50%. (Tilley, et al. 2008).

Una vez finalizado el tratamiento secundario se procede al tratamiento de los lodos producidos en las etapas anteriores, como se observa en la figura 4. Estos lodos son trasladados a un biodigestor.



**Figura 4.** Balance de sólidos. Modificado de Hernández, 1998.

Donde

$DBO_E$ = DBO entrada

$SSV_E$ = Sólidos en suspensión volátiles entrada

$SSF_E$ = Sólidos en suspensión fijos entrada

$SSV_0$ = Sólidos en suspensión volátiles después de tratamiento primario

$SSF_0$ = Sólidos en suspensión fijos después de tratamiento primario

$SSV_S$ = Sólidos en suspensión volátiles en el efluente

$SSF_S$ = Sólidos en suspensión fijos en el efluente

$\Delta_{SS}$ = producción neta en kg/d de SSV en FAFA

$k$ = coeficiente de reducción de SSV en tratamiento primario

$j$ = coeficiente de reducción de SSF en tratamiento primario

$m$ = coeficiente de reducción de SSV en digestor

La digestión anaeróbica de los fangos ha sido recomendada como el método más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire y comprende varios procesos: licuefacción, gasificación y mineralización, obteniendo un producto final inerte con liberación de gases. (Hernández, 1998)

La licuefacción se produce por enzimas extracelulares que hidrolizan los carbohidratos complejos a simples azúcares, las proteínas a péptidos y los aminoácidos y grasa a glicerol y ácidos, siendo el producto final ácidos orgánicos volátiles. (Hernández, 1998)

Durante la gasificación, estos productos se convierten en gases, cuyos principales componentes son el metano y el dióxido de carbono. Finalmente, la materia orgánica soluble es también descompuesta. (Hernández, 1998)

Los lodos digeridos son posteriormente enviados a los lechos de secado convencionales de arena, que se suelen utilizar en pequeñas dimensiones y poblaciones de tamaño medio. El fango es extendido sobre la arena para formar una capa de 20 a 30 cm de espesor y se deja

secar a través de la evaporación (superficie expuesta al aire) y mediante el drenaje (arena). (Metcalf & Eddy, 1996)

Estos a su vez deben contar con un drenaje lateral que posee una pendiente mínima de 1%, separada cada tubería entre 2,5 y 6 m. La superficie del lecho se divide en segmentos individuales de aproximadamente 6 m de ancho por 30m de longitud. La arena que forma parte del lecho de secado no debe tener un coeficiente de uniformidad superior a 4,0 y debe tener un tamaño efectivo de grano comprendido entre 0,3 y 0,75 mm. (Metcalf & Eddy, 1996)

Los lodos deshidratados poseen una textura gruesa y agrietada, de color negro o café oscuro. Una vez seco, el lodo puede ser empleado como mejorador de suelos, o desechado en un relleno sanitario según indique la legislación vigente. (Metcalf & Eddy, 1996)

#### **IV. OPCIONES DE OPTIMIZACIÓN Y/O MEJORA**

Las opciones de optimización y/o mejora seleccionadas se rigen por dos principios, el primero consiste en que se debe seleccionar un tratamiento que proteja la salud pública y que prevenga la degradación ambiental al mismo tiempo. En donde se debe tener en cuenta que la calidad del agua vertida a la quebrada debe ser tal que no represente un riesgo para la salud al ser posiblemente empleada para el riego de cultivos. (US-EPA, 1980).

El segundo principio consiste en considerar los costos y facilidades de operación y mantenimiento del sistema, en cuyo caso se deberá brindar especial atención considerando los recursos con los que cuenta la Municipalidad. (US-EPA, 1980).



## V. MANTENIMIENTO

Las acciones de operación y mantenimiento de la planta se describen en el manual, cuya estructura abarca los siguientes componentes:

- Arranque y paro de la planta
- Mantenimiento preventivo
- Métodos de muestreo y análisis
- Uso de equipo básico
- Procedimientos de emergencia (Davis, 2010).

Existen una serie de principios a tener en cuenta al elaborar el manual:

- El nivel de preparación del personal hacia quien está dirigido.
- La selección de procesos operacionales y de mantenimiento que se adecuen al ambiente económico, social, técnico y físico en que se encuentra la PTAR
- La actualización del manual a las necesidades existentes a través de revisiones periódicas.
- Establecimiento de un sistema de control y monitoreo adecuado que permita identificar las acciones de operación y mantenimiento que se están ejecutando, así como evaluar el cómo se ejecutan. (OPS, 2005)

A continuación se detallan algunos puntos claves a considerar para la operación y mantenimiento adecuado de los distintos componentes del sistema tratamiento de aguas residuales.

Las rejillas han de ser limpiadas manualmente con frecuencia, el material removido debe ser drenado antes de acumularlo para su disposición final. Si la frecuencia de limpieza de rejillas es muy baja, la acumulación de sólidos llevará a que durante su limpieza se presenten fluctuaciones en el caudal que afecten la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos en los siguientes procesos. (WEF & ASCE, 1998)

La operación de los tanques Imhoff se resume en la constante remoción de las espumas, en la inversión del flujo de entrada para la distribución uniforme de los sólidos sedimentables en los extremos de la cámara de digestión y en el drenaje periódico de los lodos digeridos. (OPS, 2005)

Según la WEF & ASCE, se recomienda para los tanques Imhoff, realizar la extracción de sólidos digeridos como máximo dos veces al año para asegurar un tiempo adecuado de estabilización.

Para posteriormente disponer los lodos mineralizados con aproximadamente 95% de humedad en los lechos de secado como un fluido ligeramente viscoso, inodoro y de color negruzco, donde se deshidrataran hasta alcanzar una humedad que permita su aprovechamiento como mejorador del suelo o para disposición final. (OPS, 2005)

En un tanque sedimentador el líquido fluye hacia el tanque y las partículas pesadas se van al fondo, mientras que la espuma (aceites y grasas) flotan hacia la superficie. Con el tiempo se degradan anaeróbicamente y los sólidos que se sedimentan en el fondo. Sin embargo, la tasa de acumulación es mayor que la tasa de descomposición, y los lodos acumulados se deben eliminar en un momento dado, de ahí la importancia de realizar limpiezas y purgas de estos tanques y demás componentes del sistema de tratamiento. (Tilley, et al. 2008).

En cuanto a las acciones de operación y mantenimiento de los FAFAs, al ser un tratamiento para desechos de baja carga orgánica y no requerir de equipo mecánico, la operación y mantenimiento del sistema no es difícil ni cara. (Rose, 1999).

El taponamiento parcial aumenta la capacidad del FAFA para retener sólidos, sin embargo este alcanzará un punto en que la masa creciente de bacterias será demasiado gruesa y se romperán y tapan los poros del FAFA. Por lo que el FAFA debe ser limpiado cuando baje su eficiencia al hacer funcionar el sistema en modo inverso, desbloqueando la biomasa acumulada y las partículas (retrolavado). (Tilley, et al. 2008).

Cuando el lodo digerido es depositado en un lecho de secado compuesto de arena y grava, los gases tienden a escapar y hacer flotar los sólidos dejando una capa de líquido relativamente clara en la capa superior de arena la cual es drenada rápidamente por el lecho de secado. La mayor proporción de este líquido drena en menos de un día. Después de un corto período de tiempo, la evaporación es el factor más importante del proceso de secado del lodo. Conforme el líquido continuo infiltrándose a través de la arena y el proceso de evaporación continua, el lodo se encoge horizontalmente produciéndose rajaduras en su superficie la cual acelera la evaporación en virtud del incremento de la superficie de lodo seco expuesto al aire. (OPS, 2005)

La evaporación se realiza rápidamente en lechos abiertos o cubiertos durante climas cálidos, pero mucho más lento durante las lluvias. El lodo crudo o parcialmente digerido no se deshidrata rápidamente en los lechos de secado y la presencia de lodos frescos y grasas descargadas conjuntamente con los lodos digeridos retarda seriamente el proceso de deshidratación. (OPS, 2005)

## **METODOLOGÍA**

---

### **I. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR**

La recolección de la información preliminar sobre el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Urbanización Blanquillo, tales como planos del alcantarillado sanitario, pluvial, PTAR y registros de consumo, se obtuvo a través de visitas a la oficina de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Oreamuno, a cargo del Señor William Maroto, la oficina de Contabilidad del Acueducto y entrevistas con otros funcionarios de la Municipalidad.

Para la caracterización socio-económica de la población de la Urbanización Blanquillo, así como algunas costumbres en cuanto al uso del agua se empleó un muestreo simple al azar, con el cual se determinó que para un nivel de confianza del 95% y una población de 328 viviendas, el tamaño de la muestra a encuestar correspondió a 177 viviendas.

### **II. PERFIL FÍSICO-QUÍMICO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Para la elaboración del perfil físico-químico de las aguas residuales a tratar y tratadas, se aplicaron los análisis del cuadro 2, los cuales corresponden a los estipulados dentro del Decreto N° 33601: Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. El detalle de la metodología empleada para cada análisis se describe en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (APHA, AWWA, WEF, 1998).

Estos análisis se realizaron antes de efectuar la limpieza de la planta, en muestras de aguas de la entrada y la salida de la misma. Previo a la limpieza de la planta se realizaron dos muestreos compuestos, uno de dos horas y el otro de seis horas<sup>1</sup>. El primero fue realizado por un laboratorio certificado en el mes de julio del 2011 y el segundo en el laboratorio de

---

<sup>1</sup> Para este caso solamente la muestra de salida fue tomada de forma compuesta, la de entrada corresponde a una muestra puntual.

aguas localizado en el Edificio de la Carrera de Ingeniería Ambiental del TEC para el mes de noviembre del 2011.

Debido a que la planta no cuenta con la infraestructura adecuada para la medición de caudales de entrada y de salida y tampoco se pudo colocar el equipo para dicha medición, al dificultarse la medición mediante la técnica de medición volumétrica a la entrada, se llevó a cabo a la salida la medición volumétrica del caudal, el cual consistió en medir el volumen de fluido descargado en un período específico de tiempo. (Metcalf & Eddy, 1996) (Anexo III)

### **III. LIMPIEZA Y ARRANQUE DE LA PLANTA**

Para proceder con la re-activación de la planta se realizó una limpieza que abarcó básicamente los siguientes puntos:

1. Puesta en marcha del biodigestor de lodos, mediante la extracción del agua retenida al abrir las válvulas de conexión del biodigestor de lodos al lecho de secado.
2. Seguidamente a ello se probó y revisó el estado de las válvulas de los tanques Imhoff y tanques sedimentadores. Así como las conexiones de tuberías y tapones de registro, para efectuar una purga de los lodos y aguas contenidos en el sistema<sup>2</sup>.
3. Antes, durante y después de la purga del sistema se realizó la extracción de materia inerte suspendida (plásticos, bolas, juguetes y demás materiales) que pudiese afectar el funcionamiento de la planta u ocasionar un atascamiento en las tuberías de purga de lodos al biodigestor.

Durante los procesos de limpieza y purga del sistema se revisaron los componentes de la planta, con la finalidad de tomar las dimensiones de la planta construida y verificarlas con las dimensiones de los planos de la planta.

---

<sup>2</sup> Debido a problemas de bloqueos en las tuberías y válvulas, la purga de lodos y aguas fue llevada a cabo mediante el bombeo hacia el biodigestor.

Al sobrepasar la capacidad del biodigestor de lodos, se procedió a disponer los sólidos en una fosa a un costado de la entrada principal de la planta de forma temporal, se recomienda disponer estos desechos en el relleno sanitarios como residuo peligroso.

Una vez finalizada la limpieza se recomendó incrementar el flujo de las aguas residuales entrantes con el tiempo (Tilley, et al. 2008).

#### **IV. IDENTIFICACIÓN DE LAS ACCIONES DE OPTIMIZACIÓN Y/O MEJORA DE LA PTAR**

Para determinar las opciones a través de las cuales el funcionamiento de la planta fuese el óptimo, se procedió a realizar un estudio comparativo de los criterios de diseño para este tipo de PTAR, donde se tomaron las dimensiones de la planta física y la planta detallada en planos.

Aunado a ello se analizó el perfil físico-químico de las aguas residuales de la Urbanización antes y después de ingresar a la planta, para evaluar la eficiencia del funcionamiento de la planta y determinar que procesos adicionales han de ser requeridos para que la calidad de las aguas vertidas al cuerpo receptor no alteren las calidades del mismo, y no afecten la salud y el ecosistema de la corriente receptora.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### I. CARACTERIZACIÓN DE LA URBANIZACIÓN

De la información recopilada mediante la aplicación de la encuesta a 177 viviendas de la Urbanización, se valoraron una serie de variables para determinar el grado de dependencia entre las mismas, y así finalizar la caracterización socio-económica de la población en cuestión.

Las pruebas estadísticas se realizaron mediante el programa SPSS Statistics y consistieron en:

- Chi – cuadrado de Pearson
- Razón de verosimilitud
- Asociación lineal por lineal
- Nominal por intervalo: ETA
- Ordinal por ordinal: Somer's d, Kendall's tau-b, Kendall's tau-b, Gamma

A través de los datos provistos por la Municipalidad de Oreamuno se elaboró un registro de consumo de agua potable para el año 2011 de la Urbanización Blanquillo (Cuadro 34), adicional a ello, se buscó evaluar la cultura del uso del agua de la población, así como establecer el consumo de agua potable mediante la facturación mensual y así identificar la relación de consumo (metros cúbicos) y costo (colones) por familia.

**Cuadro 3.** Valores estadísticos obtenidos

Variables	Valor más común	Casos válidos	Chi cuadrado calculado ( $\chi^2$ )
Consumo de agua	21 a 30 m <sup>3</sup>	55	
Facturación mensual	¢5000	161	75,194
Ingresos por vivienda	150 mil o menos	160	4,893
Número de miembros	4	174	24,154
Grado de escolaridad	Primaria	143	6,617

De los 177 encuestados sólo 161 manejaban el monto del pago por consumo de agua y 55 conocían el consumo en metros cúbicos. Obteniéndose así que la población encuestada consume alrededor de 21 a 30 metros cúbicos con un costo estimado de 170 a 240 colones por metro cúbico, es decir una facturación de 5000 colones. Lo cual supera la tarifa establecida para el cantón de Oreamuno, según los datos aportados por la Municipalidad, donde se establece que para el rango entre 26 y 40 m<sup>3</sup>, la tarifa domiciliaria corresponde a 75 colones por metro.

Se debe tener presente que el dato brindado por los encuestados corresponde al total del cobro de servicios municipales, por lo que tomando en consideración el monto de cobro por recolección y tratamiento de los residuos sólidos (¢2380), limpieza de caños (¢781,20) y parques (¢48) se obtiene que el cobro específico para el consumo de agua corresponde a aproximadamente 60 a 85 colones por metro cúbico dentro del rango de 21 a 30 m<sup>3</sup>, coincidiendo así con lo estipulado por la Municipalidad. (Municipalidad Oreamuno, 2012)

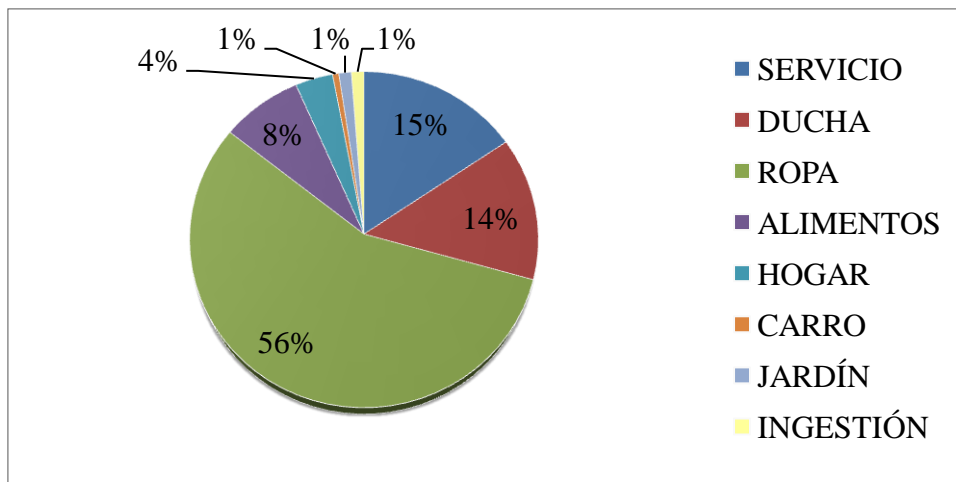
Según los valores obtenidos de  $\chi^2$  calculado para una tabla de contingencia de facturación mensual por consumo de agua, se obtiene que el  $\chi^2$  teórico es de 67,50, para un nivel de confianza del 95%. Por lo que se determina que si existe un grado de dependencia entre el cobro en colones y el consumo en metros cúbicos según los datos dados por los encuestados.

Para determinar si el consumo de agua se veía influenciado por los ingresos económicos en cada vivienda, el número de miembros o el grado de escolaridad se elaboraron tablas de contingencia, haciendo énfasis en el análisis estadístico de Chi cuadrado. De las tres variables analizadas se determinó que para la población de Blanquillo no existe relación alguna entre estas y el consumo de agua, son independientes. En el único caso en el que se observó cierto grado de relación fue entre el número de miembros y los metros cúbicos consumidos, dado que se obtuvo un valor aproximado de 0,4 para la prueba nominal por intervalo de ETA. (SPSS Inc., 2006)

Otra de las finalidades de la encuesta corresponde a caracterizar las costumbres en cuanto al consumo de agua potable para diversas actividades, en este trabajo se definieron ocho categorías en las cuales se emplea el agua. La figura 5 detalla cuales actividades representan la mayor parte del consumo de agua. Donde los resultados indican que para la población en cuestión, son las actividades de lavado de ropa y uso en servicios sanitarios donde se

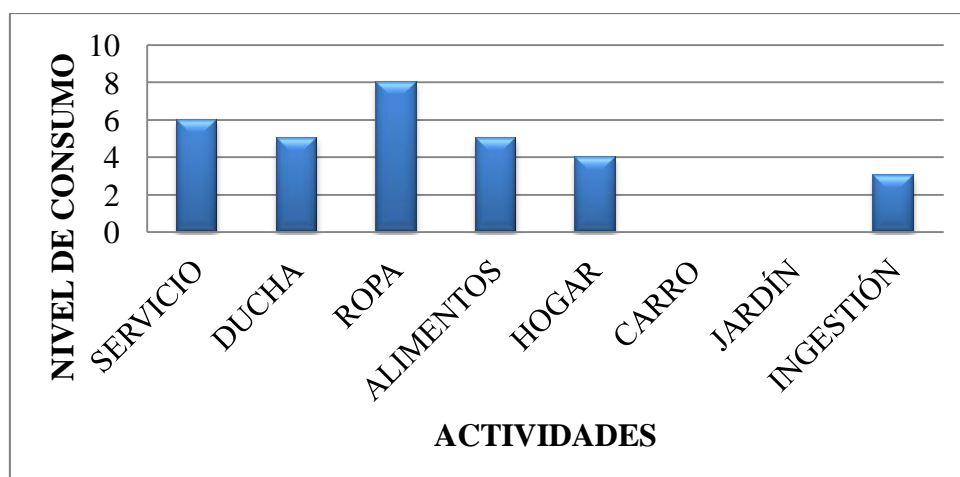


consume más agua y las de menor consumo las correspondientes al lavado del vehículo, regado del jardín y el consumo propio.



**Figura 5.** Actividades de mayor consumo de agua según la población de Blanquillo

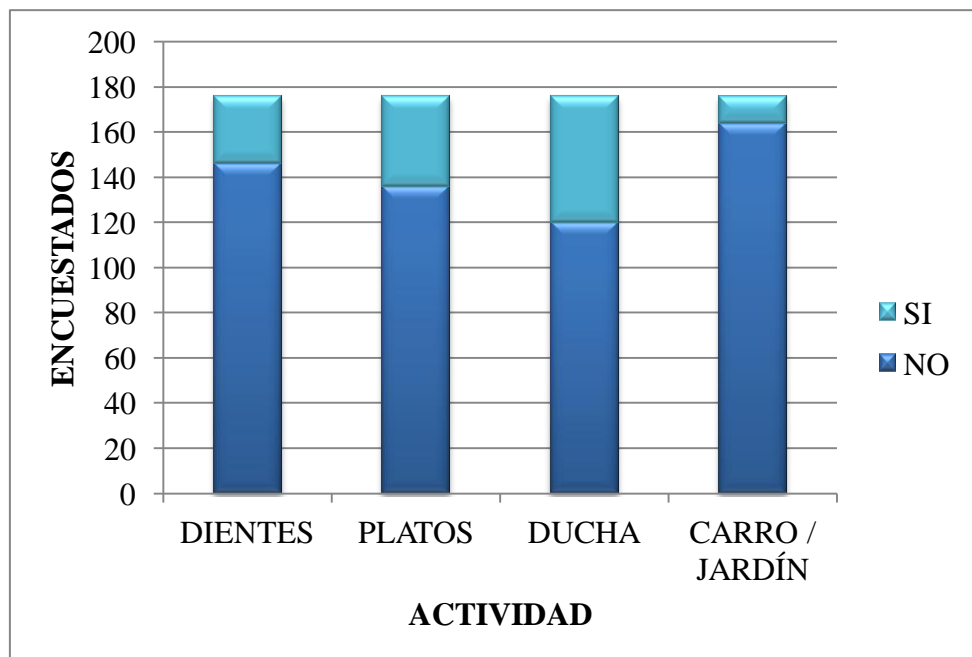
Al preguntar al encuestado a que se debe dicho consumo, estos indicaron que aunque el lavado de ropa era menos frecuente, cada vez que se realizaba esta actividad el consumo de agua era mayor al empleado para otras actividades. En el caso del servicio sanitario, su alto consumo se debe a la frecuencia con la cual se hace uso del mismo. En el caso de que el lavado del carro y regado de jardín representen los valores más bajos se debe a que según los resultados obtenidos, 112 y 104 respectivamente de los 167 encuestados que respondieron dicha pregunta, indicaron que no poseían ni vehículo ni jardín.



