

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



## FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

***“DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA JUIVE CHICO-LA PAMPA (BAÑOS-TUNGURAHUA)”.***

Tesis de Grado Previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

ALBA GABRIELA RAMOS CIFUENTES

Riobamba\*Ecuador

2009

## **AGRADECIMIENTO**

- *En primer lugar agradezco a Dios por ser mi guía y motor principal en cada instante de mi vida.*
  
- *A mis padres que con su apoyo incondicional hicieron posible que culminara mis estudios, a mis hermanas Lourdes y Johana por su apoyo y a toda mi familia por sus consejos brindados.*
  
- *Al Ilustre Municipio del Cantón Baños de Agua Santa quienes auspiciaron esta investigación, de manera especial al Ing. Javier Atiencia.*
  
- *A mi Director de Tesis el Dr. Robert Cazar, a mis dos colaboradores Dra. Nancy Veloz e Ing. Hannibal Brito, quienes que con sus conocimientos aportaron a la realización de ésta investigación.*
  
- *Quiero agradecer también a mis profesores y amigos que de una u otra manera estuvieron conmigo a lo largo de estudios universitarios.*

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a mis padres Francisco Ramos y Rosario Cifuentes quienes han sido fuente de apoyo incondicional para seguir adelante en cada instante de mi vida.*

*A toda mi familia, a mis sobrinos que siempre me brindaron momentos de felicidad.*

***“Yo, Alba Gabriela Ramos Cifuentes soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.***

---

**ALBA GABRIELA RAMOS CIFUENTES**

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

**Dr. Edmundo Caluña**  
**DECANO FAC. CIENCIAS.**

-----

-----

**Dr. José Vanegas C.**  
**DIRECTOR DE ESCUELA.**

-----

-----

**Dr. Robert Cazar.**  
**DIRECTOR DE TESIS.**

-----

-----

**Dra. Nancy Veloz M.**  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL.**

-----

-----

**Ing. Hannibal Brito.**  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL.**

-----

-----

**Sr. Carlos Rodríguez**  
**DIRECTOR DEL CENTRO**  
**DE DOCUMENTACION.**

-----

-----

**NOTA DE LA TESIS.**

-----

-----

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
A	Área
An	Ancho
BaCl <sub>2</sub>	Cloruro de Bario
BaSO <sub>4</sub>	Sulfato de Bario
C	Carbono
C <sub>H</sub>	Carga Hidráulica
Cm	Centímetro
D	Día
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
Dm	Decímetro
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Eq	Equivalente Químico
FM	Factor de Mayoración
Gr	Gramos
H	Altura
H <sub>2</sub> O	Agua
Hab	Habitantes
J	Gradiente Hidráulico
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de Potasio
Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramos por metro cúbico
L	Litros
Lg	Largo
M	Metros

m/s	metros por segundo
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
Mg	Miligramos
mg/L	Miligramos por litro
ml	Mililitros
Mm	Milímetros
MO	Materia Orgánica
N	Normalidad
N	periodo de tiempo
Nm	Nanómetros
OD	Oxígeno Disuelto
Pa	Población Actual
Pf	Población Final
pH	Potencial de Hidrógeno
Q	Caudal
Qmed	Caudal Medio
Qp	Caudal Pico
R	Índice de crecimiento anual.
R	Radio hidráulico
Sem	Semana
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ion Sulfato
t <sub>r</sub>	Tiempo de Retención
V	Volumen
V	Velocidad
Vc	Velocidad Terminal
Vf	Volumen final
Vi	Volumen inicial
VT	Volumen total

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
 <b>CAPITULO I</b>	
<b>1. PARTE TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
1.1. EL Agua.....	21
1.1.1. Ciclo del agua.....	22
1.2. Agua Residual.....	23
1.2.1. Generalidades, definición, origen.....	23
1.2.2. Apariencia.....	25
1.2.3. Características de las Aguas Residuales.....	26
1.2.3.1. Características cualitativas.....	26
1.2.3.2. Características cuantitativas.....	28
1.2.3.2.1. Variación del Caudal.....	28
1.2.3.2.1.1. Caudales de diseño.....	29
1.2.3.3. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	31
1.2.3.4. Características físicas.....	32
1.2.3.4.1. Sólidos totales.....	32
1.2.3.4.2. Olores.....	32
1.2.3.4.3. Temperatura.....	33
1.2.3.4.4. Densidad.....	35

1.2.3.4.5. Color.....	35
1.2.3.4.6. Turbiedad.....	36
1.2.3.5. Características químicas.....	36
1.2.3.5.1. Materia orgánica.....	36
1.2.3.5.2. Proteínas.....	37
1.2.3.5.3. Hidratos de carbono.....	37
1.2.3.6. Características biológicas.....	38
1.2.3.6.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	38
1.2.3.6.2. Demanda química de oxígeno (DQO).....	41
1.2.3.6.3. Oxígeno disuelto (OD).....	41
1.2.4. TIPOS DE TRATAMIENTOS EN AGUAS RESIDUALES.....	42
1.2.4.1. Tratamientos Preliminares.....	42
1.2.4.2. Tratamientos Primarios.....	44
1.2.4.3. Tratamientos Secundarios.....	45
1.2.4.4. Tratamientos Terciarios.....	46
1.3. Sistemas de Tratamiento.....	47
1.3.1. Tratamiento preliminar.....	47
1.3.1.1. Rejillas.....	47
1.3.1.1.1. Rejas de limpieza manual.....	48
1.3.1.1.2. Características de los residuos.....	49
1.3.1.1.3. Dimensionamiento.....	51
1.3.2. Tratamiento primario.....	52
1.3.2.1. Sedimentador.....	52
1.3.2.1.1. Dimensionamiento del sedimentador.....	54

1.3.2.1.2. Tiempo de Retención Hidráulico.....	56
1.3.3. Tratamiento secundario.....	57
1.3.3.1. Proceso biológico.....	57
1.3.3.2. Dimensionamiento de la unidad de tratamiento secundario...	58
1.3.4. Conducción del agua.....	59
1.3.4.1. Limitaciones en el uso de tubería de PVC.....	61

## **CAPITULO II**

<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>63</b>
2.1. Diseño Experimental.....	63
2.1.1. Localización de la investigación.....	63
2.1.2. Tipos De Investigación.....	64
2.1.3. Plan de Tabulación.....	65
2.2. Metodología.....	67
2.2.1. Metodología de Muestreo.....	67
2.2.2. Metodología de actividades realizadas.....	70
2.2.2.1. Estimación del volumen de agua residual.....	70
2.2.2.2. Población futura.....	71
2.2.2.3. Caudal de Diseño.....	72
2.2.2.4. Análisis de Datos.....	72
2.2.2.5. Análisis del material biológico Consume Pow.....	72
2.3. Materiales, Equipos y Reactivos.....	73
2.3.1. Material Biológico.....	73
2.3.2. Equipos.....	73

2.3.3. Materiales.....	74
2.3.4. Reactivos.....	74

### **CAPITULO III**

<b>3. CALCULOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
3.1. Base de partida.....	76
3.1.1. Caracterización del agua residual.....	76
3.1.2. Población.....	77
3.1.3. Cantidad de agua residual.....	78
3.1.4. Caudal de diseño.....	78
3.2. Dimensionamiento de las rejillas.....	79
3.3. Dimensionamiento del Sedimentador.....	80
3.4. Dimensionamiento del tanque para el tratamiento secundario...	84
3.4.1. Cálculo de DBO.....	84
3.4.2. Dimensionamiento del tanque.....	86
3.5. Resultados.....	87
3.5.1. Resultado del Análisis de Datos.....	88
3.5.2. Resultado del dimensionamiento de Rejillas.....	103
3.5.3. Resultados de las dimensiones de los tanques de tratamiento..	104
3.6. Dispositivos adicionales.....	105
3.7. Disposición de lodos.....	105

## **CAPITULO IV**

<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>108</b>
4.1. CONCLUSIONES.....	108
4.2. RECOMENDACIONES.....	110
<b>RESUMEN.....</b>	<b>111</b>
<b>SUMARY.....</b>	<b>112</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>115</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Factores a tener en cuenta para la caracterización completa de un olor.....	33
<b>Tabla II.</b> Información típica para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual y mecánica.....	48
<b>Tabla III.</b> Volumen de materias retenidas en las rejillas (Uralita, pag. 77).....	51
<b>Tabla IV.</b> Características de las materias retenidas en las rejillas (Uralita, pag. 77).....	52
<b>Tabla V.</b> Velocidades terminales a caudal medio (Manual de depuración Uralita, pag.96).....	54
<b>Tabla VI.</b> Velocidades terminales a caudal máximo (Manual de depuración Uralita, pag.96).....	54
<b>Tabla VII.</b> Tiempos de retención (Manual de depuración Uralita, pag.97).....	57
<b>Tabla VIII.</b> Características de la Tubería de PVC para Alcantarillado.....	61
<b>Tabla IX.</b> Diseño de bloques completos.....	65
<b>Tabla X.</b> Análisis de Varianza.....	66
<b>Tabla XI.</b> Concentración de sólidos totales.....	66
<b>Tabla XII.</b> Suma de Cuadrados.....	66
<b>Tabla XIII.</b> Análisis de varianza de sólidos totales.....	67
<b>Tabla XIV.</b> Recolección de las muestras.....	68

<b>Tabla. XV.</b> Técnicas utilizadas durante la caracterización física, química y microbiológica.....	69
<b>Tabla. XVI.</b> Materiales utilizados.....	74
<b>Tabla. XVII.</b> Reactivos.....	74
<b>Tabla. XVIII.</b> Promedio de los resultados de laboratorio con relación al límite permisible.....	78
<b>Tabla. XIX.</b> Población Futura.....	87
<b>Tabla. XX.</b> Caudal de Diseño.....	87
<b>Tabla. XXI.</b> Parámetros dentro y fuera de norma.....	103
<b>Tabla. XXII.</b> Dimensiones para el proyecto de rejillas de barras de limpieza manual.....	104
<b>Tabla. XXIII.</b> Dimensiones de los tanques de tratamiento primario y secundario.....	104

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura del agua.....	21
<b>Figura 2.</b> Ciclo del agua.....	23
<b>Figura 3.</b> Composición general de las aguas residuales domésticas..	26
<b>Figura 4.</b> Distribución de los sólidos en el agua residual.....	27
<b>Figura 5.</b> Oxígeno disuelto consumido en función del tiempo.....	39
<b>Figura 6.</b> Tratamiento preliminar con rejillas.....	43
<b>Figura 7.</b> Rejillas de limpieza manual.....	48
<b>Figura 8.</b> Descripción del Sedimentador con cribado.....	83
<b>Figura 9.</b> Descripción de accesorios para el Desarenador con cribado.....	83

## INDICE DE ANEXOS

Anexo A.....	117
Anexo B.....	127
Anexo C.....	128
Anexo D.....	142
Anexo E.....	146

## INTRODUCCIÓN

Históricamente las aguas residuales no han sido un factor intrínseco de la producción y se suponía que el ambiente las absorbía y les daba un tratamiento natural ya que se tenía una pequeña cantidad de volumen eliminado de estas aguas. El progreso cultural e industrial acabó llevando aquella práctica a situaciones límite.

Las implicaciones en el ambiente y la forma en que se debían aportar soluciones no siempre han estado tan claras como para seguir una vía única. Esta situación se ha reflejado en legislaciones distintas para proteger los cauces naturales de agua. (3)

El estudio de un tratamiento de aguas residuales se inicia por una caracterización física, química y microbiológica de las mismas y un análisis del inventario de vertidos y su posible reducción, y del potencial reciclado de aguas después de su depuración. Una depuración suficiente puede significar la reutilización de importantes volúmenes de agua y el correspondiente ahorro en el consumo.

Las aguas residuales traen problemas al ambiente y por ende a la salud, debido a que contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, metales pesados, sólidos en suspensión, sólidos volátiles, y otros que sin su debido tratamiento pueden agravar al ecosistema y a la vida en sí.(14)

En el Ecuador existen muchos estudios sobre la contaminación doméstica que soportan los cursos de agua pero no han sido ejecutados. Un gran esfuerzo de investigación ha sido realizado por la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento del Cantón Cuenca – ETAPA-, que cuenta con una programa permanente de vigilancia de la calidad de las aguas de los ríos de la ciudad de Cuenca desde sus cabeceras hasta sus confluencias.

En el cantón Baños de Agua Santa no se da ningún tratamiento a las aguas residuales, lo que contribuye a la contaminación del río Pastaza.

El río Pastaza es receptor de todas las descargas de aguas residuales provenientes de las provincias de Chimborazo y Tungurahua ya que se origina de la unión del río Patate (Tungurahua), con el río Chambo (Chimborazo). Este río atraviesa distintas comunidades por lo que muchos utilizan esta agua para riego, para cultivo de peces, etc.

La descarga de aguas residuales provenientes de diversas actividades al río Pastaza contribuye a la degradación del mismo, a la contaminación ambiental y afecciones a la salud de habitantes de las comunidades aledañas a este río.

Estos antecedentes motivaron a realizar el Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para Juive Chico-La Pampa. Con el propósito de mitigar los

impactos producidos al río Pastaza, al ambiente, y a la salud de las personas por la descarga de éstas aguas.

El agua residual de la comunidad de Juive Chico-La Pampa no se encuentra en condiciones para ser vertidas al ambiente, por lo que necesitó de sistemas de tratamientos.

La presente investigación persigue los siguientes objetivos:

### **OBJETIVOS:**

#### **General:**

- Diseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para Juive Chico-La Pampa.

#### **Específicos:**

- Cuantificar los caudales que van a ser tratados.
- Determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual de Juive Chico-La Pampa.
- Seleccionar los sistemas de tratamiento, dispositivos y parámetros más adecuados según la caracterización anterior.
- Realizar el diseño.

# **CAPITULO I**

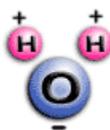
## CAPITULO I

### 1. PARTE TEÓRICA

#### 1.1. EL AGUA

Líquido incoloro, casi inodoro e insípido,  $H_2O$ , esencial para la vida animal y vegetal y el más empleado de los disolventes. Punto de fusión  $0^{\circ}C(32^{\circ}F)$ , punto de ebullición  $100^{\circ}C(212^{\circ}F)$ . Alcanza su densidad máxima a una temperatura de  $4^{\circ}C$  y se expande al congelarse.

Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos  $-25^{\circ}C$  sin que se congele.



(2)

**Fig. 1.** Estructura del agua

El agua es fuente de vida, toda la vida depende del agua. El agua constituye un 70% de nuestro peso corporal. Necesitamos agua para respirar, para lubricar los ojos, para desintoxicar nuestros cuerpos y mantener constante su temperatura. Por eso, aunque un ser humano puede vivir por más de dos semanas sin comer,

puede sobrevivir solamente tres o cuatro días sin tomar agua. Las plantas serían incapaces de producir su alimento y de crecer sin el agua.