**Figura 6.** Nivel promedio de consumo de agua para las actividades del hogar según la población de Blanquillo

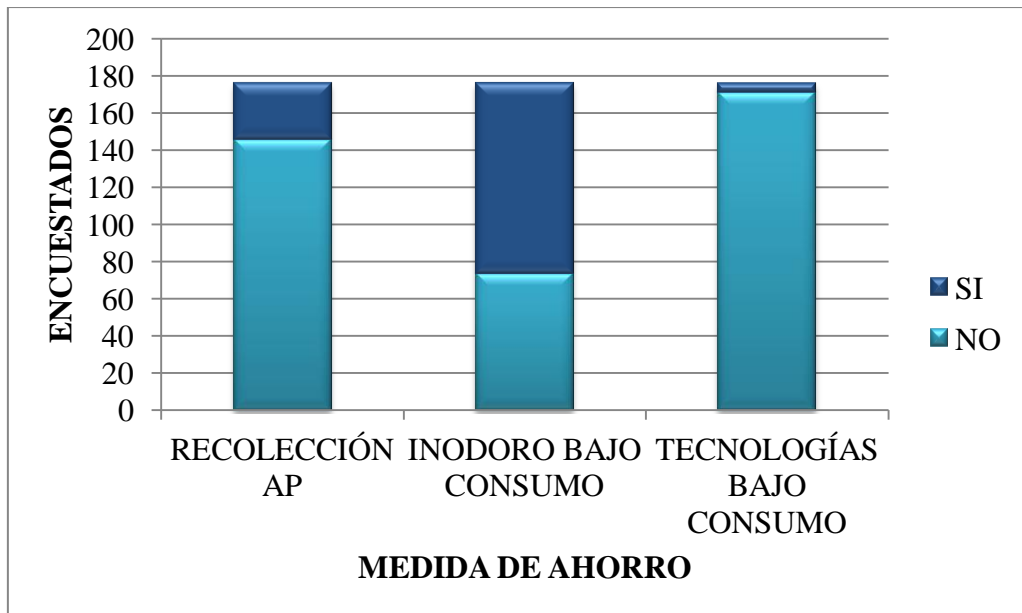
Al analizar los niveles de consumo estipulados por los encuestados, se observó que para las principales actividades del hogar: uso del servicio sanitario, uso de la ducha, limpieza y preparación de alimentos y limpieza del hogar, la mayoría coincide en que dichos valores son muy similares variando en un grado. En el caso del lavado de ropa, es evidente que corresponde a la categoría del consumo más alto según la mayoría de encuestados, lo cual podría ser producto del empleo de equipos o prácticas de alto consumo. Así como nuevamente se evidencia, que la mayoría de la población carece de carro y de jardín.

Al analizar las prácticas diarias de los habitantes de la Urbanización Blanquillo se estableció que por lo general se es consciente del consumo de agua y cómo este se refleja en un gasto económico que no pueden costear. Ejemplo de ello es la figura 7, en la que se detalla la práctica de mantener las llaves abiertas al realizar actividades diarias.



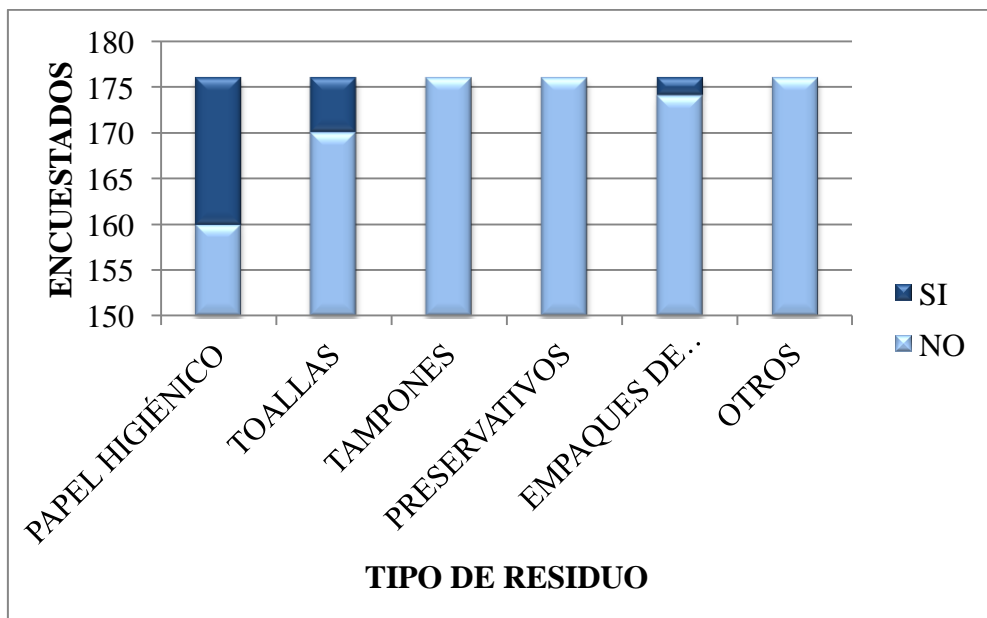
**Figura 7.** Costumbre de mantener la llave de la tubería de agua abierta durante una serie de actividades según la población de Blanquillo

Sin embargo, como se observa en la figura 8, no es común llevar a cabo medidas de ahorro en cuanto al agua. Al aplicar la encuesta se observó que esto se debe en gran medida por desconocimiento sobre qué medidas se pueden practicar sin conllevar a una inversión económica significativa.

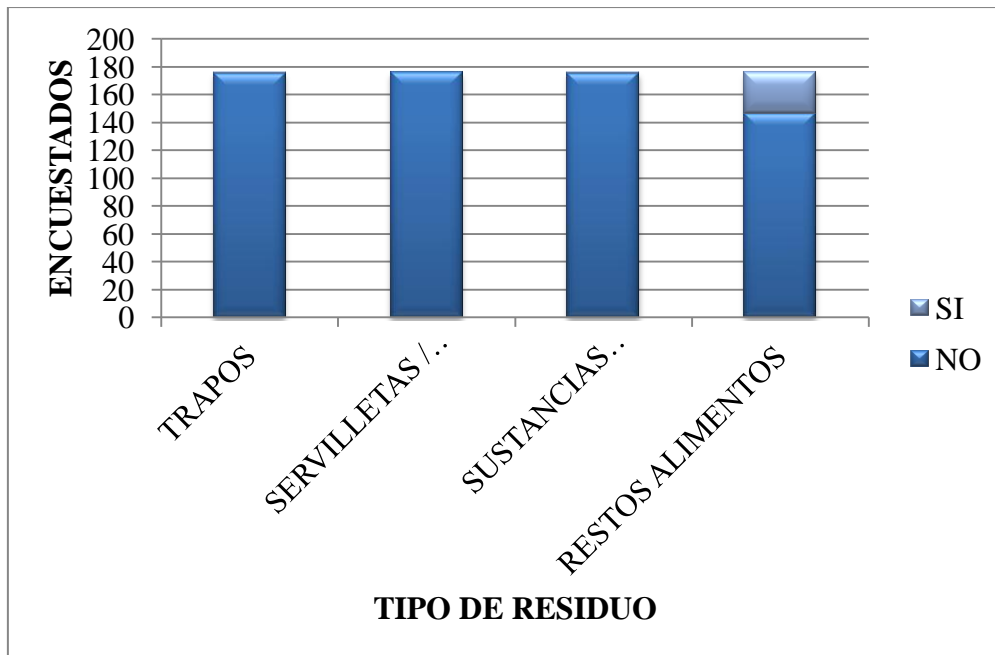


**Figura 8.** Prácticas de ahorro de agua en el hogar según la población de Blanquillo

Dado que en la PTAR se han encontrado a lo largo de este proyecto todo tipo de objetos que provocan obstrucciones y afectan la eficiencia de la planta, se procedió a entrevistar a la población sobre la disposición de residuos en las tuberías de las pilas de la cocina, de lavado de ropa y de aguas negras.



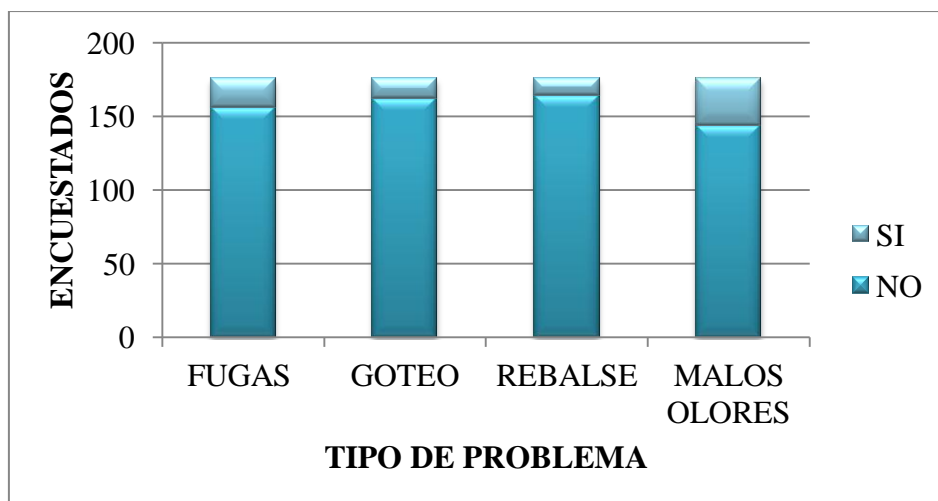
**Figura 9.** Materiales desechados en el servicio sanitario según información suministrada por la población de Blanquillo



**Figura 10.** Materiales desechados en las pilas según información suministrada por la población de Blanquillo

A diferencia de lo visto en la PTAR, según los habitantes de Blanquillo, los residuos que transitan por el alcantarillado sanitario corresponden principalmente a papel higiénico y restos de alimentos, ocasionalmente se disponen materiales como empaques de jabón y toallas. Dicha incongruencia se debe quizás a la falta de sinceridad por parte de los encuestados en admitir que realizan prácticas que perjudican el funcionamiento de la planta, aunque, muchos de los encuestados recalcaron que residuos de ese tipo debían ser dispuestos en basureros según charlas impartidas al momento de la compra del lote como parte de los cuidados a tener en mente debido al servicio de tratamiento de aguas residuales.

Aunado a ello, se procedió a evaluar la presencia de indicadores que reflejen el funcionamiento de la planta en las viviendas de los encuestados, para lo cual se inquirió sobre una serie de problemas en el sistema de acueducto y alcantarillado, y su frecuencia de aparición.



**Figura 11.** Problemas con el sistema de acueducto y alcantarillado según información suministrada por la población de Blanquillo

Si bien los problemas que presencia la población son mínimos y poco frecuentes, se determinó que al menos el problema de fugas se debe a un exceso de presión en el sistema de acueducto, provocando en ocasiones el rebalse de aguas. El problema de goteo se debió a situaciones a cargo de los habitantes propiamente, rara vez relacionado con los sistemas a cargo del Municipio. En el caso de los malos olores, se presentó una tendencia, donde la mayoría de los encuestados que respondió de manera afirmativa se encontraba en los terrenos de menor nivel, además de que era común evidenciar situaciones como las mostradas en la figura 12.



**Figura 12.** Registros y bajantes en los terrenos de menor nivel

De los 177 encuestados, el 94% indicó de qué forma se trataban las aguas residuales en su hogar y de ellos sólo el 86% indicó que era mediante una conexión al alcantarillado sanitario que llevaba a una PTAR, el otro porcentaje definió como medio de tratamiento un tanque séptico.

Según respuestas del grupo meta relacionados con la conexión de aguas pluviales, el 30% contestaron que contaban con bajantes, 58% con canoas, algunos de los cuales indicaron que cuentan con ambos sistemas y posteriormente estas aguas salían hacia los patios. Tan sólo un 6% indicó que contaba con conexión al alcantarillado pluvial, otro 5% dijo disponer de las aguas llovidas en el alcantarillado sanitario. Lo cual deja un vacío sobre el alcantarillado pluvial y el uso que se le esté brindando, las conexiones de disposición de las aguas llovidas de las viviendas hacia el alcantarillado pluvial y si existe o no la posibilidad de que en ocasiones se conecte con el alcantarillado sanitario.

Al consultarles sobre la existencia de un cobro por parte de la Municipalidad que contemplase el servicio de mantenimiento, recolección y tratamiento de AR, un 12% estipuló que sí existía dicho cobro. Al hablar con los mismos sobre ello, gran parte indicó que se había acordado tomar el cobro por rubro de limpieza de caños y emplearlo para dicho fin, otros que se había acordado el monto de mil colones. Unos cuantos hicieron mención que el Comité de Vecinos había realizado una recolección de cinco mil colones por vivienda por motivos de mantenimiento de la planta, pero que no todos pagaron y que nunca se finiquitó dicha actividad.

Otro punto buscaba inquirir sobre la disposición a pagar por el servicio de recolección y tratamiento de AR exclusivo para ello, a lo que el 57% estuvo de acuerdo indicando que estarían de acuerdo si las mejoras fuesen evidentes y siendo un servicio del cual hacen uso, se debe aportar algo para su mejora. El 23% que estuvo en desacuerdo recalzó que la situación económica dificultaba el realizar un pago para dicho servicio y un 20% se negó a contestar indicando que se debía estudiar primero la calidad y cobro de los servicios actualmente brindados por la Municipalidad.

## II. DESCRIPCIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según información entregada por la Municipalidad de Oreamuno, se carece de un perfil de las aguas residuales crudas de la Urbanización Blanquillo, así como un análisis de las características de las aguas residuales vertidas provenientes de la PTAR. Las únicas pruebas físico-químicas realizadas forman parte de otro trabajo de grado (Anexo III), es por ello que dentro de este proyecto se procedió a realizar otra serie de análisis para caracterizar debidamente las aguas residuales de Blanquillo.

La primera serie de análisis fueron realizados por parte de la Municipalidad de Oreamuno al contratar a la empresa LAMBDA, sin embargo al obtener los resultados y aclarar los sitios de muestreo, se determinó que al menos los datos correspondientes a los análisis a la salida de la planta son de dudosa procedencia. Esto se debe a que al estudiar cuidadosamente los planos del alcantarillado sanitario y pluvial, el sitio muestreado por la empresa como zona de salida de las aguas residuales corresponde a la salida del alcantarillado pluvial y no el de la planta.



**Figura 13.** Salida de la PTAR al cuerpo receptor y salida del alcantarillado pluvial respectivamente

**Cuadro 4.** Resultados de los análisis realizados a las aguas residuales de entrada y salida de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 7 de julio del 2011

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de entrada</b>	<b>Valor de salida</b>	<b>Unidad</b>
<b>Temperatura</b>	27	27	°C
<b>pH</b>	7,28	7,46	
<b>Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)</b>	13,8	6,6	mg/l
<b>Grasa y aceites</b>	35	14	mg/l
<b>DQO</b>	360	160	mg/l
<b>DBO</b>	180	65	mg/l
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	184	54	mg/l
<b>Sólidos sedimentables</b>	2,8	1,1	ml/l
<b>Sólidos totales</b>	484	314	mg/l
<b>Sólidos disueltos</b>	300	260	mg/l

Muestreo y análisis realizado por: la empresa LAMBDA

**Cuadro 5.** Resultados de los análisis realizados a las aguas residuales de entrada y salida de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 17 de noviembre del 2011

<b>Parámetro</b>	<b>Valor de entrada</b>	<b>Valor de salida</b>	<b>Unidad</b>
<b>Turbidez</b>	311	128	FTU
<b>Color</b>	3535	923	UCP
<b>Grasa y aceites</b>	18,05	6,4	mg/l
<b>DQO</b>	525,5	198	mg/l
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	230	77	mg/l
<b>Sólidos sedimentables</b>	7,5	0	ml/l

Muestreo y análisis realizado por: Hellen Rodríguez con la ayuda de Bernardo Morales, Laboratorio de Aguas de Ingeniería Ambiental, TEC

Para el caso del cuadro 5 los valores de la prueba de DBO fueron descartados por problemas con el equipo de medición de oxígeno disuelto.



Cuando se estudiaron los datos obtenidos mediante los análisis contra los valores teóricos de composición típica del agua cruda (Cuadro 1), fue posible caracterizar las aguas residuales de Blanquillo de carga débil alta a media baja.

Al comparar los resultados de los análisis efectuados en la entrada y salida de la planta en julio contra los de noviembre, es notable que los valores de las pruebas realizadas en las instalaciones de la Carrera de Ingeniería Ambiental son de mayor magnitud a las realizadas por el laboratorio LAMBDA.

Esto se debe a que para el mes de junio se había llevado a cabo una reunión por parte de la Municipalidad con representantes del A y A para solicitar asesoría en cuanto a las medidas a tomar para solucionar la problemática con el alcantarillado sanitario. A raíz de lo cual se coordinó la revisión de los registros del alcantarillado sanitario y su desobstrucción, concluyendo en la eliminación de materiales que impedían el paso de las aguas residuales crudas hacia la planta.

Estas acciones emprendidas durante el mes de agosto conllevaron a que, para cuando se efectuó el segundo análisis, el caudal entrante a la planta aumentó, de ahí que los valores de los contaminantes a la salida resultasen superiores a los de la primera serie de análisis. Además, como se mencionó anteriormente, las pruebas realizadas por LAMBDA se efectuaron en una salida no correspondiente al de la PTAR.

Sin embargo, los valores de DBO, DQO y SST en la salida del alcantarillado pluvial obtenidos mediante los análisis de LAMBDA superan los 12, 94 y 239 mg/l respectivamente, típicos de las escorrentías de zonas residenciales y comerciales. (WEF & ASCE, 1992) Lo cual, sumado a la presencia de un caudal constante en dicha salida confirma lo visto durante la examinación de los registros del alcantarillado sanitario y pluvial, que existen conexiones de aguas residuales al alcantarillado pluvial, como se evidencia en la figura 14.



**Figura 14.** Registro de alcantarillado pluvial (Agosto 2011)

Dado que el proceso de tratamiento de las aguas residuales comprende además la operación de digestión de lodos y su posterior deshidratación, se practicaron análisis a tanto los lodos en proceso de deshidratación como las aguas residuales generadas durante este proceso. A continuación se presentan los resultados obtenidos de tales pruebas.

**Cuadro 6.** Resultados de los análisis realizados a las aguas residuales de salida del lecho de secado de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 23 de enero del 2012

Parámetro	Valor	Unidad
Conductividad	842	μs/cm
pH	6,557	
Turbidez	9	FTU
Color	61	UCP
DQO	18,5	mg/l
Alcalinidad	93,33	mg CaCO <sub>3</sub>

Muestreo y análisis realizado por: Hellen Rodríguez con la ayuda de Bernardo Morales, Laboratorio de Aguas de Ingeniería Ambiental, TEC

**Cuadro 7.** Resultados de los análisis realizados a los lodos del lecho de secado de la planta de tratamiento de la Urbanización Blanquillo para el 23 de enero del 2012

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Sólidos totales</b>	16%
<b>Volátiles</b>	49%
<b>Fijos</b>	51%

Muestreo y análisis realizado por: Hellen Rodríguez con la ayuda de Bernardo Morales, Laboratorio de Aguas de Ingeniería Ambiental, TEC

Parte de la caracterización de las aguas residuales comprende un estudio de los caudales que entrarían a la PTAR, puesto que en la planta se imposibilita la medición del caudal, los caudales de diseño se tomaron a partir del consumo de agua potable. Por ello a continuación se presenta un registro del consumo de agua potable durante todo un año y otras características correspondientes al sistema de acueducto.