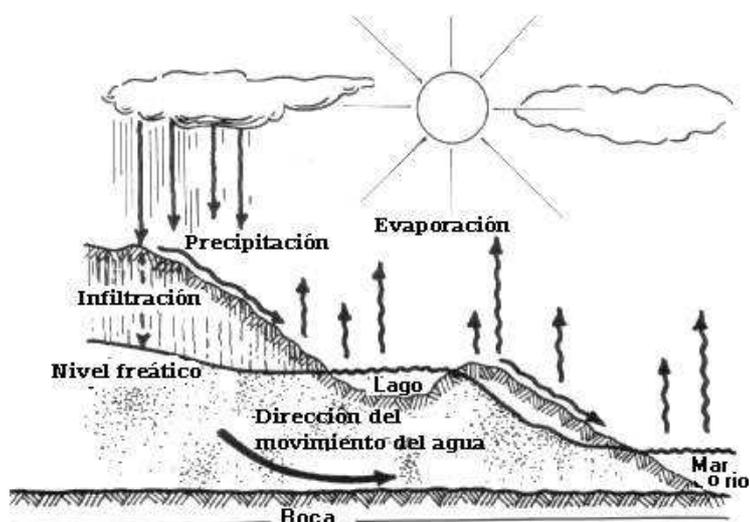
El agua por sí misma es incolora y no tiene olor ni gusto definido. Sin embargo, tiene unas cualidades especiales que la hacen muy importante, entre las que destacan el hecho de que sea un regulador de temperatura en los seres vivos y en toda la biosfera, por su alta capacidad calórica (su temperatura no cambia tan rápido como la de otros líquidos). (13)

### **1.1.1. Ciclo del agua**

El mar retiene la sal del agua que recogió del suelo, la tierra y las rocas que se encontraban en los lugares por donde pasa el río, la envía a la atmósfera, pura y evaporada.

De la atmósfera, el agua cae como lluvia baja sobre los prados, los campos, nutre las cosechas y la fruta, y corre por los troncos, ramas de las plantas y árboles, llenándolos de flores.

Al encontrar grietas en las rocas y en el suelo, el agua penetra hacia adentro de la tierra, formando los ríos subterráneos que llenan los pozos, a veces sale en pequeñas cascadas o manantiales. A todo este proceso se le llama el Ciclo del agua, o ciclo Hidrológico, gracias a él, probablemente volveremos a beber esta misma agua cien veces durante toda nuestra vida.



**Fig. 2.** Ciclo del agua

(12)

## **1.2. AGUA RESIDUAL**

### **1.2.1. Generalidades, definición, origen**

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado.

Según su origen las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de la

industria y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

Así de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificados como:

- *Domésticas:* son aquellas aguas utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.) Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas de las instalaciones hidráulicas de la edificación y también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.
- *Industriales:* son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- *Pluviales:* son aguas lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y el resto escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.(6)

Otra forma de denominar a las aguas residuales es en base al contenido de contaminantes que esta porta, así se conocen como:

- Aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

- Aguas grises a las aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.
- Aguas negras industriales a la mezcla de las aguas negras de una industria en combinación con las aguas residuales de sus descargas. Los contaminantes provenientes de la descarga están en función del proceso industrial, y la mayoría de ellos tienen efectos nocivos a la salud si no existe un control de la descarga. (15)

### **1.2.2. Apariencia**

El agua residual es desagradable en su apariencia y en extremo peligroso, en su contenido, principalmente debido al elevado número de organismos patógenos (virus, bacterias, protozoarios, helmintos) causantes de enfermedades.

El residuo fresco tiene tonalidad grisácea, mientras que en el residuo séptico el color cambia gradualmente de gris a negro. El color negro caracteriza también el residuo de descomposición parcial.

Las aguas residuales pueden, sin embargo, presentar cualquier otro color, en los casos de contribución de residuos industriales como, por ejemplo, los de la industria textil o de tintas. (3)

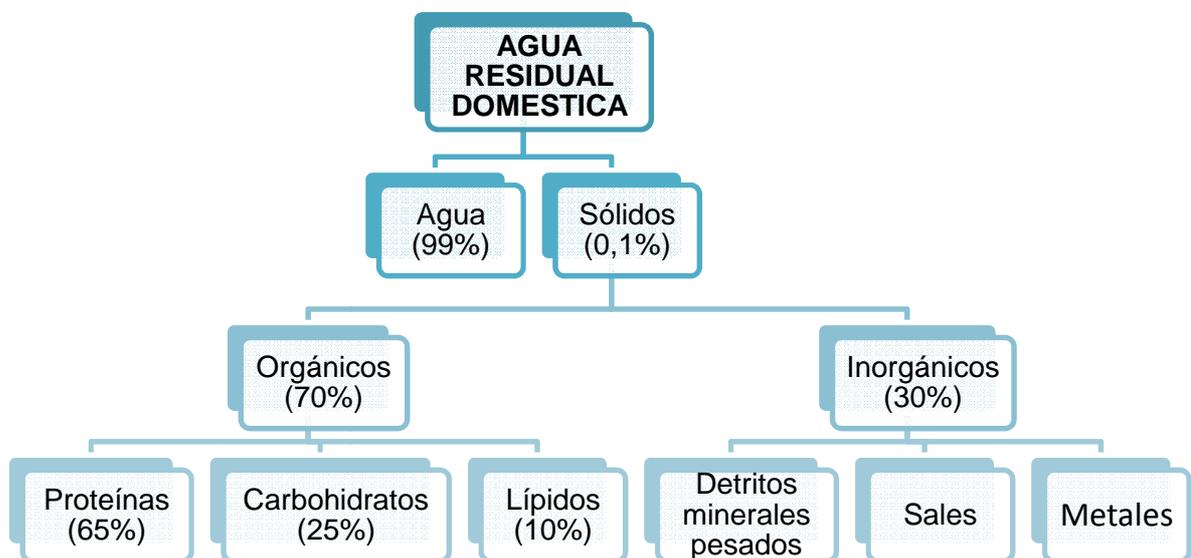
### 1.2.3. Características de las Aguas Residuales

#### 1.2.3.1. Características cualitativas

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99.9%, y a penas 0.1% de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.

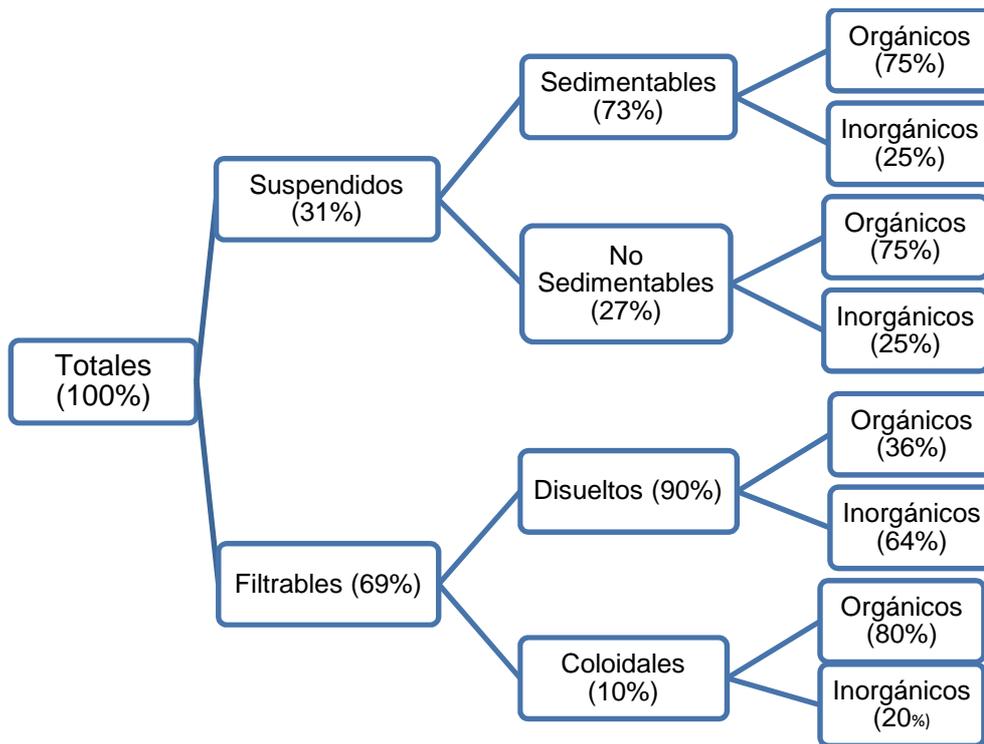
Sin embargo esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en el tratamiento y su disposición.

La figura 3 presenta la composición general de las aguas residuales domésticas.



**Fig. 3.** Composición general de las aguas residuales domésticas.

La distribución de los sólidos en el agua residual puede ser presentada aproximadamente según la figura 4.



**Fig. 4.** Distribución de los sólidos en el agua residual.

El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, heces, materia vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos.

Las proteínas son el principal componente del organismo animal, pero están presentes también en las plantas. El gas sulfuro de hidrógeno presente en las aguas residuales proviene del azufre suministrado por las proteínas.

La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente de arena y sustancias minerales disueltas. La arena proviene de aguas de lavado de las calles, y de aguas de la superficie y del sub suelo que

llegan a la red colectora de modo indebido o que se infiltran por los pozos de registro o por los empalmes de las tuberías.

El agua residual contiene también pequeñas concentraciones de gases disueltos. Entre ellos, el más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con la superficie del agua residual en movimiento. Además del oxígeno, el agua residual puede contener otros gases, como dióxido de carbono, resultante de la descomposición de materia orgánica; nitrógeno disuelto de la atmósfera; sulfuro de hidrógeno formado por la descomposición de componentes orgánicos; gas amoníaco y ciertas sustancias inorgánicas del azufre. Esos gases aunque en pequeñas cantidades, se relacionan con la descomposición y el tratamiento de los componentes degradables del agua residual. (7)

### **1.2.3.2. Características cuantitativas**

#### **1.2.3.2.1. Variación del Caudal**

De modo general, en los caudales de las aguas residuales ocurren variaciones horarias (con las horas del día), diarias (con los días de la semana) y cíclicas (con las estaciones del año), de acuerdo con los usos y las costumbres de la población, además de la temperatura y de la precipitación atmosférica de la región.

### 1.2.3.2.1.1. Caudales de diseño

Cuando exista información disponible de los caudales de aguas servidas, se deberá analizar por lo menos lo correspondiente a los dos últimos años.

1.2.3.2.1.1.1. *Caudal promedio diario*.- el caudal promedio que ocurre durante un periodo de 24 horas, basado en la información del caudal total del año. El caudal promedio es usado para evaluar la capacidad de las plantas de tratamiento y para desarrollar los caudales usados en diseño. El caudal promedio también es usado para estimar parámetros tales como costos de bombeo y de químicos, lodos y tasa de descarga de orgánicos.

$$Q_{m^3/d} = \frac{\text{población (hab)} \times \text{dotación (l/hab.d)}}{1000 \text{ l/m}^3} \quad \text{Ec: 1}$$

1.2.3.2.1.1.2. *Caudal pico horario*.- el pico de flujo ocurrido diariamente basado en la información del caudal total del año. En otras palabras contempla el incremento de caudal sobre el caudal medio, que se recibe de manera puntual en la planta a determinadas horas del día.

$$Q_p = Q_{med} \times (1,5 - 2,5) \quad \text{Ec: 2}$$

Si no se disponen de datos suficientes de caudales se pueden emplear los siguientes criterios:

- Para comunidades pequeñas: 4 veces el caudal medio diario.

- Para comunidades grandes: 1,5 veces el caudal medio diario

Puede calcularse mediante una fórmula empírica que, a título orientativo, proporciona datos bastante fiables:

$$Q_p = Q_{med} \times \left( 1,15 + \frac{2,575}{(Q_{med})^{1/4}} \right) \quad \text{Ec: 3}$$

1.2.3.2.1.1.3. *Caudal máximo diario.*- el caudal máximo que ocurre durante un periodo de 24 horas, basado en la información del caudal total del año.

El caudal máximo que puede llegar a planta se puede estimar como mayoración del caudal punta en 1,5 a 2,5 veces.

1.2.3.2.1.1.4. *Caudal mínimo diario.*- el caudal mínimo que ocurre durante un periodo de 24 horas, basado en la información del caudal total del año.

Importante para el funcionamiento de las estaciones de bombeo y de la planta de tratamiento de aguas residuales durante los primeros años dado que se suele trabajar con caudales inferiores a los proyectados y se pueden producir retenciones.

Si no se disponen de datos suficientes de caudales se pueden emplear los siguientes criterios:

- Para comunidades pequeñas: 30% del caudal medio diario.
- Para comunidades grandes: 50% del caudal medio diario

1.2.3.2.1.1.5. *Mínimo caudal horario*.- el mínimo caudal ocurrido diariamente basado en la información del caudal total del año. El mínimo caudal horario es usado para determinar los efectos posibles en el proceso y para definir las dimensiones de los medidores de flujo particularmente aquellos de dosificación automática de químicos. (8)

Hay aun otra fracción de contribución de las aguas residuales que puede adicionarse a los caudales mínimo, medio y máximo: las aguas pluviales por lo general encaminadas indebidamente a los colectores prediales, además de las que penetran en la red de alcantarillado a través de los tampones de los pozos de registro, de lanzamientos clandestinos, etc., aumentando considerablemente los caudales estimados en los diseños. (9)

### **1.2.3.3. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual**

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química. La tabla I muestra las principales propiedades físicas de agua así como sus principales constituyentes químicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de los parámetros que aparecen en la tabla están relacionados entre ellos.

Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

#### **1.2.3.4. Características físicas**

##### **1.2.3.4.1. Sólidos totales**

Analíticamente, se define el contenido de *sólidos totales* como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los *sólidos sedimentables* se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos.

##### **1.2.3.4.2. Olores**

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

*Efecto de los olores:* A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Los

olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos, y crear perturbaciones mentales

*Caracterización y medida de olores:* para la completa caracterización de un olor, se sugieren cuatro factores independientes: la intensidad, el carácter, la sensación de desagrado y la detectabilidad (tabla II). No obstante, hasta hoy en día, el único factor que se ha tenido en cuenta en el desarrollo de normativas reguladoras de malos olores ha sido la detectabilidad.