**Cuadro 8.** Detalle del sistema de cobro de agua potable por abonado en la Urbanización Blanquillo durante el 2011.

Mes Forma de cobro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Medidor</b>	324	323	323	322	325	338	344	356	361	359	358	358
<b>Tarifa fija</b>	44	44	44	44	44	29	26	11	9	9	9	9
<b>No indica</b>	4	5	5	6	3	5	2	5	2	4	5	5
<b>Total de abonados</b>	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372

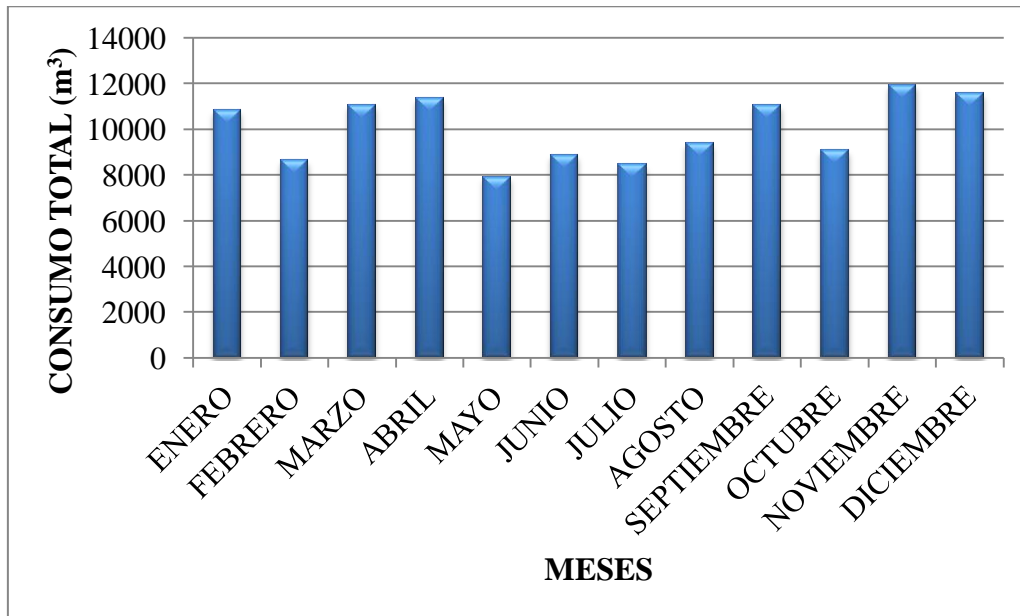
Como se observa durante el transcurso del año fueron reduciéndose el número de abonados a los que se le cobraba la tarifa fija, debido a la colocación de medidores. En el caso en donde se establece que no se indica la forma de cobro se debe a que durante ese mes se presentó algún problema para efectuar una medida confiable del medidor o que se había cortado el servicio por falta de pago.

**Cuadro 9.** Consumo mensual de metros cúbicos de agua potable (m<sup>3</sup>) de la Urbanización Blanquillo durante el 2011.<sup>3</sup>

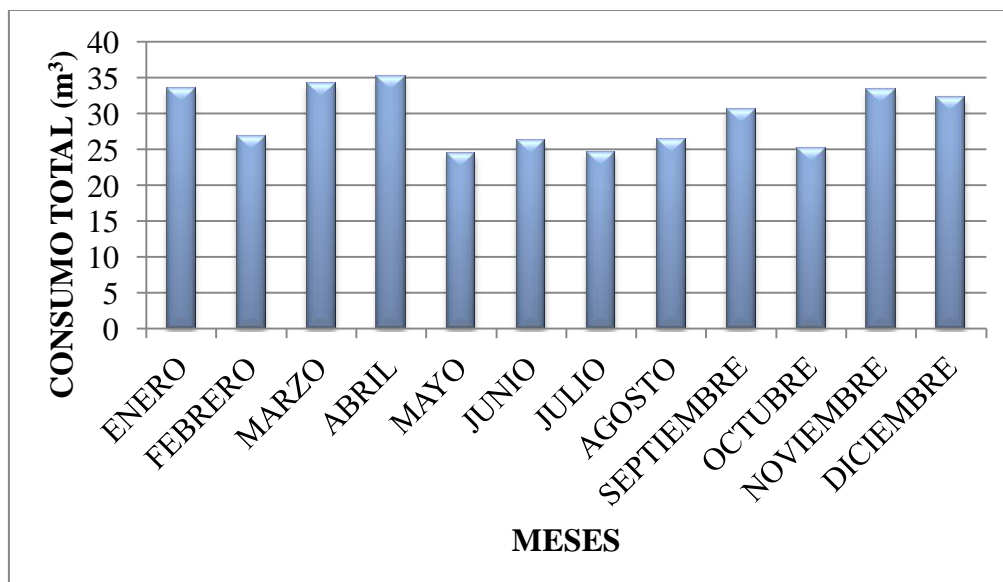
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Consumo total</b>	10840	8658	11042	11348	7919	8857	8438	9382	11036	9066	11949	11569
<b>Consumo promedio/abonado</b>	33,4568	26,8050	34,1858	35,2422	24,3662	26,2041	24,5291	26,3539	30,5706	25,2535	33,3771	32,3156

<sup>3</sup> Dado que solo es posible registrar con certeza el consumo de agua potable de los abonados con medidor, para el cálculo del consumo promedio mensual se considera únicamente aquellos abonados que disponían de medidor el mes en cuestión.

En las siguientes figuras se puede apreciar mejor el comportamiento en cuanto a consumo de agua mes a mes, ejemplificando que los meses de mayor consumo coinciden con los meses de verano y para el caso de noviembre y diciembre, los meses de vacaciones y de festividades, es decir cuando la población pasa más tiempo en el hogar.

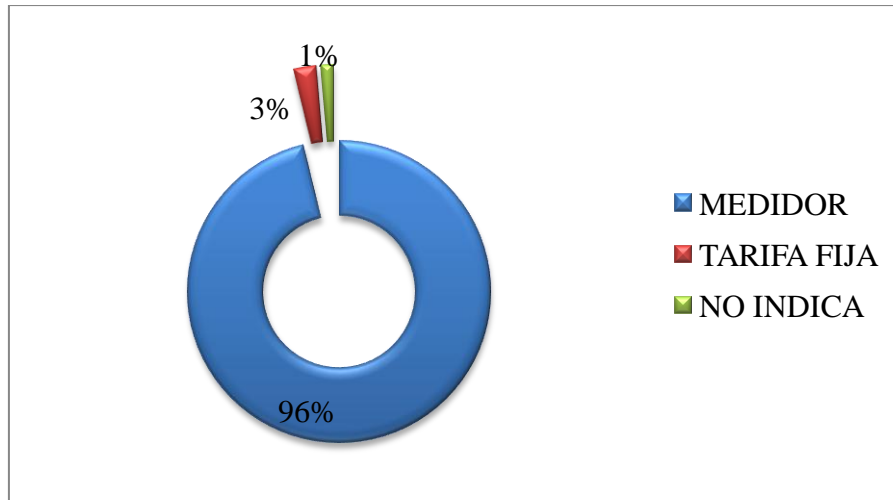


**Figura 15.** Consumo mensual total de agua potable de la Urbanización Blanquillo durante el 2011.



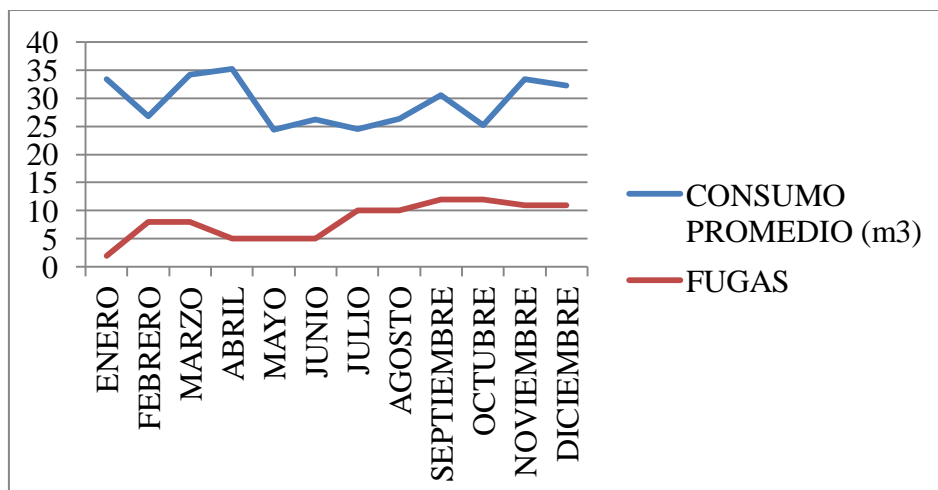
**Figura 16.** Consumo mensual promedio por abonado de agua potable de la Urbanización Blanquillo durante el 2011

La figura 17 demuestra cómo se encuentra la cobertura del sistema de cobro de consumo de agua potable para el mes de diciembre del 2011, donde es notable que el porcentaje de la población cuyo consumo no fue registrado es muy poco.



**Figura 17.** Distribución del sistema de cobro de agua potable de la Urbanización Blanquillo para diciembre del 2011

La siguiente figura corresponde a una comparación entre el número de fugas presentadas por mes y el consumo promedio mensual por abonado, sin embargo no es tan evidente que durante los meses de mayor consumo se presentó un mayor número de fugas. No por ello deja de ser notable que si existe cierto grado de relación entre ambas variables.



**Figura 18.** Comportamiento del consumo de agua potable y la frecuencia de fugas de la Urbanización Blanquillo durante el 2011

### III. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PTAR

#### i. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUALES

Según los resultados obtenidos del cuadro 4 y cuadro 5, considerando los valores más altos como los que reflejan mejor las condiciones actuales de la planta y de acuerdo a los valores estipulados por el Decreto N° 33601 (cuadro 10), las aguas residuales procedentes de la planta incumplen los parámetros de carga orgánica como DBO, DQO, SAAM y SST.

**Cuadro 10.** Límites de contaminantes para el vertido de aguas residuales tratadas a un cuerpo receptor

Parámetro	Valor	Unidad
DBO <sub>5,20</sub>	50	mg/l
DQO	150	mg/l
SS	50	mg/l
G y A	30	mg/l
pH	5-9	
T	15-40	°C
SSed	1	ml/l
SAAM	5	mg/l

Esto se debe a que las eficiencias de remoción actuales de DBO, DQO y SST son de 64%, 62% y 67% respectivamente, cuando deberían ser de 72 %, 71% y 78% respectivamente.

Para lo cual, Nelson & Murray (2008), recomiendan evaluar el funcionamiento del tanque Imhoff y el sedimentador secundario, puesto que es en la etapa de sedimentación donde se da la remoción de los SST y del DBO, que a su vez conlleva a que se reduzca el valor de DQO.

En el caso de los SST, se debe tener presente que al realizar esta prueba, los resultados indican si es probable que los sólidos suspendidos puedan ser removidos mediante la sedimentación, flotación o filtración. Por lo que, para aumentar la eficiencia de remoción de SST se puede además mejorar el estado del FAFA. Ya sea mediante una limpieza a retro lavado o revisión del material filtrante. Lo cual permitiría una reducción del valor de turbidez, que depende de la cantidad de materia en suspensión. (Alley, 2007)

Para el caso de la eficiencia del biodigestor y posteriormente el lecho de secado, se debe tener presente que a la hora de realizar el muestreo, la planta no se encontraba funcionando bajo las condiciones normales. Esto se debe a que se habían estado realizando procesos de limpieza, específicamente extracción de lodos provenientes del tratamiento primario (tanques Imhoff) y del tratamiento secundario (tanques de sedimentación). Los cuales fueron trasladados al biodigestor y que ocasionalmente, producto de los lluvias fueron evacuados hacia el lecho de secado. Otro punto importante a destacar consiste en que, dichos lodos han sido acumulados según datos de la Municipalidad, desde la creación de la planta.

En las figuras 19 y 20 se puede evidenciar que el fango posee un color negro, lo cual es una indicación de que el mismo ha sido digerido debidamente, sin embargo este aún presentaba un olor fuerte. Debido a su contenido de agua, el mismo puede ser descrito como barro seco o sólido permanente diseminable. (Hernández, 1998).



**Figura 19.** Fango en digestión en el lecho de secado





**Figura 20.** Muestra de lodo y AR proveniente del lecho de secado

Según Metcalf & Eddy, el lodo digerido posee un porcentaje típico de sólidos totales entre 6 y 12%. Por lo que se asume que el tiempo de retención (desconocido debido a las labores de limpieza efectuadas por distintas empresas) se debe aumentar. Para el caso de los sólidos volátiles, el rango va del 30 al 60%, por lo que si cumple con los valores típicos.

En cuanto al agua producto de la deshidratación de lodos, la mayoría de parámetros son relativamente bajos, dentro de los rangos químicos característicos (el pH fluctúa entre 6,5 y 7,5) y cumplen con los valores exigidos al menos para las aguas residuales a ser vertidas a un cuerpo receptor. No por ello se debe obviar que el valor obtenido de alcalinidad (mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ), comparado con los datos del cuadro 1, valores para aguas crudas, correspondería al de AR con una concentración media, a pesar de encontrarse en la etapa final del proceso de tratamiento. Aunque según Metcalf & Eddy está muy por debajo de los valores típicos para lodos digeridos, que es de 2500 a 3500 mg/l  $\text{CaCO}_3$ .

A partir del cuadro 8 donde se registra el consumo de agua potable en metros cúbicos por la población de Blanquillo durante todo un año, se determinó el caudal medio, máximo y mínimo mensual, considerando además que de ese consumo por abonado, el 85% se convierte en agua residual.

**Cuadro 11.** Caudales de agua residual en litros por habitante por día para la Urbanización Blanquillo para el 2011

Caudal medio diario ( $Q_{med,d}$ )	Caudal máximo diario ( $Q_{máx,d}$ )	Caudal mínimo diario ( $Q_{mín,d}$ )
172,914	206,436	136,812

## ii. DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO DE LA PLANTA

El diseño teórico de la planta se realizó tal que se asemejara a la planta que actualmente se encuentra construida en la Urbanización Blanquillo, Oreamuno. Por lo que el esquema abarcó el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento de los lodos producidos a lo largo del proceso.

Las cargas de diseño empleadas para el dimensionamiento (cuadro 12), fueron las obtenidas mediante los análisis físico-químicos realizados durante el mes de noviembre del 2011 (cuadro 5) y los registros de consumo de agua potable para el 2011 (cuadro 9). En el caso de la carga orgánica de DBO, tales análisis fueron comprometidos por lo que es valor empleado corresponde a aproximadamente la mitad del valor de la DQO.

**Cuadro 12.** Parámetros de diseño del agua cruda municipal según distintas cargas de diseño

Parámetro	Municipalidad INEC	Municipalidad Proyecto	Metcalf & Eddy	Ramalho
<b>Población</b>	1312	1640	1500	2000
<b><math>Q_{mín,d}</math> (<math>m^3/d</math>)</b>	224,372	224,372	225,000	300,000
<b><math>Q_{med,d}</math> (<math>m^3/d</math>)</b>	283,579	283,579	337,500	500,000
<b><math>Q_{máx,d}</math> (<math>m^3/d</math>)</b>	338,555	338,555	735,000	700,000
<b>DBO<sub>5,20</sub> (kg/d)</b>	73,731	73,731	74,250	120,000
<b>DQO (kg/d)</b>	148,879	148,879	87,750	
<b>SS (kg/d)</b>	65,223	65,223	74,250	180,000

Es importante recalcar que los valores de diseño empleados para estudiar la capacidad de la planta son valores del 2011, no los valores con los cuales se diseñó originalmente. Esto debido a que no se pudo dar con las memorias de cálculo del diseño de la planta. Aunado a

ello, se tiene que según los registros de la Municipalidad, la Urbanización comprende 328 viviendas, según los planos de la Urbanización, los lotes con los cuales se diseñó la PTAR corresponden a un previsto de 324 viviendas.

Aunque la diferencia es mínima se debe recalcar que según los registros de consumo de agua se tienen 372 abonados, de los cuales 341 en promedio durante el 2011 contaban con medidor y cuyo valor de consumo ha sido empleado para la estimación de caudal de aguas residuales entrante a la planta.

### **PRETRATAMIENTO**

Las operaciones de pretratamiento comprenden, de acuerdo a la planta en físico, la retención de material sólido grueso mediante rejillas, a continuación se presentan los cálculos de ancho del canal de rejillas, la pérdida de carga y el volumen de material retenido.

**Cuadro 13.** Datos de diseño del pretratamiento de agua residual municipal

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Velocidad entre barras (V)</b>	0,700	m/s
<b>Ángulo de inclinación (<math>\theta</math>)</b>	45	°
<b>Velocidad de aproximación (v)</b>	0,450	m/s
<b>Coefficiente de seguridad (<math>C_{rej}</math>)</b>	0,300	m
<b>Coefficiente de Kirschmer (<math>\beta</math>)</b>	2,42	

Los valores seleccionados de velocidad y ángulo de inclinación corresponden a los típicos para barras de limpieza manual. Para determinar el coeficiente de Kirschmer, se eligió el tipo de barras que más se asemejan a lo instalado en la planta, barras rectangulares de borde recto.



**Figura 21.** Detalle de la barras del canal de rejillas

**Ecuación 2.** Ancho del canal de rejillas (m)

$$W = \frac{Q_{max}}{v \cdot D} \cdot \left( \frac{a + s}{s} \right) + C_{rej}$$

**Ecuación 3.** Nivel de aguas arriba de la rejilla a caudal máximo (m)

$$D = 0,15 + 0,74 \cdot \sqrt{Q_{max}}$$

$Q_{max}$  = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

v = Velocidad de aproximación (m/s)

a = Ancho de barrotes (m)

s = Separación libre entre barrotes (m)

$C_{rej}$  = Coeficiente de seguridad (m)

**Ecuación 4.** Pérdida de carga en rejillas limpias (m)

$$\Delta h = \beta \cdot \left( \frac{a}{s} \right)^{4/3} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \text{sen}\theta$$

$\beta$  = Coeficiente de Kirschmer

a = Ancho de barrotes (m)

s = Separación libre entre barrotes (m)

v = Velocidad de aproximación (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\theta$  = Ángulo de la rejilla con la horizontal

**Ecuación 5.** Pérdida de carga en rejillas sucias (m)

$$h = \frac{k \cdot (V^2 - v^2)}{2g}$$

h = Pérdida de carga (m)

k = Coeficiente de fricción (típicamente 1,43)

V = Velocidad entre barras (m/s)

v = Velocidad de aproximación (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**Cuadro 14.** Dimensiones del pretratamiento de agua residual municipal para distintas cargas de diseño

	Parámetro	Municipalidad Proyecto	PTAR	Planos
	Ancho de barra (m)	0,009	0,009	0,0120
	Separación entre barras (m)	0,038	0,038	0,025
	Número de barras	8	4	11
<b>Dimensiones del canal</b>	Ancho (m)	0,400	0,200	0,400
	Altura lámina de agua (m)	0,375	0,425	0,425
	Altura (m)	0,425	0,500	0,500
	Largo (m)	1,750	1,750	2,54
<b>Dimensiones de las rejillas</b>	Nivel de agua sobre la rejilla (m)	0,196	0,196	0,196
	Ancho (m)	0,335	0,335	0,342
	Pérdida de carga rejillas limpias (m)	0,305	0,305	0,769
	Pérdida de carga rejillas sucias (m)	2,017	2,017	2,017
	Volumen de sólidos retenidos (l/d)	11,233	11,233	11,233

## TRATAMIENTO PRIMARIO

**Cuadro 15.** Parámetros y datos de diseño del tratamiento primario de agua residual municipal, tanque Imhoff

Parámetro	Valor	Unidad
Carga superficial ( $C_s$ )	1	$m^3/m^2 \cdot h$
Periodo de retención hidráulica (TRH)	2	h
Carga hidráulica sobre el vertedero (Chv)	250	$m^3/m \cdot d$
Factor de capacidad relativa ( $f_{CR}$ )	0,7 <sup>4</sup>	
Tiempo de digestión ( $t_d$ )	40	d
Reducción de SS	45%	
Reducción de DBO	30%	
Fracción de SSV	65%	
Concentración de fangos producidos	1,5%	

**Ecuación 6.** Área de la cámara de sedimentación ( $m^2$ )

$$A_s = \frac{Q_{med}}{C_s}$$

$Q_{med}$  = Caudal medio diario ( $m^3/h$ )

$C_s$  = Carga superficial ( $m^3/m^2 \cdot h$ )

**Ecuación 7.** Volumen de la cámara de sedimentación ( $m^3$ )

$$V_s = Q_{med} \times TRH$$

$Q_{med}$  = Caudal medio diario ( $m^3/h$ )

TRH = Tiempo de retención hidráulica (h)

---

<sup>4</sup> Para una temperatura de 20 °C

**Ecuación 8.** Volumen de la cámara de digestión (m<sup>3</sup>)

$$V_d = \frac{70 \times P \times f_{CR}}{1000}$$

P = Población

f<sub>CR</sub> = Factor de capacidad relativa

**Cuadro 16.** Dimensiones del tratamiento primario de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, tanque Imhoff (dos unidades)

	Parámetro	Municipalidad Proyecto	PTAR	Planos
Cámara de sedimentación	Área del sedimentador (m <sup>2</sup> )	5,908	19,92	19,92
	Volumen del sedimentador (m <sup>3</sup> )	11,816	11,952	11,952
	Longitud mínima del vertedero de salida (m)	0,677	0,677	0,677
	Ancho (m)	1,215	2,400	2,400
	Largo (m)	4,861	8,300	8,300
	Ángulo de inclinación (°)	60,000	45,000	45,000
	Altura sector triangular (m)	1,052	1,200	1,200
	Volumen sector triangular (m <sup>3</sup> )	3,109	11,952	11,952
	Altura sector rectangular (m)	1,474	0,000	0,000
Cámara de digestión	Volumen de almacenamiento y digestión (m <sup>3</sup> )	40,180	82,170	82,170
	Tiempo de digestión (d)	40	40	40
	Ángulo de inclinación (°)	30	0	0
Área de ventilación	Altura (m)	0,300	0,250	0,250
	Ancho (m)	1,000	1,700	1,700
	Superficie libre (m <sup>2</sup> )	9,722	28,220	28,220
	Superficie total (m <sup>2</sup> )	17,575	49,800	49,800
	Producción de lodos (kg SST/d)	29,350	29,350	29,350
	Producción de lodos (kg SSV/d)	19,078	19,078	19,078

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

**Cuadro 17.** Parámetros y datos de diseño del tratamiento secundario de agua residual municipal, tanque sedimentador

Parámetro	Valor ( $Q_{med}$ )	Valor ( $Q_{máx}$ )	Unidad
Velocidad ascensional ( $V_{asc}$ )	0,8	1,8	m/h
Tiempo de retención ( $t_R$ )	1,5	1,0	h
Carga hidráulica sobre el vertedero ( $V_{vert}$ )	7,5		$m^3/m*d$
Producción de fangos	0,750		Kg de SST por kg DBO <sub>5,20</sub> eliminada
Producción de fangos	0,500		Kg de SSV por kg DBO <sub>5,20</sub> eliminada
Concentración de fangos producidos	5%		

**Cuadro 18.** Dimensiones del tratamiento secundario de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, tanque sedimentador (dos unidades)

Parámetro	Municipalidad Proyecto	PTAR	Planos
DBO <sub>5,20</sub> (kg/d)	51,611	51,611	51,611
Eficiencia requerida	0,725	0,725	0,725
Área de sedimentación ( $m^2$ )	7,385	25,200	25,200
Volumen de sedimentación ( $m^3$ )	26,586	90,720	90,720
Longitud (m)	6,000	6,000	6,000
Altura real (m)	3,600	3,600	3,600
Ancho (m)	1,231	4,200	4,200
Longitud del vertedero de salida (m)	37,811	37,811	37,811
Producción de lodos (kg SST/d)	28,074	28,074	28,074
Producción de lodos (kg SSV/d)	18,248	18,248	18,248



**Cuadro 19.** Parámetros y datos de diseño del tratamiento secundario de agua residual municipal, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Parámetro	Valor	Unidad
Carga hidráulica ( $C_H$ )	5,55	$m^3/m^2d$
Reducción de SS	55%	
Reducción de DBO	35%	

**Ecuación 9.** Rendimiento de eliminación de la DBO

$$E = \frac{100}{1 + 0,4425 \cdot \sqrt{\frac{W}{V \cdot F}}}$$

W = Carga de DBO aplicada al filtro (kg/día)

V = Volumen del medio filtrante ( $m^3$ )

F = Factor de recirculación

**Ecuación 10.** Carga hidráulica ( $m^3/m^2d$ )

$$C_H = \frac{\text{Caudal aplicado}}{A}$$

A = área del filtro ( $m^2$ )

**Ecuación 11.** Carga orgánica

$$\text{Carga orgánica} = \frac{kg\ DBO/d}{V}$$

V = Volumen del medio filtrante ( $m^3$ )

**Ecuación 12.** Lodos producidos (kg)

$$P_x = \text{factor de producción de lodos} \times kg\ de\ DBO_5\ eliminados$$

**Cuadro 20.** Dimensiones del tratamiento secundario de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) (dos unidades)

Parámetro	Municipalidad		
	Proyecto	PTAR	Planos
DBO <sub>5,20</sub> (kg/d)	47,925	47,925	47,925
Eficiencia requerida	0,725	0,725	0,725
Volumen del medio filtrante (m <sup>3</sup> )	47,687	38,160	38,160
Área del lecho (m <sup>2</sup> )	31,791	31,800	31,800
Altura (m)	1,500	1,200	1,200
Carga orgánica (kg DBO <sub>5,20</sub> /m <sup>3</sup> d)	0,502	0,628	0,628

### TRATAMIENTO DE LODOS

Debido a las acciones de limpieza de la planta y la faltante de las memorias de cálculo, el tiempo de retención seleccionado como parámetro de diseño corresponde a una recomendación teórica.

**Cuadro 21.** Parámetros y datos de diseño del tratamiento de los lodos de agua residual municipal, biodigestor

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de retención ( $t_R$ )	30	d
Coefficiente cinético de rendimiento máximo (Y)	0,05	mg SSV/mg DBO <sub>5</sub>
Coefficiente de degradación endógena ( $K_d$ )	0,04	días <sup>-1</sup>
Tasa máxima de utilización del sustrato (K)	8	g/g día
Constante de media velocidad ( $K_s$ )	400	mg/l
Rendimiento de SSV	40%	
Concentración de fangos de salida	5%	
Producción de gas	1	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg SSV eliminado

**Ecuación 13.** Edad del lodo (d)

$$\frac{1}{\vartheta_c} = Y \cdot \frac{K \cdot S}{K_s + S} - K_d$$

Y = Coeficiente cinético de rendimiento máximo (mg SSV/mgDBO<sub>5</sub>)

K = Tasa máxima de utilización del sustrato (g/g d)

S = Concentración del sustrato en solución (mg DBO<sub>5</sub>/l)

K<sub>s</sub> = Constante de media velocidad (mg/l)

K<sub>d</sub> = Coeficiente de degradación endógena (d<sup>-1</sup>)

**Ecuación 14.** Caudal medio de digestión (m<sup>3</sup>/d)

$$Q_{MD} = [Q_{ID} - \%SSV \cdot (Q_{ID} - Q_{ED})]$$

%SSV = Porcentaje de sólidos volátiles del lodo enviado al digestor

Q<sub>ID</sub> = Caudal incorporado al digestor (m<sup>3</sup>/d)

Q<sub>ED</sub> = Caudal extraído del digestor (m<sup>3</sup>/d)

**Ecuación 15.** Volumen del digestor (m<sup>3</sup>)

$$V = Q_{MD} \times t_R$$

Q<sub>MD</sub> = Caudal medio de digestión (m<sup>3</sup>/d)

t<sub>R</sub> = Tiempo de retención (d)

**Ecuación 16.** Carga de sólidos volátiles (kg SSV/m<sup>3</sup>d)

$$C_{SOL} = \frac{SSV_0}{V}$$

SSV<sub>0</sub> = kg de sólidos volátiles presentes en los lodos provenientes del tratamiento primario y secundario

V = volumen del biodigestor (m<sup>3</sup>)

**Cuadro 22.** Dimensiones del tratamiento de los lodos de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, biodigestor

Parámetro	Municipalidad Proyecto	PTAR	Planos
Edad del fango (d)	39,570	39,570	53,054
SSV eliminados (kg/d)	14,930	14,930	14,930
SST sin digerir (kg/d)	42,494	42,494	42,494
Caudal de sólidos a extraer (m <sup>3</sup> /d)	0,850	0,850	0,850
Caudal de sólidos incorporados (m <sup>3</sup> /d)	0,883	0,883	0,883
Caudal medio de digestión (m <sup>3</sup> /d)	0,832	0,832	0,832
Volumen del digestor (m <sup>3</sup> )	24,954	128,700	122,880
Carga de sólidos volátiles (kg SSV/m <sup>3</sup> d)	1,496	0,290	0,304
Producción de gas (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d)	14,930	14,930	14,930

Los valores de altura de lodo y tiempo de retención indicados corresponden a sugerencias, no necesariamente las condiciones bajo las que opera la planta.

**Cuadro 23.** Parámetros y datos de diseño del tratamiento de los lodos de agua residual municipal, lecho de secado

Parámetro	Valor	Unidad
Altura del lodo (H <sub>0</sub> )	25	cm
Carga de sólido aplicada(L)	9	kg/m <sup>2</sup>
Concentración de materia seca (C <sub>0</sub> )	36%	
Tiempo de retención (t <sub>R</sub> )	3	días
Capacidad media de secado (L <sub>d</sub> )	105	kg/m <sup>2</sup>

**Ecuación 17.** Caudal de lodos a secar (m<sup>3</sup>/d)

$$Q_{DESH} = \frac{F_{DIG}}{C_{FDIG}}$$

$F_{DIG}$  = Lodos procedentes del digestor (kg SST/d)

$C_{FDIG}$  = Concentración del lodo digerido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

**Ecuación 18.** Caudal de lodos secos ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$$Q_{SECO} = \frac{F_{DIG}}{C_{FDESH}}$$

$F_{DIG}$  = Lodos procedentes del digestor (kg SST/d)

$C_{FDESH}$  = Concentración del lodo deshidratado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

**Cuadro 24.** Dimensiones del tratamiento de los lodos de agua residual municipal para distintas cargas de diseño, lecho de deshidratación

Parámetro	Municipalidad		
	Proyecto	PTAR	Planos
Lodos a digerir (kg/d)	42,494	42,494	42,494
Área de lecho cubierto ( $\text{m}^2$ )	147,600	64,900	50,760
Área de lecho descubierto ( $\text{m}^2$ )	180,400	64,900	50,760
Caudal de lodos a secar ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	0,850	0,850	0,850
Volumen de lodos ( $\text{m}^3$ )	2,550	2,550	2,550
Caudal de lodos secos ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	0,118	0,118	0,094

Las dimensiones de área listadas como teóricas, es decir bajo el nombre de Municipalidad – Proyecto, corresponde a si se hiciera todo el lecho de secado sólo techado o descubierto. En cuyo caso, se debe tener presente que en la realidad el lecho de secado se encuentra mitad cubierto y descubierto. Por ello, en realidad el área total que abarca el lecho de secado es del doble, es decir  $129,800 \text{ m}^2$  y  $101,520 \text{ m}^2$  para el lecho construido y el lecho en planos respectivamente.

### **iii. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO TEÓRICO Y LO CONSTRUIDO EN PLANTA**

#### ***PRETRATAMIENTO***

Al describir las dimensiones en planta de las rejillas: ancho, separación y altura se emplearon los valores en planos debido a las constantes acciones de limpieza de la planta, con lo cual se debió crear un bypass que imposibilitó tomar las medidas de profundidad del canal de rejillas, así como en ancho y largo de las barras.

Sin embargo, al realizar la comparación entre el dimensionamiento teórico y el físico, es notable que el ancho que posee el canal donde se localizan las rejillas es insuficiente. Puesto que este es tan sólo la mitad del ancho indicado en planos y del valor recomendado según el dimensionamiento teórico.

Al tener un ancho menor, la relación entre ancho y altura de las dimensiones en físico es mucho menor al valor recomendado. Más no obstante, las dimensiones de la planta según los planos incumplen también esta relación, debido a que la altura de lámina del agua indicada debería ser menor, pero la diferencia es mínima. (Hernández, 1998)

Por lo que la medida a recomendar en el caso de las rejillas consiste en aumentar el ancho del canal en 0,2 m si los valores de altura no son variables a los establecidos en el cuadro 14. Adicional a ello se debe evaluar el número de barras que componen las rejillas, puesto que al menos para los valores de diseño se determinó que se requieren de 8 barras y que si tomamos las dimensiones de ancho y separación de barras en planos, se requieren 11 barras.

#### ***TRATAMIENTO PRIMARIO***

Por dificultades para realizar las mediciones internas del tanque Imhoff, los valores listados bajo la columna PTAR corresponden a los valores en planos. Es por ello que la principal comparación se realizó entre las dimensiones teóricas y lo indicado en planos. Para lo cual se analizó el tratamiento primario según los tres componentes principales del tanque Imhoff: zona de sedimentación, de digestión y de ventilación.

Según los valores obtenidos para la cámara de sedimentación, el diseño en planos y en físico, de haberse realizado como se detalla en planos, cumplen con el diseño teórico de no ser por dos puntos claves. El primero consiste que el ángulo de inclinación de las mamparas es menor al recomendado, valor que ronda entre 50 y 60°, para permitir que el proceso de sedimentación se lleve a cabo debidamente. (OPS, 2005)

Otro punto importante a destacar consiste en que, la cámara de sedimentación especificada en planos y en físico comprenden de dos mamparas que forman una zona triangular y no una zona rectangular y posteriormente triangular como se muestra en la figura 22, y como es típico de un tanque Imhoff.



**Figura 22.** Detalle del área de sedimentación de un tanque Imhoff

El no contar con esta zona rectangular podría afectar el volumen requerido, dado a que se contaría con una altura menor. En el caso de la planta propuesta en planos, el no contar con el sector rectangular no posee un efecto negativo, puesto que las demás dimensiones de la planta superan los valores recomendados según el dimensionamiento con datos de la carga orgánica actual.

En cuanto a la zona de ventilación, los valores indicados en planos superan los calculados según el dimensionamiento teórico.

Se debe tener presente, que durante el dimensionamiento teórico se asumieron algunos datos de diseño recomendados por la OPS, como la carga superficial, el periodo de retención hidráulica y el factor de capacidad relativa. Estos valores son necesarios para cálculos de áreas y volúmenes. Por lo cual se procedió a determinar dichos valores a partir de las dimensiones en planos.

Con respecto al tiempo de retención y el factor de capacidad relativa, los valores obtenidos son de 2,023 h y 0,716 respectivamente, por lo que son similares a los valores asumidos. En

cuanto a la carga superficial obtenida, esta es mucho menor al  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  generalmente empleada, sin embargo la teoría indica que la carga superficial suele ser menor o igual a  $1,042 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  o bien  $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ .

### ***TRATAMIENTO SECUNDARIO***

Esta etapa comprende de dos unidades de tanques sedimentadores secundarios en paralelo y dos unidades de FAFA en paralelo. Los tanques de sedimentación cumplen con las medidas requeridas para manejar la carga orgánica que ingresa a la planta, al ser de mayores dimensiones que el valor de diseño teórico. Esto, siempre y cuando la velocidad ascensional sea  $0,8 \text{ m/h}$  y el tiempo de retención de  $1,5 \text{ h}$  para el caudal medio y  $1,8 \text{ m/h}$  y  $1 \text{ h}$  para caudal máximo.

Esta condición se debe a que al calcular la velocidad ascensional y el tiempo de retención a partir de las dimensiones de la PTAR en planos y empleando los valores de caudal del cuadro 11, se obtiene que la velocidad es mucho menor al valor asumido y va de  $0,234 \text{ m/h}$  para el caudal medio a  $0,280 \text{ m/h}$  para el caudal máximo. Caso inverso es el del tiempo de retención cuyo valor obtenido a partir de las dimensiones en planos del volumen de los tanques, es de  $15 \text{ h}$  para el caudal medio y  $13 \text{ h}$  para el caudal máximo.

Al analizar los valores obtenidos y su relación con las dimensiones del tanque sedimentador y el caudal entrante, se determina que para que los valores calculados se asemejen a los valores teóricos recomendados por la teoría se tendría que aumentar el caudal entrante. Lo cual nos indica que al menos, en cuanto al tanque sedimentador como medio de decantación secundaria, las dimensiones en planos son capaces de satisfacer un caudal mayor a  $338,555 \text{ m}^3/\text{d}$  y hasta 5 veces mayor. Lo cual nos indica que el diseño del tanque sedimentador no sigue la metodología que se plantea en este estudio para el dimensionamiento de los tanques sedimentadores, además se debe tener presente que los cálculos se realizaron con valores de caudales del 2011 y donde se desconoce la población de diseño.

Para el caso de los FAFAs, cuyas dimensiones físicas superan los valores necesarios según las cargas de diseño, es necesario incrementar la altura del material filtrante puesto que las recomendaciones teóricas, la altura mínima de un filtro debe ser de  $1,5 \text{ m}$ . El incrementar el



lecho permitirá aumentar la eficiencia de esta operación al disminuir la carga orgánica a manejar.

Respecto al FAFA, se emplearon las dimensiones en planta para determinar la carga hidráulica que soporta la planta actual con el caudal entrante medio del cuadro 11 (172,914 l/p/d) y se determinó que esta ronda  $4,456 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ , considerándose así un filtro de carga media, lo cual asemeja el valor empleado para determinar el diseño teórico de la PTAR.

### ***TRATAMIENTO DE LODOS***

El tratamiento de los lodos comienza a partir de su extracción del tanque Imhoff y del tanque de sedimentación secundaria, para luego ser trasladados al biodigestor y una vez digeridos proceder con la deshidratación de los mismos mediante un lecho de secado.

El tiempo de retención seleccionado de 30 días permite cumplir con las condiciones de diseño requeridas, de emplearse un tiempo menor no se podría cumplir con la carga de sólidos volátiles recomendada para asegurar el buen funcionamiento, esto para el caso del diseño teórico. En cuanto al diseño en planta y en planos, sucede que, el volumen del biodigestor es mucho mayor al necesario (aproximadamente 5 veces), por lo que la producción de lodos estimada es menor a la requerida para cumplir con la carga de sólidos volátiles recomendados.(Hernández, 1998)

La etapa final del proceso consiste en la deshidratación de los lodos mediante lechos de secado. Como se mencionó anteriormente, el lecho de secado construido se encuentra parcialmente techado. Si se analizan los valores de superficie requerida es notable que tanto si se techa por completo o se remueve el zinc de la zona techada se requiere de una superficie adicional para abarcar satisfactoriamente la producción de lodos según el número de habitantes a atender.

Sin embargo al consultar otra fuente bibliográfica se determinó que para una carga de sólidos suspendidos de 65,223 kg/d, un 10% de sólidos y un tiempo de retención de 40 días (para 20°C) el área del lecho corresponde a  $40,674 \text{ m}^2$ . Por lo que asumiendo un ancho de 6 metros, se obtiene que el largo corresponde a 7 metros aproximadamente, siendo así que el lecho de secado construido cumple con la demanda. (OPS, 2005)

Se recomienda optar por las dimensiones obtenidas a través de la metodología de la OPS, puesto que los valores empleados se ajustan más a las características climáticas de la zona. Cuando los valores indicados por Hernández en el diseño de la superficie de los lechos de secado comprende valores típicos del norte de Estados Unidos.

#### **IV. ACCIONES DE OPTIMIZACIÓN Y/O MEJORA**

A partir de la evaluación del funcionamiento de la planta se han determinado una serie de recomendaciones de optimización y/o mejora de la operación de la planta.

En cuanto a la eficiencia de la PTAR se debe destacar que ésta se encontró por debajo de los valores requeridos para cumplir a cabalidad con los límites indicados en el Decreto N° 33601; es decir los parámetros superan lo requerido por noma, por lo que se sugiere llevar a cabo las siguientes acciones para incrementar la eficiencia.

##### **i. CAMBIOS ESTRUCTURALES**

Estos hacen referencia a cambios en la estructura de las diferentes operaciones que conforman el tratamiento brindado a las AR de la Urbanización Blanquillo.

- Construcción de un sistema de medición de caudal de entrada y salida de la planta mediante la implementación de algún sistema (vertederos) que permitan realizar mediciones y registros de la cantidad de AR a la entrada y salida de la planta.
- Aumentar el ancho del canal donde se localizan las rejillas en aproximadamente el doble, cerciorándose de tener el ancho, número de barras y separación entre barras según diseños.
- Reparar la tubería de conexión del tanque de sedimentación secundaria hacia el FAFA para que permita distribuir adecuadamente el flujo de entrada al material filtrante del FAFA.
- Incrementar la altura del material filtrante del FAFA en 30 centímetros.
- Crear una conexión directa del agua de salida del lecho de secado hacia el cuerpo receptor (separación de las AR de salida).

## ii. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las principales acciones correspondientes a este rubro se pueden encontrar en el punto V. Material de Apoyo, donde se presenta el Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR.

- Reemplazar las válvulas de extracción de los lodos provenientes de los tanques Imhoff y de los tanques de sedimentación secundaria.
- Extracción de material inorgánico (plásticos, trapos, otros) que afecten el funcionamiento del tanque Imhoff y el sedimentador secundario.
- Revisión del sistema de extracción de lodos del tanque Imhoff y del tanque de sedimentación.
- Efectuar una limpieza a retro lavado o revisión del material filtrante de los FAFA.
- Remover la pared que rodea al tubo de salida de AR de los FAFA y colocar válvulas sobre dicha tubería para facilitar la limpieza del filtro.



**Figura 23.** Detalle de la tubería de salida de AR tratadas del FAFA

## iii. ALCANTARILLADO SANITARIO

- Revisión de los registros para determinar en qué sectores se presentan problemas con las conexiones al alcantarillado pluvial o sanitario.
- Colocación de tapas en los registros para evitar que se obstruyan.
- Estudio del sistema de alcantarillado pluvial, para revisar que las viviendas no cuenten con redes cruzadas, es decir que las aguas de lluvias sean llevadas a la red del alcantarillado sanitario.