**Tabla I**  
Factores a tener en cuenta para la caracterización completa de un olor.

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>
Carácter	Se refiere a asociaciones mentales hechas por el sujeto al percibir el olor. La determinación puede resultar muy subjetiva.
Detectabilidad	El número de diluciones requerido para reducir un olor a su concentración de olor umbral mínimo detectable (CLIOMD).
Sensación.	La sensación de agrado o desagrado relativo del olor sentido por un sujeto.
Intensidad	La fuerza en la percepción de olor; se suele medir con el olfatómetro de butanol o se calcula según el número de diluciones hasta el umbral de detección cuando la relación es conocida.

#### **1.2.3.4.3. Temperatura**

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el

calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son menores de ella durante los meses más calurosos de verano.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinando con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano.

Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre 25 y los 35°C.

#### **1.2.3.4.4. Densidad**

La densidad de un agua residual se define a como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{Kg/m}^3$ . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura.

#### **1.2.3.4.5. Color**

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro.

#### **1.2.3.4.6. Turbiedad**

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

#### **1.2.3.5. Características químicas**

##### **1.2.3.5.1. Materia orgánica**

Son sólidos que provienen de los reinos, animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), y grasa y aceites (10%). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido

a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes.

#### **1.2.3.5.2. Proteínas**

Las proteínas son los principales compuestos del organismo animal, mientras que su presencia es menos relevante en el caso de organismos vegetales. Están presentes en todos los alimentos de origen animal o vegetal cuando éstos están crudos.

El contenido en proteínas varía mucho entre los pequeños porcentajes presentes en frutas con altos contenidos en agua (como los tomates) o en los tejidos grasos de las carnes, y los porcentajes elevados que se dan en alubias o carnes magras. Todas las proteínas contienen carbono, común a todas las sustancias orgánicas, oxígeno e hidrógeno. Además, como característica distintiva, contienen una elevada cantidad de nitrógeno, en torno al 16%. La urea y las proteínas son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales.

#### **1.2.3.5.3. Hidratos de carbono**

Ampliamente distribuidos por la naturaleza, los hidratos de carbono incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual.

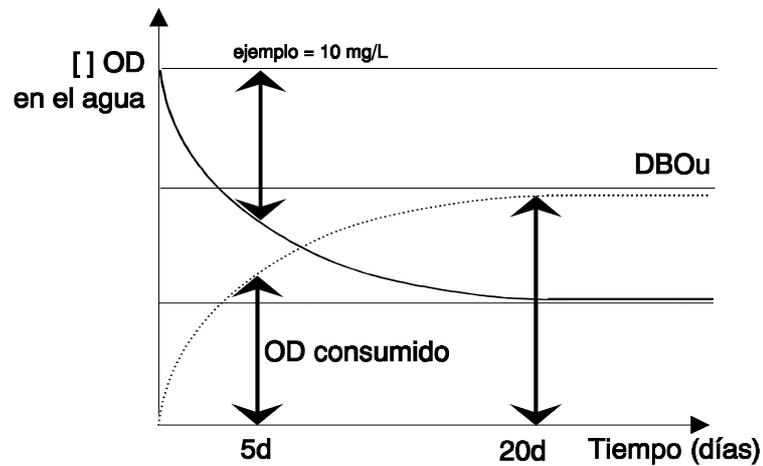
Los hidratos de carbono contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Algunos hidratos de carbono son solubles en agua, principalmente los azúcares, mientras que otros, como los almidones, son insolubles.

#### **1.2.3.6. Características biológicas**

Estas materias de tipo orgánico absorben hasta su mineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen en el agua. El índice para medir este fenómeno puede efectuarse mediante el análisis de parámetros tales como:

##### **1.2.3.6.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La prueba de la DBO mide el oxígeno consumido por las bacterias mientras oxidan la materia orgánica. Una muestra de agua residual se diluye convenientemente con *agua de dilución* (agua destilada con una población mixta apropiada de microorganismos, y con una concentración a saturación de OD). Se mide en la muestra diluida la concentración inicial de OD, se incuba a una temperatura determinada (20 °C) y, después de un tiempo prefijado, se mide de nuevo el OD. La disminución en la concentración de OD será debido a la utilización hecha, durante el tiempo de incubación, por los microorganismos para metabolizar la MO de ese volumen de muestra diluida. De este resultado se calcula la cantidad de oxígeno requerido para el tratamiento similar de un volumen normal no diluido, por ejemplo un litro.



**Fig. 5.** Oxígeno disuelto consumido en función del tiempo.

La oxidación biológica es relativamente lenta y normalmente no se completa en 5 días de incubación. Los compuestos orgánicos simples, como la glucosa, se oxidan casi completamente en cinco días, pero en un agua residual doméstica sólo se llega a oxidar un 65% de la MO. Los compuestos orgánicos complejos pueden oxidarse únicamente en un 40% en el mismo período. Cuando la descomposición de MO de una muestra es tan completa como se pueda obtener aeróbicamente, el OD así consumido es la DBO total o última ( $DBO_u$ ). Si no se indica nada se suele aceptar que es  $DBO_5$ .

Normalmente, se supone que la DBO es una reacción de primer orden. En una reacción de orden 1 la velocidad de oxidación es proporcional a la concentración presente de materia orgánica oxidable.

Una vez formada una población adecuada de microorganismos, la velocidad de reacción está controlada por la cantidad de alimento disponible, esto es:

$$\frac{dL}{dt} = -KL \quad \text{Ec: 4}$$

En donde:

$L$  = concentración de DBO presente.

$t$  = tiempo

$K$  = constante cinética de orden 1 del proceso.

(1)

Para calcular la cantidad de DBO en proporción a la cantidad de oxígeno se utiliza con la siguiente fórmula.

$$DBO(O_2) = \frac{(V_f - V_i) \times N \times Eq \times 1000}{V} \quad \text{Ec: 5}$$

Donde:

$V_f$  = Volumen de titulante consumido después de 5 días.

$V_i$  = Volumen de titulante consumido en el primer día.

$N$  = Normalidad del oxígeno.

Eq= Equivalente químico del oxígeno.

V= Volumen del recipiente (frasco Wheaton)

#### **1.2.3.6.2. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Debido a los problemas de determinar el  $\text{DBO}_5^{20}$  por su relación con la temperatura y el tiempo, se hace necesario adoptar otros métodos que si bien no reflejan la realidad del hecho en la naturaleza, permiten usarse, por su rapidez de determinación, para el control de vertidos y de los procesos de depuración.

El DQO es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por una cantidad de agua residual durante la oxidación “por vía química” provocada por un agente químico fuertemente oxidante. Su determinación es más rápida de que la DBO, precisando su ensayo 1 o 2 horas si la oxidación se efectúa en frío o, bien 30 minutos si la oxidación se efectúa con dicromato en caliente.

#### **1.2.3.6.3. Oxígeno disuelto (OD)**

Siendo la fuente energética de los seres vivos el oxígeno, este se convierte en índice fundamental para la definición y control de las aguas residuales. La cantidad de oxígeno puede ser incrementada por:

- Captación de oxígeno a través de la superficie de interfase aire-agua
- Acción fotosintética, debido principalmente a las algas verdes
- Descenso de la temperatura
- Dilución

La cantidad de oxígeno puede disminuir por la respiración de los microorganismos, algas y organismos macroscópicos, elevación de temperatura, reacciones químicas, y por la acción metabólica de los microorganismos regidos por la acción enzimática. (8)

#### **1.2.4. TIPOS DE TRATAMIENTOS EN AGUAS RESIDUALES**

##### **1.2.4.1. Tratamientos Preliminares**

Se hacen como antecedentes a los tratamientos primarios, secundarios, o terciarios, pues las aguas residuales pueden venir con desechos muy grandes y voluminosos que no pueden llegar a las plantas de tratamiento y sirven de igual manera para aumentar la efectividad de estos procesos.