#### **iv. OTRAS**

- Poner en funcionamiento el macro medidor de agua potable a la entrada de la Urbanización.
- Reemplazar las tapas existentes y los registros de cada uno de los componentes de la planta para facilitar el monitoreo del funcionamiento de la PTAR y efectuar limpiezas.
- Arreglar la cerca perimetral de la planta y colocar la rotulación debida a su entrada.
- Construcción de una caseta de vigilancia, con su respectiva unidad sanitaria completa (ducha, lavatorio y sanitario), área para la colocación de un escritorio, área de almacenamiento de las pertenencias y herramientas de los operarios, así como una zona donde se pueda tener equipo de monitoreo de funcionamiento de la planta (pH metro, conos Imhoff).
- Estudiar la viabilidad de construir un sistema de aprovechamiento del gas metano producido a través de la digestión de los lodos provenientes del tratamiento primario y secundario.
- Siembra de pasto de raíces largas que permita amarrar debidamente la tierra que rodeada el lecho de secado y biodigestor para disminuir los deslizamientos de tierra, caso para el cual se recomienda el pasto vetiver.

#### **v. COSTOS**

Las mejoras de mayor urgencia corresponden a: ampliación del canal de rejillas, cambio de válvulas, sustitución de tubería de conducción de AR de los tanques sedimentación hacia los FAFA y limpieza de los FAFA. Debido a que se desconoce el estado del material filtrante, se plantea adicionalmente, los costos de sustitución del mismo en caso de que se haya lavado con el paso del tiempo, así como los costos del aumento de 30 centímetros en el nivel del FAFA, reflejados en un aumento de 10cm en las capas de piedra bola, papilla y quintilla.

**Cuadro 25.** Costos de inversión requeridos para las mejoras planteadas

<b>Tipo de material</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Unidades requeridas</b>	<b>Costo total</b>
<b>Tubería</b>	Ø 4"; largo 6 m	41.938,40	2	83.876,80
<b>Varilla cuadrada</b>	Ancho 12 mm; largo 6 m	8.625,45	2	17.250,90
<b>Varilla cuadrada</b>	Ancho 9 mm; largo 6 m	4.730,00	1	4.730,00
<b>Cemento</b>	50 kg	4.900,00	1	4.900,00
<b>Piedra cuartilla</b>	m <sup>3</sup>	9.400,92	38,16 m <sup>3</sup>	358.739,11
<b>Piedra bruta</b>	m <sup>3</sup>	13.500,00	19,08 m <sup>3</sup>	257.580,00
<b>Piedra papilla</b>	m <sup>3</sup>	6.960,80	19,08 m <sup>3</sup>	132.812,06
<b>Piedra quintilla</b>	m <sup>3</sup>	9.400,92	19,08 m <sup>3</sup>	179.369,55
<b>Válvulas</b>	Ø 4"	79.140,00	6	474.840,00
<b>Láminas galvanizadas</b>	0,81 x 3,66 m	9.205,30	26	239.337,80
<b>Perling</b>	100 x 50 x 15 mm en 1,20 mm x 6,00 m	10.290,00	23	236.670,00
<b>Costo total de materiales</b>				<b>1.990.106,22</b>
<b>Costo total con mano de obra</b>				<b>2.786.148,71</b>

Se debe considerar que éste es un presupuesto general, que el costo a la hora de implementar las mejoras sea mayor al acá planteado o menor en caso de que no sea necesario la sustitución completa de las distintas capas de material filtrante y sólo se deba incorporar los 30 centímetros adicionales. El costo estimado de mano de obra corresponde al 40% de costos de materiales a recomendación del Ingeniero Jorge Calvo.

## **V. MATERIAL DE APOYO**

### **i. PERSONAL**

El personal a cargo del mantenimiento y operación de la planta debe tener como mínimo la primaria y secundaria completa para poder capacitar y aún mejor si este ha recibido capacitaciones y obtiene un técnico en el manejo de tratamiento de aguas residuales

### **ii. ARRANQUE DEL SISTEMA**

Dado que el sistema de tratamiento de las aguas residuales es en su mayoría un sistema anaerobio, es necesario siempre que se realice una limpieza completa, inocular los tanques de digestión de los tanques Imhoff, los tanques de sedimentación, el FAFA y el biodigestor con un lodo digerido de un sistema similar de tratamiento de aguas residuales (de origen doméstico). Por lo que es conveniente que el arranque del sistema de tratamiento se dé algunas semanas antes de la entrada en operación.

Para lo cual se recomienda descargar de 0,5 metros a 1 metro de lodos según la profundidad de la unidad operativa, además de que se debe incorporar agua residual proveniente de la urbanización con el objetivo de que las bacterias presentes en el lodo se adapten a las características del agua que deberán tratar y dejar en reposo.

Al paso de varias semanas se puede permitir el flujo continuo de agua residual, iniciando con un caudal bajo y lentamente ir aumentándolo hasta comprender el caudal normal de entrada a la planta. La descarga del caudal de diseño desde el inicio de la operación causaría un efecto de choque que arruinaría lo logrado en el período de aclimatación de las bacterias.

### **iii. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

#### **REJILLAS**

Las rejillas que componen la operación de pretratamiento han de ser limpiadas manual y frecuentemente, al menos una vez al día, con el objetivo de evitar la acumulación de materia gruesa .La obstrucción de las rejillas lleva a la acumulación de materia y posteriormente a la sedimentación y el desarrollo así, de condiciones sépticas, que causan malos olores y que corroen el concreto, el metal y la pintura.

Otro motivo importante por el cual se debe realizar una limpieza frecuente de las rejillas consiste en que, tras la liberación del material acumulado, el cambio en caudal entrante a tratamiento primario puede provocar un choque, afectando la eficiencia de la PTAR.

Si el material retenido corresponde a objetos como trapos, toallas, tampones, preservativos, bolsas plásticas, bolas u otros objetos gruesos y de origen no orgánico, se deben dejar escurrir antes de disponerlos en una bolsa negra para posteriormente enviarlos al relleno sanitario como material que requiere una disposición especial.

En caso contrario, siendo el contenido del material retenido principalmente orgánico, se deben lavar las rejillas aplicando agua a presión para facilitar la separación de la materia orgánica acumulada y su ingreso al sistema de tratamiento.

### ***TANQUE IMHOFF***

La operación del tanque Imhoff varía según la zona, para el caso de la zona de sedimentación es importante supervisar que la materia que se asienta en este punto no alcance la altura de la estructura, de presentarse esta situación se deben homogenizar los lodos mediante varas o palas. Se debe remover el material grueso flotante diariamente, las grasas y sólidos acumulados en las paredes del sedimentador semanalmente o según las condiciones de funcionamiento.

Es común encontrar natas y espumas en el área de ventilación, sin embargo el exceso de material flotante conlleva a la producción de malos olores y la generación de una capa de espuma que imposibilita el escape de gases. Por lo cual se debe quebrar la capa formada con una vara o pala para hundirla, posteriormente al aumentar esta capa se debe trasladar al biodigestor, al menos una vez al mes. Para reducir la presencia de espuma se puede agregar cal hidratada a una razón de 5 kg por cada 1000 habitantes.

La limpieza del tanque se debe llevar a cabo cuando, en la zona de digestión el nivel del lodo se encuentre a menos de 50 centímetros del deflector, puesto que el nivel deseable de lodos para lograr una buena mineralización, se encuentra entre 0,5 y 1 metro por debajo de la ranura del sedimentador y en especial de su deflector. Se debe mantener la válvula abierta hasta que quede aproximadamente el 15% de volumen total, es decir como mínimo debe

quedar en el tanque 25 centímetros de lodo. El drenaje de lodo debe ejecutarse lentamente para prevenir alteración en la capa de lodo fresco.

### ***TANQUE SEDIMENTADOR***

En cuanto a la operación del tanque sedimentador se debe estar monitoreando la presencia de natas o espumas que afecten la eficiencia del mismo así como la calidad de agua entrante al FAFA. Lo mismo sucede con los lodos acumulados en dicho tanque puesto que dificultan el ingreso de las AR al FAFA.

Por lo cual se recomienda purgar los lodos al alcanzar esto un tercio de la altura total del tanque, aproximadamente al alcanzar 1m o 1,20 m, realizándose inspecciones cada 3 meses para determinar dicha altura.

Para ello se empleará vara larga envuelta en tela de toalla blanca, que se bajará hasta el fondo del tanque, tras varios minutos, se deber retirar la vara cuidadosamente. Estableciéndose la altura de los lodos a partir de las partículas adheridas a la tela.

Al alcanzarse la altura de purga se realizará la limpieza de un tanque primeramente, esto para no tener que recurrir a un bypass y al vertido directo al cuerpo receptor. La purga de lodos consiste en que se debe abrir la válvula de distribución de caudal para que en el tanque a ser limpiado el caudal entrante sea mayor al saliente y se disminuye el caudal que entra al segundo sedimentador.

Empleando un mezclador se debe distribuir homogéneamente el lodo contenido en el sedimentador para asegurar que el lodo semilla requerido para el arranque del sistema se aclimate debidamente.

Se abrirá la válvula de extracción de lodos del sedimentador que conducirá los mismos al biodigestor para darles un mayor tratamiento. Se debe extraer la capa de lodos hasta dejar una capa de unos 20 centímetros para no tener que recurrir a la inoculación del sistema.



## **FAFA**

El FAFA comprende la segunda etapa del tratamiento secundario y las principales consideraciones de operación consisten en el control del pH, temperatura y las AR salientes de este componente.

Considerando que para un pH es inferior a 6, se corre el peligro de una severa inhibición de las bacterias metanogénicas, debido a la formación de ácidos grasos volátiles (AGV) no ionizados que resultan tóxicos para estas bacterias, se recomienda mantener el contenido del FAFA en un intervalo del pH entre 7,0 y 7,5.

Por lo que es necesario medir este parámetro cada tres días, para detectar si es necesario añadir cal hasta alcanzar el nivel del pH indicado en el intervalo. Igualmente se debe tener cuidado de que el pH no pase por encima de 7,5 producto de la incorporación de cal en exceso, disminuyendo la actividad metanogénica.

Otro factor que afecta de forma significativa la actividad metanogénica corresponde a los cambios bruscos de temperatura en las aguas residuales, que además podrían obligar a un nuevo arranque del FAFA. El sistema funcionará en forma óptima cuando el agua se encuentra a temperaturas cercanas a los 35°C.

La coloración del efluente del FAFA permite determinar el funcionamiento del mismo. En una situación normal el efluente debe tener un aspecto claro y debe contener muy poco lodo. Una sobrecarga del reactor se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y la presencia de sólidos grises sin digerir en el efluente, situación típica durante el proceso de arranque.

La película de material biológico que se forma alrededor del medio filtrante y permite la remoción de carga orgánica del caudal, conforme pasa el tiempo, aumentará de espesor, imposibilitando la circulación del agua y reduciendo la capacidad hidráulica del FAFA. Para evitar esta situación se deben remover las capas de natas mensualmente, facilitando así, además la salida de gas generado. El material retirado se depositará en el digestor de lodos.

Conforme pasa el tiempo, la población microbiana acumulada entre las capas del material se multiplica, lo que resulta en un aumento del nivel del agua en el sedimentador en comparación con el del FAFA. Cuando esta diferencia llega a los 15 cm, se debe efectuar un

retrolavado del filtro, a ejecutarse en un momento de mínimo o nulo caudal de entrada a la planta de tratamiento.

El proceso de limpieza consiste en primeramente cerrar la válvula de distribución de agua a la entrada del tratamiento primario, procediendo primeramente con sólo uno de los filtros en paralelo.

Posterior mente se debe abrir la válvula de purga del FAFA, circulando el agua en sentido contrario al acostumbrado (descendentemente), con lo que se producirá el retrolavado que arrastrará el exceso de material biológico del filtro al biodigestor.

La válvula se dejará abierta hasta que el nivel del agua en el FAFA deje de bajar y luego se lavará la superficie del medio filtrante con agua limpia a presión. Una vez finalizado el procedimiento de limpieza, se cerrará la válvula de purga, y se abrirá la válvula de distribución de caudal gradualmente con lo que el sistema de tratamiento volverá a su funcionamiento normal.

### ***BIODIGESTOR***

La descarga del lodo del digestor hacia el lecho de secado se debe realizar cada 30 días según el diseño, teniendo los siguientes cuidados: se debe abrir la válvula completamente, a una tasa bastante alta a fin de mantener limpia la tubería de descarga hacia el lecho, conforme se estabilice el flujo se irá cerrando la válvula. La descarga del lodo se concluirá al alcanzar una capa uniforme de 20 a 30cm sobre el lecho de secado

Se debe evitar el ingreso de materiales de goma, plásticos, cabellos, arena y otros materiales inorgánicos sedimentables, fibras, aceites minerales, grasas, jabones y productos del petróleo al digestor puesto que no pueden ser digeridos con efectividad o generan una costra flotante. En caso de que el mezclado realizado por el gas generado no sea suficiente para eliminar esta costra se recomienda mezclar el contenido del biodigestor.

La presencia de material compactado, incluida la arena en el tubo de descarga puede requerir el sondeo o la necesidad de efectuar un retrolavado.

Luego de la descarga de lodo al lecho de secado, debe drenarse la tubería y lavarse con agua para prevenir la obstrucción de la tubería y evitarla generación de malos olores o gases por la descomposición del lodo acumulado en la tubería de descarga.

### ***SECADO DEL LODO***

La evacuación de los lodos del biodigestor al lecho de secado debe programarse durante los meses de verano. Para secar el fango se distribuye en capas de 20 a 30 cm en el lecho de secado, el cual una vez seco y lo suficientemente maleable puede extraerse. El lodo seco presenta una superficie agrietada y de color negro o marrón oscuro, proceso que transcurre de 10 a 15 días, donde se logra una reducción de humedad del 60%.

El lodo seco se extrae con ayuda de carretillos y palas. El lecho tiene en la superficie una capa de arena de 20 a 30 cm y en cada limpieza se pierde arena. Cuando se haya perdido el 50 % de esta, debe reponerse.

### ***CUIDADOS GENERALES***

Los tubos de purga de lodos del Imhoff, sedimentador convencional y FAFA al digestor de lodos deberán ser lavados con agua después de su uso, para evitar las obstrucciones con residuos de lodo purgado.

Cuando se efectuó una limpieza profunda, es normal que la eficiencia del sistema de tratamiento se situó temporalmente por debajo del valor de diseño. Debido a que la materia biológica demora algún tiempo en recuperar los valores normales de eficiencia.

## **iv. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS**

Los análisis y muestreos a realizar deberán seguir el procedimiento estipulado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, como plantea el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

**Cuadro 26.** Frecuencias mínimas de análisis y muestreos para aguas residuales de tipo ordinario

	<b>Parámetro</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Mediciones rutinarias</b>	Caudal	Semanal
	pH	
	SSed	
	T	
<b>Análisis periódicos</b>	Caudal	Trimestral
	pH	
	SSed	
	T	
	DBO	
	DQO	
	GyA	
	SST	
SAAM		

Entendiéndose por mediciones rutinarias como las practicadas por el personal operador del ente generador, siempre y cuando se encuentre debidamente capacitado.

En relación con los análisis periódicos, estos han de ser realizados por un laboratorio habilitado según lo estipulado por la legislación nacional.

#### **v. REGISTROS Y REPORTE OPERACIONALES**

Se deberá llevar control de una bitácora del manejo y operación de la PTAR, en la cual se debe registrar semanalmente o cuando corresponda la siguiente información:

- Resultados de las mediciones rutinarias
- La relación de la toma de muestra de los análisis periódicos
- Resultados de los análisis periódicos
- La relación y toma de acciones correctivas de accidentes y situaciones anómalas que ocurran

- La relación y observaciones de las visitas de inspección de los entes legalmente facultados
- La relación de las modificaciones realizadas a los equipos y procesos del sistema de tratamiento
- La relación documentada del manejo y destino de los lodos
- La relación de los reportes operativos dejando una copia de cada informe debidamente firmado por la persona responsable del mismo.

Toda anotación hecha en dicha bitácora deberá ser firmada por quien la origine, anotando claramente su nombre. La bitácora deberá estar a la disposición de los entes legalmente facultados que la soliciten.

**Cuadro 27.** Registro de muestreos rutinarios

Nombre de operario:						
Entidad:						
Sistema de tratamiento:						
Día	Fecha	Hora	Parámetros			
			Caudal	pH	T	S.Sed.
Semana 1						
Semana 2						
Semana 3						
Semana 4						
Observaciones:						

Se recomienda además llenar un cuadro similar pero de forma mensual. En cuanto a los reportes operacionales a presentar trimestralmente, estos deberán contener como mínimo la siguiente información:

- Datos Generales
- Disposición de las aguas residuales
- Medición de caudales
- Resultados de las mediciones de parámetros por parte del ente generador

- Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos
- Evaluación de las unidades de tratamiento
- Plan de acciones correctivas
- Registro de producción
- Nombre y firma del responsable técnico y del propietario o representante legal

Todo reporte operacional será elaborado y firmado por el Responsable Técnico del Reporte Operacional. Además, deberá llevar la firma del propietario o del representante legal del ente generador.

El reporte operacional a entregar se encuentra en el Anexo V.

## **vi. SEGURIDAD**

### ***GENERALIDADES***

Se debe tener presente que al tratarse de un tratamiento anaerobio, la presencia de gases es muy común durante los diversos componentes del sistema, por lo que se debe tener mucho cuidado con los gases por que cuando se mezclan con el aire forman una mezcla altamente explosiva. La presencia de fuego directo o de operadores con cigarrillos debe ser prohibido sobre todo al realizar las purgas o movimientos de lodos que provoque la liberación continua de gas.

El operador, auxiliar o cualquier otra persona que trabaje en la planta de tratamiento, al final de cada jornada deberá lavarse cuidadosamente las manos y la cara. De ser posible deberá tomar baño con jabón desinfectante. El mismo cuidado deberá tenerse a la hora de ingerir alimentos.

### ***EQUIPO DE SEGURIDAD***

Es necesario que se cuente en la planta con: guantes plásticos, botas de hule, delantal plástico y capa para velar por la seguridad y salud del operario. Se recomienda además contar con un botiquín de primeros auxilios.

**Cuadro 28.** Costos de operación y mantenimiento de la PTAR

<b>Tipo de gasto</b>	<b>Especificación</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Unidades requeridas</b>	<b>Costo total</b>
<b>Electricidad</b>	Jasec, Tarifa TS			5.000,00
<b>Agua</b>	Cobro municipal			5.000,00
<b>pHmetro</b>	pHTesters® 10, 20, y 30 BNC	55.080,00	1	55.080,00
<b>Conos Imhoff</b>	Dynalon SAN, 3 conos	74.970,00	1	74.970,00
<b>Soporte de conos</b>	Wheaton, para 3 conos	18.870,00	1	18.870,00
<b>Escritorio</b>		92.500,00	1	92.500,00
<b>Silla</b>	Secretarial	21.900,00	1	21.900,00
<b>Armario</b>		145.000,00	1	145.000,00
<b>Cal</b>	Fina, 15 kilos	1.440,00	1	1.440,00
<b>Costo de análisis<sup>5</sup></b>	LAMBDA <sup>6</sup>	45.000,00	4	180.000,00
<b>Guantes plásticos</b>	Truper, latex, extralargo	2.690,00	2	5.380,00
<b>Botas de hule</b>		5.825,00	1	5.825,00
<b>Delantal plástico</b>	Largo, tipo carnicero	2.100,00	1	2.100,00
<b>Capa</b>	Impermeable, con gorro	12.594,90	1	12.594,90

<sup>5</sup> Se refiere a los análisis detallados como periódicos en el cuadro 26 y corresponde al costo anual.

<sup>6</sup> Para la fecha del mes de Junio del 2011

<b>Botiquín primeros auxilios</b>	Básico	9.100,00	1	9.100,00
<b>Operador de planta</b>	Trabajador semi calificado	8.543,81	1	205.051,44
<b>COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL</b>				<b>298.319,90</b>
<b>COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL</b>				<b>230.171,44</b>

Es importante tener en cuenta que en los costos mensuales de operación y mantenimiento de la PTAR se consideran únicamente los siguientes rubros: operador, cal, consumo de agua y electricidad y análisis físico-químicos, obteniéndose un monto básico donde no se consideran gastos por imprevistos u otros costos adicionales, siendo así que los costos actuales de operación y mantenimiento pueden variar al monto acá planteado. A la hora de establecer la tarifa por tratamiento de las aguas residuales se debe estimar un costo de operación mensual por abonado de ¢618 (372 abonados según los registros de consumo de agua), igualmente se debe tener presente el cobro de un monto adicional para recaudar fondos para otras acciones de operación y mantenimiento que se dan con menor frecuencia: cambio de tuberías, sustitución del material filtrante, ampliaciones de los componentes, entre otros.

**Cuadro 29.** Costos de construcción de la caseta de vigilancia y vertedero

<b>Tipo de material</b>	<b>Especificación</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Unidades requeridas</b>	<b>Costo total</b>
<b>Inodoro y lavatorio</b>	Ecoline, 5 litros	39.290,10	1	39.290,10
<b>Ducha</b>	Manguera con aspersor	9.358,10	1	9.358,10
<b>Block</b>	20 x 40 x 12	315,00	400	126.000,00
<b>Varilla</b>	3/8"	2.160,00	55	118.800,00
<b>Cemento</b>	50 kg por saco	4.405,65	36	158.603,40
<b>Piedra base</b>	metros	9.734,51	4	38.938,04



<b>Arena fina</b>	metros	9.734,51	2	19.469,02
<b>Lámina zinc</b>	0,81 x 3,66 m	9.205,30	16	147.284,80
<b>Tornillo para techo</b>	Punta broca, 2"	22,12	50	1.106,00
<b>Perling</b>	2 x 3 calibre #16	8.103,80	15	121.557,00
<b>Formaleta</b>	1 x 12 x 4	331,86	10	3.318,60
<b>Formaleta</b>	1 x 5 x 4	849,40	1	849,40
<b>Regla</b>	1 x 3 x 4	454,55	30	13.636,50
<b>Marco</b>	1 x 4 x 3	711,85	5	3.559,25
<b>Mangueras de abasto</b>		2.107,20	2	4.214,40
<b>Tubo PVC</b>	2"	8.215,15	1	8.215,15
<b>Accesorios tubería</b>	Ts, codos			10.000,00
<b>Puerta interna</b>	Madera, 95 x 210 cm	12.983,55	1	12.983,55
<b>Puerta externa</b>	Acero	75.000,00	1	75.000,00
<b>Llavines</b>	Yale, doble paso	17.384,96	2	34.769,92
<b>Bisagras</b>	Stanley, 4" x 4"	1.393,81	4	5.575,24
<b>Láminas internas</b>	Fibrolit 5mm, 61 x 122 cm	1.696,40	40	67.856,00
<b>Reglas</b>	1 x 2 x 4	333,35	45	15.000,75
<b>Clavos</b>	2 y ½, kilos	1.030,00	2	2.060,00
<b>Soldadura</b>	kilos	3.681,42	3	11.044,26
<b>Tubo PVC</b>	3"	6.316,95	1	6.316,95
<b>Tubos PVC</b>	½"	1.551,30	2	3.102,60

<b>Malla electro soldada</b>	#1	13.849,56	1	13.849,56
<b>Lámina de hierro</b>	4 x 8, #18	19.842,98	1	19.842,98
<b>Tubos</b>	HG, 1" x 2"	7.720,41	3	23.161,23
<b>Pintura de agua</b>	galones	8.600,00	2	17.200,00
<b>Sellador para concreto</b>	galones	10.739,95	2	21.479,90
<b>Vidrio</b>	Ventana corrediza, 1/8"	75.000,00	2	150.000,00
<b>Tomas</b>		928,90	3	2.786,70
<b>Apagadores</b>		795,60	2	1.591,20
<b>Instalación eléctrica</b>				100.000,00
<b>Caja breaker</b>	Para 2 breaker, 125 amperios	16.870,00	1	16.870,00
<b>Breaker</b>	2 breaker, 125 amperios	79.074,60	1	79.074,60
<b>COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL</b>				<b>1.503.765,20</b>
<b>COSTOS CON MANO DE OBRA</b>				<b>2.105.271,30</b>

El presupuesto detallado anteriormente corresponde a tanto la caseta de vigilancia como el vertedero, y fue elaborado por un maestro de obras, para el caso de la caseta de vigilancia las dimensiones corresponden a las de una estructura de 3 m por 3 m, con inodoro, lavatorio, ducha, espacio suficiente para tener un escritorio y un armario, 2 ventanas grandes y una pequeña para el baño. El costo de mano de obra representa el 40% del costo de materiales a recomendación del Ingeniero Jorge Calvo.

## CONCLUSIONES

---

Producto de la aplicación de la encuesta se determinó que la mayoría de la población corresponde a familias de bajos ingresos, donde se estima que mensualmente ingresan 150 mil colones o menos, y que la mayoría de miembros completan únicamente la educación primaria.

Mediante la encuesta fue posible determinar que para la Urbanización Blanquillo, el consumo de agua es independiente del ingreso económico y del grado de escolaridad, y que donde existe una leve relación es entre la cantidad de miembros.

Se evidenció además, que la población es consciente sobre la necesidad de ahorrar en el consumo de agua, en cuyo caso debido a los bajos ingresos económicos, el motivo principal consiste el evitar gastos fuera de su alcance. A pesar de ello, es notable que se debe trabajar sobre los medios mediante los cuales se puede disminuir el consumo de agua, principalmente en las actividades de lavado de ropa y uso del servicio sanitario donde se consume la mayor cantidad de agua.

Según los análisis físico-químicos realizados por LAMBDA, así como los efectuados mediante este estudio, se determinó que las aguas residuales provenientes de la planta de la Urbanización Blanquillo vertidas al cuerpo receptor, Quebrada Marta incumple con los requerimientos planteados por el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

Se estableció que la eficiencia actual de remoción de DBO, DQO y SST es de 64%, 62% y 67% respectivamente, cuando debería ser de 72 %, 71% y 78% respectivamente, con lo cual se reitera que el funcionamiento actual de la planta no es el óptimo.

Se debe destacar que al realizar una comparación de la planta física con los planos, las diferencias encontradas fueron pocas y corresponden al canal de rejillas, siendo las dimensiones de ancho de 0,2 m y 1,75 m, cuando se habían planteado de 0,4 m y 2,54m respectivamente. El otro componente cuyo dimensionamiento físico difiere de lo indicado en planos corresponde al lecho de lodos, el cual posee medidas en planta (129,800 m<sup>2</sup>) mayores a los indicados en planos (101,520 m<sup>2</sup>).

Se propone, que para optimizar y/o mejorar la planta actual de la Urbanización Blanquillo es necesario primeramente, ampliar el canal de rejillas en 20 centímetros de ancho, sustituir la tubería que conecta los tanques sedimentadores con los FAFA, incrementar la altura de los FAFA en 30 centímetros, construir un sistema de medición de caudal de entrada y de salida, techar la porción descubierta del lecho de lodos y sustituir las válvulas de purga de lodos provenientes de los tanque Imhoff y de los tanques sedimentadores.

Los costos totales de inversión para aplicar la propuesta de optimización y/o mejora de la planta corresponde a 5.189.739,91 colones (¢298.319,90 equipo requerido para la operación de la planta, ¢2.1905.271,30 para la caseta de vigilancia y ¢2.786.148,71 para las acciones de mejoras de infraestructura) presupuesto global, cuyo valor dependerá del estado del material filtrante del FAFA y de realizar la caseta de vigilancia con las especificaciones indicadas en el cuadro 29.

Se estima de que los costos de operación y mantenimiento corresponderían aproximadamente a 230.171,44 colones mensualmente, valor a tener en mente al establecer la tarifa por tratamiento de las aguas residuales. Es importante recalcar que en este rubro no se consideraron los costos relacionados con el aprovechamiento de biogás y que queda a criterio de la Municipalidad el cobro adicional a esta tarifa relacionado con inversiones a futuro, como lo son mejoras o reparaciones en el sistema de tratamiento: sustitución de tubería, arena, entre otras.

## RECOMENDACIONES

---

Dado que durante este proyecto no se pudo poner a funcionar las válvulas de purga de los tanques Imhoff y sedimentadores se considera necesario, llevar a cabo una revisión del sistema de extracción de lodos del tanque Imhoff y del tanque de sedimentación una vez cambiadas las válvulas del sistema de purga de lodos, para determinar si existen atascamientos a lo largo del trayecto o si se debe sustituir la tubería.

Dentro de las acciones de arranque de la planta es necesario efectuar una limpieza a retro lavado o revisión del material filtrante de los FAFA, sin embargo para ello se debe habilitar la estructura al remover la pared que rodea al tubo de salida de AR de los FAFA y colocar dos válvulas sobre dicha tubería para facilitar la limpieza de los filtros.

El manual de operación y mantenimiento propuesto en este estudio contiene una serie de recomendaciones adicionales a seguir, uno de los puntos clave consiste en monitorear el funcionamiento de cada uno de los componentes de la PTAR, para lo cual es necesario reemplazar las tapas existentes y habilitar los registros de los tanques Imhoff y sedimentadores.

Se requiere además, arreglar la cerca perimetral de la planta y colocar la rotulación debida a su entrada. Es necesario, construir una caseta de vigilancia en el cual se cuente con el espacio necesario para que el funcionario de la planta pueda almacenar sus pertenencias, contar con el debido espacio para realizar las labores encomendadas: registro de condiciones de operación, mantenimiento y control, monitoreo rutinario del funcionamiento de la planta. Aunque en la planta se tienen acceso a agua potable, es recomendable mejorar el sistema de abastecimiento.

El contar con tales instalaciones forma parte de los derechos de los funcionarios y son de suma importancia para velar por la seguridad de la planta, el equipo y material requerido para su adecuado funcionamiento, así como evitar el sabotaje a los componentes de la planta.

Considerando los constantes deslizamientos de tierra que afectan el funcionamiento del lecho de lodo y posiblemente el biodigestor, se recomienda la siembra de pasto vetiver en la zona perimetral a la planta, para que sus largas raíces actúen como una barrera de contención.

Es importante, considerando que la digestión de lodos se realiza de forma anaeróbica, el estudiar la viabilidad de construir un sistema de aprovechamiento del gas metano producido a través de la digestión de los lodos provenientes del tratamiento primario y secundario.

En relación con el sistema de alcantarillado es importante una revisión de los registros para determinar en qué sectores se presentan problemas con las conexiones al alcantarillado pluvial o sanitario. Se debe adicionalmente, realizar un estudio del sistema de alcantarillado pluvial, para revisar como se disponen las aguas pluviales en las viviendas, así como si cuentan o no con redes cruzadas entre el alcantarillado sanitario y pluvial. Así mismo, se deben colocar las tapas faltantes en los registros para evitar que se obstruyan.

Como se ha recalado en el trabajo, los valores de caudales empleados han sido obtenidos a través del registro de consumo de agua potable para el 2011, pero exclusivamente para aquellos abonados que cuentan con medidor. Es por ello que, para corroborar el caudal entrante a la planta, es recomendable poner en funcionamiento el macro medidor de agua potable a la entrada de la Urbanización.

Según la información procesada de las encuestas aplicadas, se debe considerar un estudio de los precios y la calidad de los servicios brindados por la Municipalidad; recolección de los residuos sólidos, limpieza de caños y parques, esto debido a que es la principal observación por parte de la población de Blanquillo. El efectuar modificaciones a los servicios brindados permitirá tener una mayor disposición de la población ante las acciones llevadas a cabo por la Municipalidad, así como ser un punto indispensable antes de proceder a establecer una tarifa de pago por los servicios de recolección de aguas residuales y pluviales y tratamiento de aguas residuales.

Aunque la población de Blanquillo mostró manejar los cuidados básicos a tener sobre los desechos arrojados en el alcantarillado sanitario, fue evidente que la información que se maneja propiamente sobre la planta de tratamiento de aguas residuales carece de fundamentos y se basa en suposiciones. Es importante que la Municipalidad informe a la población de los trabajos realizados, de los cuidados a tener y sugerir otros medios de ahorro de agua. Un pueblo mal informado será un pueblo insatisfecho y poco cooperativo.

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. Alley, E. R. (2007). *Water Quality Control Handbook*. (2 ° Ed.). Estados Unidos: McGraw Hill.
2. APHA, AWWA, WEF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (20° Ed.). Estados Unidos, Washington: American Public Health Association.
3. Campos, L. (1995). *Proyecto Urbanización Blanquillo: Plano N° Catastro C 482140\_82*.
4. Canton, K. W. (2010). *Fluid Waste Disposal: Chapter 12. Biodegradation Characteristics of Wastewaters*. Estados Unidos, New York: Nova Science Publishers.
5. CEFOF. (2008). *Programa: Técnico Laboratorista Químico para el Aseguramiento de la Calidad*. Costa Rica: Centro Regional para la Productividad.
6. Davis, M. L. (2010). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. (1° Ed.). Estados Unidos, Michigan: Mc-Graw Hill.
7. Departamento de Salud, Educación y Bienestar de Estados Unidos, Servicio de Salud Pública. (1975). *Manual de Fosas Sépticas*. Estados Unidos: EPA.
8. Fair, G. Geyer, J. & Okun, D. (1993). *Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México: Editorial LIUSA.
9. Hardenbergh, W.A. & Rodie, E.B. (1987). *Ingeniería Sanitaria*. México: Compañía Editorial Continental.
10. Hernández, A. (1998). *Depuración de Aguas Residuales*. (4° Ed.). España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
11. Iarossi, G. (2006). *The Power of Survey Design: A User's Guide for Managing Surveys, Interpreting Results and Influencing Respondents*. Estados Unidos, Washington: The World Bank
12. INEC. (2000). *V Censo Nacional de Vivienda*. Costa Rica: Instituto Nacional de Estadística y Censo.
13. International Development Research Centre (IDRC). (1981). *Sanitation in Developing Countries: Proceedings of a Workshop on Training Held in Lobatse, Botswana, 14-20 Agosto 1980*. Ottawa, Canada.
14. Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Redes de Alcantarillado y Bombeo*. México: McGraw-Hill.

15. Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Volumen I y II. México: McGraw-Hill.
16. Municipalidad de Oreamuno. 2010-2011. Información sobre Número de Viviendas, Consumo de Agua Potable, Planos, Estado de la Planta. Costa Rica.
17. Nelson, K.L. & Murray, A. (2008). Sanitation for Unserved Populations: Technologies, Implementation Challenges and Opportunities. Recuperado el 06 de marzo del 2011 desde: <http://ezproxy.itcr.ac.cr:2179/doi/pdf/10.1146/annurev.environ.33.022007.145142>
18. New York State Health Department. (1996). Individual Residential Wastewater Treatment Systems: Design Handbook. Recuperado el 11 de marzo del 2011 desde: [http://www.health.state.ny.us/environmental/water/drinking/wastewater\\_treatment\\_systems/docs/design\\_handbook.pdf](http://www.health.state.ny.us/environmental/water/drinking/wastewater_treatment_systems/docs/design_handbook.pdf)
19. Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Recuperado el 12 de febrero del 2012 desde: <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/163esp-diseno-TI.pdf>
20. PRU-GAM. (2007). Estudio de Análisis y Prospección del Sistema Urbano de la GAM. Tomo III. Costa Rica, San José.
21. Ramalho, R. S. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona, España: Reverté.
22. SPSS Inc. (2006). Manual del Usuario de SPSS Base 15.0. Estados Unidos: SPSS Inc.
23. WEF & ASCE. (1992). Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. Estados Unidos: Water Environment Federation & American Society of Civil Engineers.
24. WEF & ASCE. (1998). Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Volumen II. Estados Unidos: Water Environment Federation & American Society of Civil Engineers.
25. Rosales, E. (2010). Tecnología en Marcha: Mejoras Sanitarias en Instituciones o Servicios Públicos de la Casona, Coto Brus. 23(5). Pp. 41-50.
26. Rose, G. (1999). Community-based Technologies for Domestic Wastewater Treatment and Reuse: Options for Urban Agriculture. Recuperado el 28 de febrero del 2011 desde <http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/29827/2/117783.pdf>
27. Tilley, E. et al. (2008). Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Acuática (Eawag). Dübendorf, Suiza.
28. US-EPA. (1980). Design Manual: Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems. Recuperado el 01 de marzo del 2011 desde <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625180012/625180012total.pdf>



29. US-EPA. (1999). Folleto Informativo de Sistemas Descentralizados: Tratamiento y Disposición de Residuos Sépticos. Recuperado el 2 de abril del 2011 desde: <http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-068.pdf>
30. US-EPA. (2005). Guía del Dueño de Hogar para Sistemas Sépticos. Recuperado el 2 de abril del 2011 desde: <http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/xguiadeldueno06-06.pdf>
31. US-EPA. (2002). Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. Recuperado el 11 de marzo del 2011 desde: [http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/septic\\_2002\\_osdm\\_all.pdf](http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/septic_2002_osdm_all.pdf)

## ANEXOS

---

### I. ANEXO: ENCUESTA USO Y DISPOSICIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LA URBANIZACIÓN BLANQUILLO, OREAMUNO

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre del encuestador (a): \_\_\_\_\_

La finalidad de esta encuesta consiste en obtener información sobre las costumbres del uso y consumo del recurso hídrico (agua) con el fin de: recopilar información sobre el estrato social, los índices de consumo, tipo de tecnologías usadas, entre otros, para comprender y plasmar el papel que juega la población en materia de un proyecto de tratamiento de sus aguas residuales (negras y grises: cocina, lavado ropa).

#### A. Datos generales

##### 1. Datos de la persona encuestada

###### a. Rol familiar:

i. Abuelo(a) \_\_\_\_\_

ii. Madre \_\_\_\_\_

iii. Padre \_\_\_\_\_

iv. Hijo(a) \_\_\_\_\_

v. Otro (especifique) \_\_\_\_\_

b. Edad (años) \_\_\_\_\_

2. Años de residir en la Urbanización: \_\_\_\_\_

3. Cantidad de miembros de la familia: \_\_\_\_\_

4. Cantidad de miembros que trabajan remuneradamente: \_\_\_\_\_

5. El ingreso económico total **mensual** de la familia es de:

a. 150 mil o menos \_\_\_\_\_

b. Entre 150 mil y 250 mil \_\_\_\_\_

c. Entre 250 mil y 350 mil \_\_\_\_\_

d. Entre 350 mil y 450 mil \_\_\_\_\_

e. 450 mil o más \_\_\_\_\_

6. Grado de escolaridad de los miembros (indique la cantidad de miembros):

- a. Primaria:            Completa \_\_\_\_\_ Incompleta \_\_\_\_\_
- b. Secundaria:        Completa \_\_\_\_\_ Incompleta \_\_\_\_\_
- c. Universitaria:    Completa \_\_\_\_\_ Incompleta \_\_\_\_\_
- d. Otra: \_\_\_\_\_

B. Uso actual del agua

1. ¿Cuál es la fuente de abastecimiento de agua en su hogar?
  1. Pozo: \_\_\_\_\_
  2. Municipalidad (ASADA): \_\_\_\_\_
  3. AyA: \_\_\_\_\_
  4. Agua embotellada: \_\_\_\_\_
  5. Otra: \_\_\_\_\_
2. ¿Cuenta con medidor individual en su casa? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
3. ¿De cuánto es la facturación mensual promedio por consumo de agua?  
\_\_\_\_\_
4. ¿Cuánta agua se consume por mes aproximadamente en su casa?
  1. Menos 20 metros cúbicos \_\_\_\_\_
  2. Entre 21 y 30 metros cúbicos \_\_\_\_\_
  3. Entre 31 y 40 metros cúbicos \_\_\_\_\_
  4. Más de 41 metros cúbicos \_\_\_\_\_
5. ¿Para cuál actividad consume más agua la familia? Numere del uno al ocho, siendo el ocho la actividad para la cual se consume más agua.
  1. Servicio sanitario: \_\_\_\_\_
  2. Ducha: \_\_\_\_\_
  3. Lavado de ropa: \_\_\_\_\_
  4. Limpieza y preparación de alimentos: \_\_\_\_\_
  5. Limpieza general del hogar: \_\_\_\_\_
  6. Lavado de carro: \_\_\_\_\_
  7. Regado del jardín: \_\_\_\_\_
  8. Ingestión: \_\_\_\_\_
6. ¿Cuáles de las siguientes situaciones se practican comúnmente en su hogar?
  1. Mantener las llaves abiertas mientras:
    - i. Se cepilla los dientes: \_\_\_\_\_
    - ii. Lava los platos: \_\_\_\_\_

iii. Se ducha: \_\_\_\_\_

iv. Lava el carro, limpia aceras u otras actividades(especifique):  
\_\_\_\_\_

v. Ninguna de las anteriores: \_\_\_\_\_

2. Recolección de aguas llovidas para posterior uso: \_\_\_\_\_

3. Uso de inodoros de bajo consumo (-6Lpf): \_\_\_\_\_

4. Uso de otras tecnologías de bajo consumo (ABC): \_\_\_\_\_

Especifique: \_\_\_\_\_

#### C. Disposición de residuos sólidos en las aguas residuales

1. ¿Cuáles de los siguientes desechos se disponen en el servicio sanitario?

1. Papel higiénico: \_\_\_\_\_

2. Toallas: \_\_\_\_\_

3. Tampones: \_\_\_\_\_

4. Preservativos: \_\_\_\_\_

5. Envolturas de jabón: \_\_\_\_\_

6. Otros (especifique): \_\_\_\_\_

2. ¿Dispone Usted alguno de los siguientes desechos en las tuberías (pilas, duchas, canoas) de su hogar?

1. Trapos: \_\_\_\_\_

2. Papeles o servilletas: \_\_\_\_\_

3. Residuos de alimentos en forma de grasas/aceites y huesos: \_\_\_\_\_

4. Residuos peligrosos: gasolina, pintura, pesticidas: \_\_\_\_\_

5. Otros (especifique): \_\_\_\_\_

#### D. Recolección y tratamiento de las aguas residuales (negras y grises)

1. ¿Cuáles de los siguientes problemas se presentan comúnmente en su hogar? Numere del uno al cuatro, siendo el cuatro el problema que se presenta con mayor frecuencia.