Para estos procesos son utilizados las rejillas, los tamices y los microfiltros.

#### **1.2.4.1.1. Las Rejillas**

Con éstas se retiene todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, etc.

Se utilizan solamente en los desbastes previos, y sirven para que los desechos no dañen las maquinas. Se construyen con barras de 6 mm de grosor y son acomodadas aproximadamente a 100 mm de distancia.



**Fig. 6.** Tratamiento preliminar con rejillas.

#### **1.2.4.1.2. Los tamices**

Luego de las rejillas se colocan Tamices, con aberturas menores para remover un porcentaje más alto de sólidos, con el fin de evitar atascamiento de tuberías, filtros biológicos, con una abertura máxima de 2.5 mm.

Tienen una inclinación particular que deja correr el agua y hace deslizar los desechos por fuera de la malla. Necesita un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida.

#### **1.2.4.1.3. Los microfiltros**

Son planillas giratorias plásticas o de acero por las cuales circula el agua y recogen los desechos y las basuras en su interior, los microfiltros tiene sistemas de lavado para que así puedan mantener las mallas limpias.

Dependiendo de la aplicación que tengan se selecciona el tamaño de las mallas.

#### **1.2.4.2. Tratamientos Primarios**

En este tipo de tratamiento lo que se busca es remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamiento físicos o físico-químicos.

En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas quelantes (La precipitación química o coagulación es un proceso por el cual se agregan sustancias químicas para que así se dé una coagulación de los desechos y poder retirar así los sólidos) que hacen más rápida y eficaz la sedimentación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoniaco (desorción).

Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción.

La sedimentación física es el proceso mediante el cual se dejan asentar por gravedad los sólidos en suspensión en las aguas residuales. Las bacterias que

crecen en este medio, junto con otros sólidos, se retiran en un tanque de sedimentación secundario y se hacen entrar de nuevo al tanque de ventilación.

En este tipo de tratamiento se pueden retirar de un 60 a un 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

#### **1.2.4.3. Tratamientos Secundarios**

Se da para eliminar desechos y sustancias que no se eliminaron con la sedimentación y para remover las demandas biológicas de oxígeno. Con estos tratamientos secundarios se pueden expeler las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos.

El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de *lodos activos* (microorganismos).

Se utilizan también los biodiscos que están contruidos con un material plástico por el que se esparce una película de microorganismos que se regulan su espesor con el paso y el rozamiento del agua.

Puede estar sumergido de un 40 a un 90 % y las parte que queda en la superficie es la encargada de aportar el oxígeno a la actividad celular.

El lagunaje es utilizado en terrenos muy extensos y su duración es de 1/3 días en el proceso de retención. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

#### **1.2.4.4. Tratamientos Terciarios**

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias.

Algunas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno.

Una mejor alternativa para el tratamiento terciario consiste en agregar uno o más estanques en serie a una planta de tratamiento convencional. El agregar esos estanques de "depuración" es una forma apropiada de mejorar una planta establecida de tratamiento de aguas residuales, de modo que se puedan emplear los efluentes para el riego de cultivos o zonas verdes y en acuicultura.

## **1.3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO**

### **1.3.1. Tratamiento preliminar**

#### **1.3.1.1. Rejillas**

Las rejillas tienen como objeto retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión, que arrastra consigo el agua residual. De esta forma se logra:

- Eludir posteriores depósitos.
- Evitar obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general.
- Interceptar las materias que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de las unidades posteriores (desarenador, medidor de caudal, decantador, etc.)
- Aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores

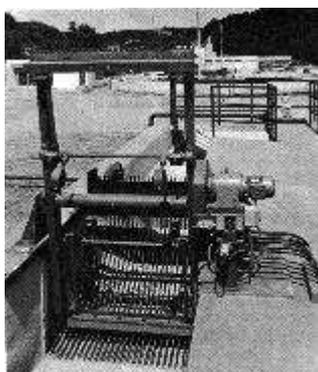
El primer paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual bruta a través de rejillas de barras. Las rejillas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores. Las rejillas de barras se pueden limpiar manual o mecánicamente. Las características de ambos tipos se comparan en la siguiente tabla.

**Tabla II.**  
 Información típica para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual y mecánica.

CARACTERISTICAS	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECANICA
Tamaño de la barra:		
Anchura, mm	5 - 15	5 - 15
Profundidad, mm	25 - 37,5	25 - 37,5
Separación entre barras, mm	25 – 50	15 – 75
Pendiente en relación a la vertical, grados	25 – 50	50 - 82,5
Velocidad de aproximación, m/s	150	150
Pérdida de carga admisible, mm	150	150

#### 1.3.1.1.1. Rejas de limpieza manual

Construidas generalmente con barrotes metálicos rectos inclinados en un Angulo de 70° con la horizontal. Usados en pequeñas instalaciones .Pueden haber variantes en el diseño de acuerdo al tipo de material a retener ( pueden ser curvas , cestas perforadas , etc)



**Fig. 7.** Rejillas de limpieza manual

En el caso en los que se utilice rejas de limpieza manual, su no deberá exceder de la que permita su correcta limpieza, (aproximadamente 3m). Las barras que conforman la reja no suele exceder los 10mm de anchura por 50mm de profundidad. Las barras van soldadas a unos elementos de separación situados en la cara posterior, fuera del recorrido del peine rascador.

En la parte superior de la reja deberá colocarse una placa perforada para que los objetos extraídos se puedan almacenar temporalmente para su drenaje.

Como objeto de procurar suficiente superficie de reja para la acumulación de residuos en los periodos entre las operaciones de limpieza, es esencial que la velocidad de aproximación se limite, a aproximadamente, 0,45m/s a caudal medio la sección adicional necesaria para limitar la velocidad se puede obtener ensanchando en canal en la zona de ubicación de la reja y colocándola con una inclinación más suave para aumentar la superficie sumergida. Conforme se acumulan los residuos, produciendo la obturación parcial de la reja, aumentará el calado aguas arriba de la misma, sumergiendo nuevas zonas de paso del flujo a través de la reja. El diseño estructural de la reja deberá ser el adecuado para evitar su rotura en caso de que llegue a taponarse completamente. (8)

#### **1.3.1.1.2. Características de los residuos**

Los materiales retenidos en las rejas y tamices se conocen con el nombre de residuos o basuras. Cuanto menor es la abertura libre del tamiz mayor será la cantidad de residuos eliminada.

A pesar de que no existe ninguna definición que permita identificar los materiales separables mediante rejas, y de que no existe ningún método reconocido para la medición de la cantidad de residuos eliminada, éstos presentan ciertas propiedades comunes.

Los residuos de tamaño grande que son retenidos en rejas con separaciones de 15 mm o superiores, consisten en desechos tales como piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, raíces de árboles, plásticos, y trapos. También se puede separar materia orgánica. El contenido en trapos puede ser importante, y se ha estimado visualmente que representa entre el 60 y el 70 % del volumen total de residuos en rejas de 25 a 100 mm de separación entre barras respectivamente.

Los residuos de tamaño grueso tienen un contenido en materia volátil muy alto (del 80 al 90% o más), con un contenido de materia seca del 15 al 25 % y una densidad entre 640 y 960 kg/m<sup>3</sup>.

En este proyecto se utilizará rejas de limpieza manual ya que los costos de construcción serán mínimos, pero es necesario realizar periódicamente la limpieza de estas rejillas para evitar los reboses y desbordamientos que se producen por la obturación de aquellas.

### 1.3.1.1.3. Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de las rejillas es necesario calcular la velocidad a la que se transporta el agua residual hacia el proceso de tratamiento, mediante la ecuación de Manning, para posteriormente compararlo con parámetros de velocidad y con abertura de barras sugeridos.

#### Ecuación de Manning

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad \text{Ec: 6}$$

Donde:

v = Velocidad

n = Coeficiente de Manning

R = Radio hidráulico

J = Gradiente hidráulico

Además se proporciona información de rejillas para el volumen y características de materias que pueden ser retenidas.

**Tabla III.**

Volumen de materias retenidas en las rejillas (Uralita, pag. 77)

Separación libre entre barras (mm)	Volumen retenido (L/hab.año)
3	15-25
20	5-10
40-50	2-3

**Tabla IV**

Características de las materias retenidas en las rejillas (Uralita, pag. 77)

<b>Características</b>	<b>%</b>
Contenido de humedad	>30
Contenido de materia orgánica	75-80
Contenido de materia inerte	20-25

La velocidad de paso a través de la reja debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre ella sin que se provoque una gran pérdida de carga ni atascamiento en los barrotes, para esto se establece una velocidad mínima y máxima que generalmente oscila entre 0.60 m/s y 1.00 m/s pudiendo llegar hasta 1.4 m/s como máximo

Las pérdidas de carga están comprendidas entre 0.05 y 0.15 m en aguas potables y entre 0.10 y 0.40 en aguas residuales.

### **1.3.2. Tratamiento primario**

#### **1.3.2.1. Sedimentador**

El proceso de decantación o sedimentación es uno de los más comunes en los tratamientos de agua residuales y consiste en la separación del agua, a través del asentamiento gravitacional, de las partículas disueltas que son más pesadas que el agua. Los términos decantación y sedimentación son usados para el mismo proceso y así se los llama tanques de sedimentación o tanques de decantación.

El objetivo fundamental de los tanques de decantación primaria es la eliminación de los sólidos sedimentables.

La mayor parte de las sustancias en suspensión en las aguas residuales no pueden retenerse debido a su finura o densidad, en las rejillas, ni tampoco pueden separarse mediante flotación por ser más pesadas que el agua. La reducción de la velocidad de la corriente por debajo de un determinado valor, es el fundamento de la eliminación de un 50 a 60 por ciento de las materias en suspensión del influente.

Al depositarse estas partículas de fango, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias, con lo que se logra una reducción de DBO y una cierta depuración biológica. Sirven como decantadores todos los depósitos que sean atravesados con velocidad suficientemente lenta y de forma adecuada por el agua a depurar.

Los tanques de sedimentación son usados para la remoción de partículas tales como grava y arena, flóculos biológicos contenidos en los lodos activados y para la remoción de flóculos químicos cuando se ha usado el proceso de coagulación químico. También es usado para la concentración de sólidos en los tanques de espesamiento de lodos.

Los asentamientos pueden ocurrir de 4 formas, basadas en la concentración de sólidos y en la tendencia de interacción de las partículas:

### 1.3.2.1.1. Dimensionamiento del sedimentador.

El dimensionamiento del sedimentador consistió en determinar las dimensiones del tanque, es decir, el largo, área, ancho, etc.

El área superficial del sedimentador se obtiene de:

$$A = \frac{Q}{V_c} \quad \text{Ec: 7}$$

Donde:

A = área superficial del sedimentador en m<sup>2</sup>

Q = caudal a tratar en m<sup>3</sup>/h

V<sub>c</sub> = Velocidad terminal m/h.

Los valores de velocidad terminal pueden obtenerse de la siguiente tabla:

**Tabla V.**

Velocidades terminales a caudal medio (Manual de depuración Uralita, pag.96)

Decantación primaria	Velocidad a caudal medio		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	1,0 m/h	1,5 m/h	2,0 m/h
Decantadores rectangulares	0,8 m/h	1,3 m/h	1,8 m/h

**Tabla VI.**

Velocidades terminales a caudal máximo (Manual de depuración Uralita, pag.96)

Decantación primaria	Velocidad a caudal máximo		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Decantadores circulares	2,0 m/h	2,5 m/h	3,0 m/h
Decantadores rectangulares	1,8 m/h	2,2 m/h	2,6 m/h

Se consideró una relación de ancho/largo de 1/3 para efecto de calcular las medidas interiores del sedimentador aplicamos la fórmula:

$$A = Lg \times An \quad \text{Ec: 8}$$

Donde:

Lg = largo del sedimentador en metros

An = ancho del sedimentador en metros.

Y aplicando la relación ancho/largo = 1/3 tenemos.

$$Lg = 3An \quad \text{Ec: 9}$$

Reemplazando Lg en la formula tenemos:

$$A = 3An \times An \quad \text{Ec: 10}$$

$$A = 3An^2 \quad \text{Ec: 11}$$

$$An = \sqrt{\frac{A}{3}} \quad \text{Ec: 12}$$

Una vez encontrado el ancho del tanque se calculó el largo del mismo con la ecuación 9

Posteriormente se calculó el volumen del tanque con la siguiente fórmula.

$$V = An \times Lg \times h \qquad \text{Ec: 13}$$

Donde:

V = volumen del tanque de sedimentación (m<sup>3</sup>)

An = ancho del tanque (m)

Lg = Largo del tanque (m)

h = altura del tanque 1,5m.

#### **1.3.2.1.2. Tiempo de Retención Hidráulico**

Es el tiempo que demoraría una partícula en recorrer la longitud del sedimentador en sentido horizontal desde el momento de su entrada al sistema.

$$Trh = \frac{V}{Q} \qquad \text{Ec:14}$$

Donde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico en h.

Q = caudal a tratar en m<sup>3</sup> /h

V = Volumen en m<sup>3</sup>

En caso de no poder obtener el tiempo de retención mediante el cálculo se pueden utilizar los siguientes tiempos de retención:

**Tabla VII.**

Tiempos de retención (Manual de depuración Uralita, pag.97)

<b>Decantación primaria</b>	<b>Velocidad a caudal máximo</b>		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Tiempo de retención para caudal medio	1,5 h	2,0 h	3,0 h
Tiempo de retención para caudal máximo	1,0 h	1,5 h	2,0 h

Cuando la decantación primaria se usa como tratamiento único deben incrementarse las cifras anteriores en un 30%.

### **1.3.3. Tratamiento secundario**

#### **1.3.3.1. Proceso biológico**

Los objetivos del proceso biológico son coagular y remover los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica. Para las aguas residuales domésticas, muchas veces el objetivo es reducir los nutrientes como fósforo y nitrógeno, que son capaces de estimular el crecimiento de plantas acuáticas.

CONSUME POW mejora la capacidad de la población bacteriana natural presente en los sistemas de tratamiento biológico. Cataliza la ruptura de moléculas orgánicas para obtener moléculas más simples que puedan ser digeridas por bacterias. Contribuye a la degradación de compuestos químicos

no biodegradables o difíciles de degradar en un intervalo de tiempo similar al ciclo natural, sin emitir gases o malos olores. (10)

### 1.3.3.2. Dimensionamiento de la unidad de tratamiento secundario

Para diseñar este tanque habrá que poner mayor énfasis en el área superficial, mientras que la profundidad de éste no será de mucha importancia. Su diseño se lo realizó como si se tratara de un decantador.