1. Fugas de aguas: \_\_\_\_\_

2. Goteo continuo en los tubos: \_\_\_\_\_

3. Rebalse de aguas (alcantarillado pluvial y/o sanitario): \_\_\_\_\_

4. Presencia de malos olores en salidas de aguas: \_\_\_\_\_

5. Ninguno de los anteriores: \_\_\_\_\_

2. ¿De qué forma se disponen las aguas residuales provenientes de su hogar?

1. Tanque séptico: \_\_\_\_\_

2. Pozo o letrina: \_\_\_\_\_
  3. Alcantarillado sanitario: \_\_\_\_\_
  4. Otro (indique): \_\_\_\_\_
3. ¿Sabía Usted que en la Urbanización se cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
  4. ¿La conexión de las aguas pluviales (llovidas) de su hogar se presenta de qué forma?
    1. Bajantes de los patios: \_\_\_\_\_
    2. Canoas y almacenamiento temporal: \_\_\_\_\_
    3. Al alcantarillado sanitario: \_\_\_\_\_
    4. A la tanque séptico: \_\_\_\_\_
    5. Otro especifique: \_\_\_\_\_

E. Pago de servicios municipales

1. ¿Existe algún pago de servicio municipal para el tratamiento de las aguas residuales?  
 Si \_\_\_\_\_ (Pase a la pregunta 2)  
 No \_\_\_\_\_ (Pase a la pregunta 3)  
 Desconoce \_\_\_\_\_ (Pase a la pregunta 3)
2. ¿Cuánto es el monto a pagar? \_\_\_\_\_
3. ¿Estaría Usted dispuesto a pagar por el servicio de tratamiento de las aguas residuales?  
 Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ (Pase a la pregunta 4)
4. Indique el motivo por el cual no estaría dispuesto a pagar por el tratamiento de las aguas residuales provenientes de su hogar.

---



---

## II. ANEXO: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS ENCUESTAS APLICADAS

**Cuadro 30.** Valores obtenidos de la prueba de Chi Cuadrado para las encuestas aplicadas

Relación	Chi -cuadrado de Pearson ( $\chi^2$ )			Razón de verosimilitud			Asociación lineal por lineal			Número de casos válidos
	Valor	g.l.	Sig. Asintótica (bilateral)	Valor	g.l.	Sig. Asintótica (bilateral)	Valor	g.l.	Sig. Asintótica (bilateral)	
Facturación mensual por consumo de agua	75,194	48	0,007	58,802	48	0,137	10,508	1	0,001	46
Ingresos por consumo de agua	4,893	12	0,961	5,556	12	0,937	0,000	1	1,000	50
Ingresos por llave abierta dientes	4,977	4	0,290	5,495	4	0,240	0,849	1	0,357	159
Ingresos por llave abierta platos	2,768	4	0,597	4,014	4	0,404	1,119	1	0,290	159
Ingresos por llave abierta ducha	0,975	4	0,914	0,993	4	0,911	0,000	1	0,996	159
Ingresos por llave abierta carro	0,917	4	0,922	1,671	4	0,796	0,336	1	0,562	159
Ingresos por recolección AP	2,083	4	0,721	2,190	4	0,701	0,007	1	0,936	159
Ingresos por inodoro bajo consumo	14,866	4	0,005	14,990	4	0,005	5,992	1	0,014	159
Ingresos por tecnologías ABC	8,991	4	0,061	5,620	4	0,229	3,560	1	0,059	159
Miembros por consumo agua	24,154	24	0,453	27,136	24	0,298	1,799	1	0,180	53
Ingresos por servicio papel	8,765	4	0,067	11,620	4	0,020	7,210	1	0,007	159
Ingresos por servicio toallas	1,884	4	0,757	2,324	4	0,676	0,956	1	0,328	159
Ingresos por servicio tampones	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0
Ingresos por servicio preservativos	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0

Ingresos por servicio jabón	2,513	4	0,642	2,740	4	0,602	0,020	1	0,888	159
Ingresos por servicio otros	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0
Ingresos por tubería trapos	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0
Ingresos por tubería papeles	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0
Ingresos por tubería alimentos	5,750	4	0,219	5,893	4	0,207	2,542	1	0,111	159
Ingresos por tubería sustancias peligrosas	5,661	4	0,226	3,818	4	0,431	1,172	1	0,279	159
Ingresos por fugas	2,537	4	0,638	2,878	4	0,578	0,173	1	0,677	159
Ingresos por goteo	3,261	4	0,515	3,072	4	0,546	0,417	1	0,519	159
Ingresos por rebalse	1,487	4	0,829	2,231	4	0,693	0,786	1	0,375	159
Ingresos por malos olores	4,512	4	0,341	4,388	4	0,356	0,034	1	0,853	159
Ingresos por grado de escolaridad	19,018	8	0,015	15,826	8	0,045				133
Grado de escolaridad por consumo de agua	6,617	6	0,358	8,629	6	0,196				25
Grado de escolaridad por llave abierta dientes	0,401	2	0,818	0,387	2	0,824				143
Grado de escolaridad por llave abierta platos	0,762	2	0,683	0,782	2	0,677				143
Grado de escolaridad por ve abierta ducha	0,408	2	0,825	0,409	2	0,815				143
Grado de escolaridad por ve abierta carro	2,057	2	0,357	1,322	2	0,516				143
Grado de escolaridad por recolección AP	2,909	2	0,234	2,268	2	0,322				143
Grado de escolaridad por inodoro bajo consumo	2,274	2	0,321	2,231	2	0,328				143
Grado de escolaridad por tecnologías ABC	0,090	2	0,956	0,174	2	0,917				143
Grado de escolaridad por servicio papel	2,057	2	0,357	1,322	2	0,516				143

Grado de escolaridad por servicio toallas	0,647	2	0,724	0,818	2	0,664				143
Grado de escolaridad por servicio tampones	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000				0
Grado de escolaridad por servicio preservativos	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000				0
Grado de escolaridad por servicio jabón	0,575	2	0,750	0,908	2	0,635				143
Grado de escolaridad por servicio otros	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000				0
Grado de escolaridad por tubería trapos	0,575	2	0,750	0,908	2	0,635				143
Grado de escolaridad por tubería papeles	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000				0
Grado de escolaridad por tubería alimentos	0,675	2	0,713	0,654	2	0,721				143
Grado de escolaridad por tubería sustancias peligrosas	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000				0
Grado de escolaridad por disposición de pago	5,509	2	0,064	5,758	2	0,056				111
Ingresos por disposición de pago	6,377	4	0,173	7,233	4	0,124	4,032	1	0,045	127



**Cuadro 31.** Frecuencias obtenidas de los datos procesados de las encuestas aplicadas

<b>Variable</b>	<b>Válidos</b>	<b>Sin respuesta</b>	<b>Promedio</b>	<b>Moda</b>
Consumo de agua	55	122		21 a 30 m <sup>3</sup>
Número de miembros	174	3	5	4
Años en la Urbanización	175	2	12	14
Conoce que existe la PTAR	176	1		Sí
Ingresos	160	17		150 mil o menos
Facturación mensual	161	16	5880	5000
Grado de escolaridad	143	34		Primaria
Disposición de pago	141	36		Sí
Pago de tratamiento	173	4		No
Tipo de tratamiento de AR	166	11		Alcantarillado
Consumo en el servicio	167	10	6	6
Consumo en la ducha	167	10	6	5
Consumo en lavado ropa	167	10	7	8
Consumo en preparación de alimentos	167	10	6	5
Consumo en el hogar	167	10	5	4
Consumo en el lavado del carro	167	10	1	0
Consumo en el regado del jardín	167	10	1	0
Consumo para la ingestión	167	10	3	3

### III. ANEXO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

El jueves 17 de noviembre se realizó el primer muestreo a la planta, a partir de las 8:35 am, cada media hora. Un muestreo compuesto a la salida de la planta de 7 horas, a la entrada se tomo una muestra puntual a las 2:40 pm. A continuación se presenta el cuadro de medición de tiempo, pH y caudal a cada muestreo. Volumen del recipiente: 3,785 litros

**Cuadro 32.** Registro de caudal y volúmenes para el muestreo compuesto a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales

Número de muestra	Hora	Tiempo (s)			Q (l/s)				pH	Factor de corrección	Volumen muestra (ml)	Volumen muestra de grasas y aceites (ml)
		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>m</sub>				
1	8:35	2:20	2:00	2:05	1,72	1,89	1,85	1,82	6,785		387,5	75
2	9:05	2:14	1:80	2:49	1,77	2,10	1,52	1,80	6,878	0,99	385	74
3	9:35	2:00	2:01	1:63	1,89	1,88	2,32	2,03	6,904	1,11	432	84
4	10:05	1:80	2:01	1:61	2,10	1,88	2,35	2,11	6,870	1,11	432	84
5	10:35	1:42	1:59	1:40	2,66	2,38	2,70	2,58	7,031	1,42	545	105
6	11:05	2:98	2:67	2:31	1,27	1,41	1,64	1,44	6,908	0,79	305	60
7	11:35	3:77	3:27	3:95	1,00	1,16	0,96	1,04	6,913	0,57	220,9	42,7
8	12:05	6:49	5:11	6:16	0,58	0,74	0,61	0,64	6,954	0,35	136	26
9	12:35	5:39	4:25	4:74	0,70	0,91	0,79	0,80	6,931	0,44	170,5	33
10	1:05	4:15	4:79	4:50	0,91	0,80	0,84	0,85	6,977	0,47	182,1	35,15
11	1:35	3:28	3:63	3:60	1,15	1,04	1,05	1,08	6,962	0,59	229	25
12	2:05	3:42	3:29	2:88	1,10	1,15	1,31	1,19	7,047	0,65	252	49

Muestreo y análisis realizado por: Hellen Rodríguez con la ayuda de Bernardo Morales, Laboratorio de Aguas Ingeniería Ambiental, TEC

Adicional a los análisis realizados a la planta como parte de este proyecto de graduación se obtuvieron los análisis realizados a la planta a través de otro proyecto de graduación, propio de una estudiante de la UCR. A continuación se listan los análisis realizados y sus resultados.

**Cuadro 33.** Análisis físico-químicos realizados a la PTAR por Bermúdez, en el 2011

<b>Prueba</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Unidad</b>
<b>pH</b>	8,315	8,557	
<b>T</b>	17,2	18,0	°C
<b>Conductividad</b>	0,376	0,409	µs/cm
<b>OD</b>	0,31	3,01	mg/l
<b>DQO</b>	116	39	mg/l
<b>Sólidos totales</b>	0,0729	0,0709	Kg
<b>Sólidos sedimentables</b>	6	3	ml/ml
<b>Sólidos disueltos</b>	0,218	0,201	g/l
<b>Fósforo</b>	19,8	23,6	mg/l
<b>Nitratos</b>	0,057	0,024	mg/l
<b>Nitritos</b>	0,091	0,312	mg/l
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	0,79	0,75	mg/l

#### IV. ANEXO: REGISTRO MENSUAL DEL CONSUMO DE AGUA DE LA URBANIZACIÓN

**Cuadro 34.** Consumo de metros cúbicos mensuales para la Urbanización Blanquillo durante el 2011

Abonado	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>8307</b>	10	5	10	7	5	4	6	4	12	18	86	2
<b>LVC</b>												
<b>5900</b>	32	29	38	49	30	21	21	19	24	23	37	78
<b>5901</b>	6	5	7	6	7	2	5	4	4	3	5	4
<b>8559</b>	18	16	24	21	11	14	16	12	19	15	18	43
<b>8561</b>	21	19	21	19	12	16	6	23	19	14	19	16
<b>8560</b>	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	2
<b>13565</b>	12	11	13	13	8	8	10	8	13	2	9	13
<b>13671</b>	0	0	1	0	1	0	1	4	3	1	3	3
<b>5902</b>	5	26	42	33	22	48	50	51	72	39	42	52
<b>5903</b>	<b>FIJA</b>											
<b>5905</b>	423	60	129	68	14	25	16	13	20	11	18	27
<b>LVC</b>												
<b>5907</b>	80	51	68	NI	NI	49	53	52	73	49	76	57
<b>13879</b>	10	18	31	31	27	29	34	20	21	8	17	20
<b>5906</b>	13	10	10	28	12	12	10	22	30	18	34	32
<b>8653</b>	18	16	23	25	17	19	20	13	20	16	22	17
<b>8733</b>	11	7	7	7	0	0	0	0	0	0	2	10
<b>5909</b>	<b>FIJA</b>											
<b>BLOQUE A</b>												
<b>7321</b>	47	43	60	62	34	37	32	34	43	34	39	33
<b>7322</b>	12	1	4	4	2	3	1	4	3	2	4	5
<b>7323</b>	11	9	29	11	5	6	5	9	8	9	10	2
<b>7324</b>	29	23	27	30	27	28	26	31	28	16	37	35
<b>7325</b>	25	25	32	25	32	33	40	50	34	26	38	37
<b>12061</b>	<b>SUPLEMENTO</b>											
<b>SALON COMUNAL</b>	<b>FIJA</b>											
<b>7326</b>	2	42	39	36	24	29	32	40	31	17	38	18
<b>7327</b>	24	37	41	54	39	49	47	48	54	49	61	32
<b>7328</b>	15	15	20	19	10	13	12	15	16	12	16	16
<b>7329</b>	0	0	0	0	1	1	0	2	2	1	2	4

<b>BLOQUE B</b>												
<b>7330</b>	16	14	16	23	13	17	15	17	19	13	16	16
<b>7331</b>	33	24	35	38	22	23	19	25	27	19	29	26
<b>7332</b>	27	24	27	34	20	27	25	30	31	21	36	40
<b>7333</b>	25	21	23	23	16	19	16	19	17	15	20	20
<b>7334</b>	FIJA											
<b>BODEGA</b>	FIJA											
<b>BLOQUE S-C</b>												
<b>7335</b>	11	11	16	17	27	29	22	31	22	17	40	20
<b>7336</b>	20	12	21	18	22	20	21	16	27	14	20	18
<b>7337</b>	22	19	27	30	15	18	20	24	23	20	27	33
<b>7338</b>	7	7	8	17	21	6	19	15	11	24	16	46
<b>7339</b>	FIJA											
<b>7340</b>	30	27	43	58	32	32	41	47	43	31	39	44
<b>7341</b>	26	35	39	36	24	25	26	27	28	23	39	30
<b>7342</b>	NI	NI	26	23	21	24	22	30	28	19	23	24
<b>SALON COMUNAL</b>	FIJA											
<b>7343</b>	24	24	35	32	15	15	16	18	23	16	28	22
<b>7344</b>	FIJA											
<b>7345</b>	FIJA											
<b>MANZANA 68</b>												
<b>7346</b>	28	17	31	42	15	11	13	21	27	21	29	25
<b>7347</b>	14	18	19	23	13	13	14	17	17	14	20	20
<b>7348</b>	16	19	28	21	18	15	14	14	14	19	19	15
<b>7349</b>	15	17	19	23	16	18	16	17	18	13	18	21
<b>7350</b>	41	34	43	53	34	38	38	45	40	29	39	43
<b>BLOQUE C</b>												
<b>7351</b>	48	39	32	56	35	18	23	30	51	30	41	59
<b>7352</b>	44	44	53	59	30	29	26	37	38	32	37	41
<b>7353</b>	27	24	28	29	18	22	22	26	24	18	25	28
<b>7354</b>	FIJA											
<b>7355</b>	15	15	19	24	11	13	13	17	18	14	20	21
<b>7356</b>	36	63	45	58	31	35	39	43	53	40	37	32
<b>7746</b>	23	25	30	30	26	19	18	12	29	19	19	15
<b>7357</b>	67	84	159	34	62	45	9	20	22	12	18	18
<b>7358</b>	48	26	31	23	8	9	10	9	10	7	12	21
<b>7359</b>	FIJA											
<b>7360</b>	FIJA											
<b>13304</b>	26	25	35	39	27	22	22	24	23	18	27	37

<b>7362</b>	10	9	26	38	37	32	11	11	11	17	24	32
<b>7363</b>	42	42	54	51	37	51	45	56	56	45	59	70
<b>7364</b>	27	16	20	28	18	17	20	24	20	16	21	29
<b>7365</b>	36	29	39	34	27	25	21	29	28	22	36	35
<b>7366</b>	21	18	23	26	20	27	24	25	39	21	28	31
<b>7367</b>	28	21	43	61	51	51	49	44	36	24	41	40
<b>7368</b>	31	30	38	42	25	28	27	35	38	28	42	41
<b>7369</b>	62	58	65	52	34	45	51	53	52	40	45	51
<b>7370</b>	19	19	20	20	14	18	19	18	19	16	19	22
<b>7371</b>	51	53	62	95	78	93	89	81	70	64	81	75
<b>7372</b>	9	8	9	3	10	12	10	9	10	14	8	8
<b>7373</b>	19	21	27	27	18	20	25	26	21	21	27	21
<b>BLOQUE D</b>												
<b>7374</b>	53	54	59	70	41	44	44	49	-49	150	59	71
<b>7375</b>	22	10	11	24	11	11	12	13	-13	33	17	12
<b>7376</b>	49	57	68	71	51	71	58	77	-77	183	68	119
<b>7377</b>	FIJA									9	27	34
<b>7378</b>	74	59	84	87	54	64	55	63	81	65	94	58
<b>7379</b>	18	14	20	32	15	15	15	22	23	16	26	31
<b>7380</b>	11	13	16	15	10	9	8	14	10	10	11	15
<b>7381</b>	17	13	28	25	26	16	26	25	22	32	26	30
<b>7382</b>	25	28	34	39	24	29	30	34	32	31	36	34
<b>8040</b>	20	8	10	10	8	8	7	7	10	6	10	9
<b>7384</b>	41	39	64	64	47	58	46	65	70	53	54	63
<b>7385</b>	13	12	15	20	6	11	15	11	12	10	14	12
<b>7386</b>	14	19	21	22	17	25	16	22	21	13	16	17
<b>7387</b>	10	15	18	19	15	16	14	14	14	9	11	10
<b>7388</b>	34	33	45	48	26	24	24	28	33	37	44	44
<b>7389</b>	27	10	17	17	20	NI	NI	15	16	10	17	7
<b>7390</b>	137	56	29	38	28	29	28	28	27	19	26	31
<b>7391</b>	FIJA								32	17	30	31
<b>MANZANA 68</b>												
<b>7392</b>	FIJA								7	8	8	4
<b>7393</b>	FIJA								35	39	66	45
<b>7394</b>	FIJA								7	7	10	9
<b>7395</b>	FIJA								35	30	44	37
<b>7396</b>	FIJA								27	25	37	38
<b>7397</b>	FIJA								8	9	13	17
<b>BLOQUE E</b>												
<b>COMERCIAL</b>						<b>LVC</b>						

<b>7398</b>	14	11	15	16	11	12	13	14	14	10	13	11
<b>7399</b>	25	15	28	21	17	17	16	19	34	16	21	23
<b>7400</b>	FIJA											
<b>7401</b>	FIJA							5	25	23	35	29
<b>7402</b>	FIJA							3	15	14	20	32
<b>7403</b>	FIJA							5	23	17	30	34
<b>7404</b>	29	32	43	49	35	36	36	49	51	22	34	31
<b>7405</b>	17	13	14	17	11	12	11	13	20	23	40	20
<b>7406</b>	26	17	22	23	9	13	13	17	14	11	18	16
<b>7407</b>	23	18	28	41	19	23	17	27	27	20	28	24
<b>7408</b>	20	18	23	25	16	18	16	19	19	14	23	20
<b>7409</b>	50	36	40	56	39	49	54	64	56	36	89	53
<b>7410</b>	19	18	22	27	10	16	14	20	16	12	22	18
<b>7411</b>	19	21	19	23	11	22	18	29	62	64	NI	32
<b>8022</b>	17	8	7	9	5	6	6	7	7	25	39	22
<b>7413</b>	20	25	28	17	12	13	15	13	17	12	16	16
<b>7414</b>	8	17	5	28	11	13	14	17	18	12	41	23
<b>7415</b>	32	22	30	28	26	25	25	-60	0	92	-87	2
<b>7416</b>	42	25	27	34	21	29	25	40	27	18	24	28
<b>7417</b>	125	17	29	28	13	22	16	20	38	12	19	24
<b>7418</b>	38	28	38	46	28	45	45	50	45	32	50	52
<b>7419</b>	9	10	13	11	7	9	8	11	9	7	9	8
<b>7420</b>	26	21	28	29	16	19	21	22	25	19	28	32
<b>7421</b>	23	15	21	23	17	13	15	20	20	11	17	17
<b>BLOQUE F</b>												
<b>7422</b>	16	12	18	22	13	14	17	18	21	17	18	30
<b>7423</b>	5	8	8	10	6	4	7	6	7	4	7	29
<b>7424</b>	54	10	85	45	18	13	25	16	19	14	16	20
<b>7425</b>	53	48	51	59	33	36	41	44	45	38	56	64
<b>7426</b>	27	26	34	34	22	24	25	27	31	19	29	27
<b>7427</b>	21	26	36	35	30	32	29	34	37	26	25	23
<b>7428</b>	36	31	38	41	31	30	34	33	38	27	38	41
<b>7429</b>	15	14	15	16	9	28	19	33	62	24	45	26
<b>7430</b>	25	25	25	35	20	18	36	25	28	21	24	28
<b>7431</b>	41	40	51	49	36	51	52	58	56	32	48	51
<b>7432</b>	33	35	43	44	24	26	30	3	0	1	9	15
<b>7433</b>	46	20	21	32	18	21	18	21	30	18	30	32
<b>7434</b>	13	13	16	14	10	11	10	11	14	10	16	16
<b>7435</b>	10	10	12	12	10	11	16	3	21	7	12	16
<b>7436</b>	24	22	24	23	13	17	13	17	20	16	25	28

<b>7437</b>	31	29	44	43	29	33	21	33	41	30	32	35
<b>7438</b>	24	28	22	25	19	20	27	29	28	22	32	31
<b>7439</b>	21	23	28	26	17	9	34	29	29	22	32	39
<b>MANZANA 68</b>												
<b>7440</b>	15	17	NI	NI	17	20	12	NI	18	22	61	
<b>7441</b>	27	25	27	28	22	25	9	NI	11	19	20	
<b>7442</b>	4	24	30	NI	NI	26	24	NI	17	27	30	
<b>BLOQUE G</b>												
<b>7443</b>	37	19	30	27	28	32	70	62	80	64	73	63
<b>7444</b>	32	26	35	42	31	40	22	36	36	35	41	41
<b>7445</b>				NI				17	15	10	10	14
<b>7446</b>	12	10	17	15	9	11	13	12	13	11	14	13
<b>7447</b>	63	26	43	40	22	24	26	33	40	29	41	41
<b>7448</b>	33	27	38	38	30	30	29	40	31	34	37	40
<b>7449</b>	17	11	28	38	30	38	18	15	17	21	28	33
<b>7450</b>	11	10	10	13	5	7	8	12	11	9	14	10
<b>7451</b>	31	23	29	57	35	48	35	40	54	26	41	29
<b>7452</b>	18	18	21	22	23	34	18	20	20	19	22	23
<b>8465</b>	51	33	42	49	26	52	53	76	85	52	61	53
<b>7455</b>	37	18	21	16	68	26	14	22	12	12	16	82
<b>BLOQUE H</b>												
<b>7456</b>	26	24	30	37	26	35	24	28	28	22	28	35
<b>7457</b>	48	39	39	46	37	39	31	63	20	38	49	51
<b>7458</b>	85	91	94	126	108	120	33	10	31	17	17	27
<b>7459</b>	37	37	45	34	25	32	36	50	53	41	59	55
<b>7560</b>	17	10	10	19	9	11	7	8	9	11	19	32
<b>7561</b>	41	39	46	NI		35	37	45	49	42	47	55
<b>7562</b>	33	34	43	44	28	20	16	21	21	21	29	24
<b>7563</b>	209	63	45	76	33	46	33	35	47	25	67	114
<b>7564</b>	27	13	37	33	20	24	23	20	28	20	22	25
<b>7565</b>	25	22	28	30	10	11	9	3	24	10	10	16
<b>JUEGOS INFANTILES</b>												
<b>7566</b>				FIJA			12	39	49	39	48	46
<b>7567</b>	55	53	60	81	37	56	18	6	11	6	15	37
<b>7568</b>				FIJA			40	1	8	4	7	6
<b>7569</b>				FIJA			9	22	22	18	21	31
<b>7570</b>	16	16	17	19	10	15	13	14	14	11	17	17
<b>7571</b>	94	69	117	100	69	90	67	90	81	55	66	63
<b>7572</b>				FIJA			9	33	37	35	43	36
<b>7573</b>				FIJA			7	48	104	79	43	13



<b>7574</b>	19	26	10	22	15	19	14	20	18	17	19	16
<b>7575</b>	FIJA						3	14	14	12	16	17
<b>BLOQUE I</b>												
<b>7576</b>	72	58	61	57	32	47	40	30	43	23	45	54
<b>7577</b>	84	88	132	137	63	73	75	65	78	51	90	80
<b>7578</b>	23	15	15	16	14	17	15	14	15	12	20	21
<b>7579</b>	6	23	27	30	20	28	24	27	33	23	27	25
<b>7580</b>	87	113	51	34	27	13	10	8	19	12	31	20
<b>7581</b>	FIJA						8	19	21	15	18	16
<b>7582</b>	18	17	20	28	20	22	16	16	19	15	22	17
<b>7583</b>	9	9	28	29	24	32	30	29	37	23	39	43
<b>7584</b>	FIJA						10	46	60	45	71	22
<b>7585</b>	2	15	14	19	11	14	15	15	17	6	11	9
<b>7586</b>	12	7	11	12	7	10	10	9	9	8	14	13
<b>MANZANA 68</b>												
<b>7587</b>	8	11	13	13	10	13	12	11	14	10	12	13
<b>7588</b>	FIJA						3	28	28	25	42	28
<b>7589</b>	30	25	29	30	33	29	27	35	37	38	51	32
<b>7590</b>	41	33	66	71	44	50	45	39	33	21	45	26
<b>7591</b>	22	15	21	21	14	24	30	25	22	14	23	28
<b>7592</b>	30	26	33	34	30	31	25	32	32	27	37	31
<b>7593</b>	26	15	25	19	102	79	16	2	7	6	10	9
<b>7594</b>	26	22	25	28	18	22	22	24	25	16	28	29
<b>7595</b>	15	12	19	20	16	17	18	14	15	7	10	54
<b>BLOQUE J</b>												
<b>7596</b>	NI											
<b>7597</b>	FIJA						4	19	17	10	17	19
<b>7598</b>	39	39	55	63	30	42	34	39	29	29	50	43
<b>7599</b>	FIJA						8	42	42	54	54	52
<b>7600</b>	52	38	50	43	24	30	36	37	62	43	63	46
<b>7601</b>	FIJA									4	11	28
<b>7602</b>	42	46	48	54	31	43	40	37	43	34	56	59
<b>7603</b>	36	17	21	31	4	7	8	11	21	18	19	24
<b>7604</b>	30	39	43	42	29	32	31	35	34	26	36	38
<b>7605</b>	31	33	39	43	28	32	28	30	37	34	50	49
<b>7606</b>	FIJA						12	75	87	62	72	58
<b>7607</b>	28	23	27	31	17	20	31	22	29	20	40	35
<b>7608</b>	FIJA								56	22	34	27
<b>7609</b>	25	14	24	20	16	22	17	22	22	13	20	22
<b>7610</b>	27	25	28	29	16	22	18	21	25	16	23	24

<b>7611</b>	30	36	35	33	19	26	20	16	36	19	28	29
<b>7612</b>	56	50	47	48	37	38	37	43	70	27	29	23
<b>7613</b>	29	26	23	28	16	19	8	29	20	13	21	25
<b>7614</b>	27	23	28	29	24	28	24	29	31	20	30	34
<b>7615</b>	16	15	34	23	16	15	13	11	14	10	14	13
<b>7616</b>	21	19	23	22	15	18	19	19	25	16	24	22
<b>7617</b>	36	28	44	26	15	19	14	15	19	18	21	21
<b>7618</b>	34	33	40	41	30	43	31	35	79	41	39	36
<b>7619</b>	23	21	23	24	14	16	14	16	15	12	18	21
<b>BLOQUE K</b>												
<b>7620</b>	55	44	37	42	30	31	27	22	46	36	72	87
<b>7621</b>	9	11	10	17	12	12	16	13	15	8	14	13
<b>7622</b>	55	48	67	82	39	58	38	47	51	41	59	53
<b>7623</b>	63	34	60	64	33	40	40	43	48	27	39	44
<b>7624</b>	9	8	10	11	7	9	8	8	13	8	11	8
<b>7625</b>	22	24	14	55	36	48	43	47	63	47	86	27
<b>7626</b>	105	43	48	63	38	62	50	45	49	48	67	77
<b>7627</b>	13	10	11	14	7	11	12	9	13	8	15	15
<b>7628</b>	59	56	47	44	25	31	32	31	35	27	40	32
<b>7629</b>	27	22	21	25	17	22	24	24	27	20	31	34
<b>7630</b>	14	16	7	14	12	15	11	11	12	9	17	19
<b>7631</b>	4	6	28	59	40	49	35	44	40	27	42	32
<b>7632</b>	23	20	20	30	21	54	19	23	22	16	30	26
<b>MANZANA 68</b>												
<b>7633</b>	60	40	49	70	31	48	44	50	63	41	73	47
<b>7634</b>	6	8	9	12	9	18	11	12	14	16	16	13
<b>7635</b>	88	43	68	66	38	43	44	51	55	37	50	39
<b>7636</b>	14	11	15	18	15	14	15	13	16	12	17	16
<b>7637</b>	13	8	11	14	7	10	8	8	11	8	10	16
<b>7638</b>	48	40	28	39	20	25	20	23	23	11	27	36
<b>7639</b>	34	27	28	36	24	30	24	25	32	21	36	32
<b>7640</b>	42	28	23	32	23	46	34	30	37	18	38	26
<b>7641</b>	31	29	34	41	21	25	21	25	28	17	30	27
<b>7642</b>	39	31	37	48	26	36	33	36	40	32	43	40
<b>7643</b>	40	17	18	23	16	19	15	21	21	16	22	21
<b>BLOQUE L</b>												
<b>7644</b>	37	25	31	38	27	32	28	24	23	18	33	32
<b>7645</b>	35	33	55	58	28	35	38	40	58	47	61	69
<b>7646</b>	11	11	10	11	10	12	9	15	14	12	27	21
<b>7647</b>	28	30	36	34	22	34	29	24	29	23	33	28

<b>7648</b>	16	14	21	19	14	15	13	-5	36	13	18	18
<b>7649</b>	26	24	29	33	16	22	18	24	32	20	33	31
<b>7650</b>	35	22	31	34	22	32	25	23	26	21	27	27
<b>7651</b>	LVC											
<b>7652</b>	13	12	21	21	9	11	9	12	13	10	13	13
<b>7653</b>	33	28	42	41	26	34	28	27	32	29	35	40
<b>7654</b>	29	21	31	41	25	31	29	41	38	27	43	58
<b>7655</b>	13	12	14	19	11	14	17	12	13	9	16	16
<b>7656</b>	35	19	30	30	15	24	19	15	16	12	15	13
<b>7657</b>	36	44	24	9	37	25	19	23	40	22	40	46
<b>7658</b>	19	16	18	18	7	12	12	17	12	7	17	45
<b>7659</b>	27	21	26	32	19	20	20	22	25	17	23	32
<b>7660</b>	6	2	13	14	9	12	10	10	18	15	38	20
<b>7661</b>	53	31	40	46	26	35	29	28	29	24	35	32
<b>7662</b>	28	23	27	31	22	27	26	29	21	12	19	23
LVC												
BLOQUE M												
<b>7663</b>	5	6	15	11	9	12	12	3	18	10	17	22
<b>7664</b>	31	20	18	37	24	24	19	27	23	22	21	75
<b>7665</b>	26	16	29	24	13	20	16	19	19	18	27	24
<b>7666</b>	9	11	20	42	34	63	81	113	57	35	31	36
<b>7667</b>	14	11	26	11	3	3	6	1	10	29	27	53
<b>7668</b>	48	39	64	72	38	50	42	56	110	75	79	62
<b>7669</b>	35	24	34	34	23	26	26	32	34	28	34	38
<b>7670</b>	79	43	72	48	42	44	30	26	35	42	75	39
BLOQUE N												
<b>7671</b>	20	22	20	20	10	17	16	17	18	21	20	23
<b>7672</b>	53	40	39	51	37	54	47	50	80	59	60	73
<b>7673</b>	65	37	32	33	28	38	39	46	48	40	45	41
<b>7674</b>	32	20	30	31	27	29	38	32	41	28	33	31
<b>7675</b>	22	24	28	29	20	22	22	22	23	19	27	31
<b>8138</b>	22	16	24	22	16	27	15	20	19	15	22	22
MANZANA 68												
<b>7677</b>	33	30	31	29	29	23	20	19	24	36	23	79
<b>7678</b>	47	41	50	64	34	53	54	32	34	26	30	41
<b>7679</b>	8	8	11	12	8	8	7	8	10	9	10	10
<b>7680</b>	20	17	24	22	15	18	15	15	19	33	50	26
<b>7681</b>	17	16	17	18	40	-14	10	14	13	12	14	15
<b>7682</b>	28	24	30	34	21	23	19	16	34	19	26	28
<b>7683</b>	28	24	26	34	19	22	19	21	27	17	25	22

<b>7684</b>	40	36	48	53	24	32	28	36	34	30	25	43	
<b>7685</b>	43	43	55	49	28	37	41	31	53	47	46	40	
<b>BLOQUE O</b>													
<b>7687</b>	43	37	40	44	32	29	32	33	30	27	35	45	
<b>7688</b>	29	20	18	18	14	11	14	13	14	13	17	44	
<b>7689</b>	53	54	59	69	33	37	46	54	58	42	53	40	
<b>7690</b>	38	30	31	24	28	21	21	23	28	29	35	29	
<b>7691</b>	31	26	32	27	22	22	21	30	30	25	37	31	
<b>7692</b>	48	48	57	66	25	16	12	11	17	25	39	53	
<b>7693</b>	47	50	160	82	47	49	36	50	92	183	291	177	
<b>7694</b>	67	53	61	60	48	57	37	36	41	45	65	43	
<b>7750</b>	18	12	16	19	13	13	12	14	12	12	14	18	
<b>7795</b>	35	28	31	34	32	59	3	30	35	32	40	49	
<b>7696</b>	22	31	13	24	21	21	17	17	22	18	29	32	
<b>7697</b>	3	21	29	27	21	28	24	32	43	34	39	40	
<b>7698</b>	35	38	51	48	36	40	53	43	51	40	49	102	
<b>7699</b>	21	31	33	27	19	21	22	21	28	24	27	30	
<b>7700</b>	23	20	24	28	20	26	18	23	28	23	30	31	
<b>7701</b>	FIJA												
<b>JUEGOS INFANTILES</b>													
<b>BLOQUE P</b>													
<b>7702</b>		NI				31	29	27	40	60	20	17	17
<b>7703</b>	NI	62	85	91	70	72	74	60	59	54	52	31	
<b>7704</b>	31	29	40	40	26	28	28	31	33	24	32	39	
<b>7705</b>	55	35	31	25	18	17	19	23	21	-73	110	26	
<b>7706</b>	41	49	53	72	55	43	28	37	41	36	47	41	
<b>7707</b>	33	38	25	27	21	23	18	19	31	20	26	22	
<b>7708</b>	26	25	29	33	26	27	25	28	32	25	36	38	
<b>7709</b>	26	24	25	20	16	23	23	26	25	15	25	18	
<b>7710</b>	27	31	35	38	28	29	29	26	28	25	28	26	
<b>7711</b>	23	19	21	26	20	17	16	14	19	13	28	20	
<b>7712</b>	22	16	22	23	16	15	16	16	19	20	29	36	
<b>7713</b>	14	24	26	33	22	20	19	23	28	36	26	33	
<b>BLOQUE Q</b>													
<b>7714</b>	19	20	27	30	21	21	24	26	31	23	25	25	
<b>7715</b>	27	21	26	27	19	18	18	21	23	19	21	23	
<b>7716</b>	34	42	34	44	34	33	31	31	34	35	38	42	
<b>7717</b>	79	59	79	74	54	56	54	56	71	54	68	45	
<b>7718</b>	4	24	4	10	13	27	18	19	23	21	22	20	
<b>7719</b>	20	16	19	20	17	15	11	16	12	9	15	8	

<b>7720</b>	8	10	11	15	16	13	11	11	12	10	12	11
<b>MANZANA 68</b>												
<b>7721</b>	61	45	45	54	32	0	69	39	52		NI	
<b>7722</b>	66	53	67	55	49	45	51	55	89	17	16	38
<b>7723</b>	45	34	35	29	31	14	18	15	39	45	15	15
<b>7724</b>	16	11	22	18	6	12	99	28	17	30	8	32
<b>7725</b>	30	27	33	28	24	23	21	31	36	34	42	32
<b>7726</b>	24	21	27	29	22	27	14	18	24	19	22	27
<b>7727</b>	8	13	6	13	12	13	29	18	14	15	22	11
<b>7728</b>	45	29	44	51	35	36	43	178	7	33	155	22
<b>7729</b>	15	14	17	19	27	18	14	- 118	85	67	19	NI
<b>BLOQUE R</b>												
<b>7730</b>	56	43	60	66	51	55	42	55	54	47	67	74
<b>7731</b>	45	33	49	61	40	37	34	37	48	37	46	51
<b>7732</b>	28	25	34	38	24	25	24	28	29	25	35	33
<b>7733</b>	50	56	67	85	58	70	76	80	112	108	153	20
<b>7734</b>	33	25	34	38	29	32	33	41	38	26	27	29
<b>7735</b>	17	20	28	26	18	46	25	15	17	18	19	18
<b>7736</b>	24	25	48	36	50	39	30	29	32	24	32	16
<b>7737</b>	41	10	15	17	10	8	14	10	19	10	11	11
<b>7738</b>	FIJA								8	10	12	16
<b>7739</b>	FIJA								24	38	44	48
<b>7740</b>	79	46	79	76	53	57	65	66	72	71	96	56
<b>7741</b>	FIJA								17	21	24	25
<b>7742</b>	1	1	1	3	4	8	6	10	7	5	4	2
<b>7743</b>	FIJA								19	27	35	36
<b>7744</b>	9	6	11	8	6	6	4	5	7	9	14	13
<b>7745</b>	20	12	23	22	14	13	15	19	18	18	22	21
<b>ÁREA COMUNAL</b>												
<b>13542</b>	71	48	60	38	27	28	26	27	32	26	33	43
<b>5912</b>	31	18	25	26	22	22	22	24	27	23	26	26
<b>5913</b>	23	36	33	30	51	6	14	14	18	10	11	9
<b>5917</b>	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>5914</b>	25	22	36	32	23	26	20	27	68	120	43	18
<b>LVC</b>												
<b>5916</b>	154	120	179	193	105	118	126	137	182	131	82	84
<b>5917</b>	FIJA											
<b>5918</b>	55	48	60	59	42	39	40	49	60	55	60	50
<b>5919</b>	33		NI	48	40	27	33	34	39	0	73	42

<b>LVC</b>												
<b>8017</b>	322	219	325	261	180	168	179	151	167	135	129	158
<b>5921</b>	17	26	39	36	29	22	33	31	49	0	111	41
<b>8764</b>	5	10	7	9	5	6	8	7	7	6	8	1
<b>13267</b>	9	8	13	14	14	9	9	11	16	13	23	12
<b>5925</b>	20	25	24	17	11	21	16	18	20	12	17	15
<b>5924</b>	48	34	40	40	32	33	31	40	48	0	79	45
<b>MANZANA 68</b>												
<b>5923</b>	17	13	22	23	20	15	15	15	21	16	17	17
<b>5926</b>	12	11	15	18	11	9	9	10	12	9	9	11
<b>5927</b>	12	10	17	15	14	9	11	11	20	20	14	18
<b>5928</b>	72	55	78	76	61	58	66	64	87	64	65	74
<b>5929</b>	36	26	21	4	0	NI	0	0	NI			
<b>6484</b>	28	28	45	35	31	35	30	36	35	24	37	59
<b>5930</b>	92	56	97	89	58	51	63	64	61	53	52	54
<b>5931</b>	42	28	37	29	31	33	48	39	47	36	42	53
<b>7270</b>	79	-21	24	14	20	10	12	14	15	11	16	13
<b>5932 FIJA</b>												
<b>5933</b>	27	17	24	22	18	15	19	17	26	20	31	75
<b>12782</b>	41	31	42	41	31	30	20	14	19	20	33	38
<b>13882</b>												
<b>5933</b>	53	38	49	48	47	53	59	35	52	49	45	74







## 5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Nombre del Laboratorio, Fecha y  
N° de análisis físico-químico:  
Nombre del Laboratorio, Fecha y  
N° de análisis microbiológico:

TABLA 2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO									
Parámetro	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	pH	T (°C)	SST (mg/l)	SSed (ml/l/h)	GyA (mg/l)	SAAM (mg/l)	-
Valor									
Incertidumbre									
Límite									

*Adjuntar los originales de los análisis de laboratorio con su respectivo refrendo del Colegio Federado de Químicos e Ingenieros Químicos de Costa Rica.*

## 6. EVALUACIÓN DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

## 7. PLAN DE ACCIONES CORRECTIVAS

## 8. REGISTRO DE PRODUCCIÓN

Como producción, o población servida, durante el período reportado:

\_\_\_\_\_

## 9. NOMBRE Y FIRMA:

PROPIETARIO O REPRESENTANTE LEGAL DEL ENTE GENERADOR: \_\_\_\_\_

RESPONSABLE TÉCNICO DEL REPORTE: \_\_\_\_\_