Entonces, para determinar el volumen del tanque se utilizará la siguiente fórmula:

$$V = Q \times Tr \quad \text{Ec: 15}$$

Donde:

V = Volumen del tanque de oxidación (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal a tratar (m<sup>3</sup>/h)

Tr = Tiempo de retención (h)

Ahora conociendo que:

$$V = A \times h \quad \text{Ec: 16}$$

Donde:

V = Volumen del tanque de oxidación (m<sup>3</sup>)

A= Área superficial del tanque de oxidación (m<sup>2</sup>)

h = Altura del tanque (m)

Despejando el área, se tiene que:

$$A = \frac{V}{h} \quad \text{Ec: 17}$$

Para calcular el ancho y el largo del sedimentador se realizó con las ecuaciones 9 y 12 respectivamente pero aplicando la relación ancho/largo = 1/2 (5)

#### **1.3.4. Conducción del agua**

El agua será conducida en todas las partes del sistema a través de tubería de PVC por las siguientes razones.

- Unión hermética: El diseño de la unión espiga-campana no permite infiltración ni exfiltración, lo que impide la contaminación del agua.
- Economía: Por su superficie interna lisa las pendientes se reducen considerablemente, obteniendo menores volúmenes de excavación.
- Mayor vida útil: No se ve afectada por la agresividad de los suelos, no permite la entrada de raíces y las sustancias propias de un alcantarillado sanitario no la atacan.

- Flexibilidad: Excelente comportamiento ante cargas vivas y muertas comparado con los materiales tradicionales, que le permite ser alojada a las profundidades de proyecto sin problema alguno.
- Baja rugosidad: Coeficiente de rugosidad de Manning de 0.009, lo que significa una mayor eficiencia hidráulica.
- Ligereza: Por su peso por metro significativamente menor, el costo de manejo e instalación se reduce considerablemente, logrando altos rendimientos de mano de obra.
- Resistencia mecánica: La tubería de PVC es muy resistente a golpes y al trato normal en obra, desde luego debe protegerse del manejo inadecuado y rudo.

#### **1.3.4.1. Limitaciones en el uso de tubería de PVC**

- A temperaturas menores a 0°C el PVC reduce su resistencia al impacto.
- La tubería no debe quedar expuesta por periodos prolongados a los rayos solares, pues esto pudiera alterar sus propiedades mecánicas.
- La tubería de PVC es susceptible al daño al contacto con elementos punzo cortantes.

A continuación se presenta algunas características del PVC

**Tabla VIII.**

Características de la Tubería de PVC para Alcantarillado

<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>
Esfuerzo de Diseño	140 kg/cm <sup>2</sup>
Coeficiente de rugosidad	Manning 0.009 Hazen Williams 150
Módulo de elasticidad	28,100 kg/cm <sup>2</sup>
Hermeticidad	Total

# **CAPITULO II**

## **CAPITULO II**

### **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1. Diseño Experimental**

##### **2.1.1. Localización de la investigación**

El presente estudio se realizó en la comunidad de Juive chico-La Pampa perteneciente al cantón Baños provincia de Tungurahua. Esta comunidad se encuentra ubicada a una distancia de 4.5 km, de la Ciudad de Baños por la vía a Pondoá, en el margen derecho de la vía Ambato-Baños, a una altitud de 1960 msnm, en las coordenadas 9843845N y 17782227E. Parte del lugar en que actualmente debe atravesarse la vía por sobre el material volcánico del último evento eruptivo en el sector de los pájaros, la zona en estudio tiene como límites: al norte El Río Pastaza; al sur limita con Pondoá; al este se encuentra Pititig y al oeste el Puente de las Juntas.

La Comunidad de Juive Chico-La Pampa está integrada por 950 personas que habitan en dicha comunidad, la zona es montañosa y presenta un suelo rocoso, resultado de lavas volcánicas, donde solamente en ciertas partes de pendientes suaves se encuentra suelo que ha sido aprovechado para el asentamiento de la población y para actividades agrícolas. La Comunidad de Juive Chico-La Pampa, es parte integral del Cantón Baños de Agua Santa, por lo tanto zona bondadosa por su clima por su entorno paisajístico y sitios de recreación.

La ubicación del área de estudio, tiene las características típicas de la zona andina, con pendientes variables, posee un clima templado con una temperatura de 18C, datos oficiales señalan como temperatura media 16,9C, llegando a una temperatura máxima de 32C y una temperatura mínima de 5,12C, la aparente diferencia entre estos datos parece justificarse si se considera que existe un calentamiento atmosférico a nivel mundial.

La precipitación media anual es de unos 1400 mm, con una precipitación máxima diaria absoluta de unos 95 mm. Entre los meses de marzo y octubre se registra la mayor época de intensidad lluviosa. La humedad para la altura media de la zona es de 85,5%. (4)

### **2.1.2. Tipos de Investigación**

- Por el nivel de profundidad: Descriptiva.
- Por la secuencia de estudios: Transversal.
- Por el tipo de datos a analizar: Cuantitativo.
- Por las condiciones de estudio: De Laboratorio y de Campo.
- Por la utilización del conocimiento: Aplicativo.
- Por la rigurosidad del método implementado: Experimental.

### 2.1.3. Plan de Tabulación:

Se utilizó un diseño de bloques completos para el procedimiento de recolección de muestras, el mismo que sirvió para obtener los datos de las concentraciones de cada parámetro analizado, este diseño incluirá un estudio de análisis de varianza para conocer si existe diferencias significativas entre los datos de los diferentes días de muestreo durante tres a cuatro semanas, o para utilizar datos de un día específico.

**Tabla. IX.**  
**Diseño de bloques completos.**

<b>DIAS SEMANAS</b>	Lunes	Martes	Miércoles	$\sum Y_i$
2				
3				
4				
$\sum Y_{.j}$				$\sum Y_{..}$

Suma de cuadrados totales:

$$SCT = \sum (Y_{ij})^2 - \frac{Y_{..}^2}{nk}$$

Suma de cuadrados de tratamiento:

$$SCTr = \frac{1}{n} \sum (Y_{.j})^2 - \frac{Y_{..}^2}{nk}$$

Suma de cuadrados del error:

$$SCE = SCT - SCTr - SCB$$

**Tabla. X.**  
**Análisis de varianza.**

Factor de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Razón de varianza (RV)	F
DÍAS					
SEMANAS					
ERROR					
TOTAL					

A continuación se representa el diseño para sólidos totales, para los demás parámetros se encuentra en el Anexo C.

**Tabla XI.**  
**Concentraciones de Sólidos Totales**

Sólidos Totales				
Días	LUNES	MIERCOLES	VIERNES	∑ Yi.
Semanas				
1	4250	4300	4500	13050
2	4400	4300	4300	13000
3	4000	4300	4550	12850
4	4350	4275	4400	13025
∑ Y.j	17000	17175	17750	<b>51925</b>

**Tabla XII**

**Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	209323
<b>SCTr</b>	8073
<b>SCB</b>	76979
<b>SCE</b>	124271

**Tabla XIII**

**Análisis de Varianza de Sólidos Totales**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	8073	4036,5	0,19	
SEMANAS	3	76979,2	25659,7	1,24	
ERROR	6	124271	20711,8		
TOTAL	11	209323	19029,4		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

## **2.2. Metodología**

### **2.2.1. Metodología de Muestreo**

Las muestras fueron tomadas en diferentes horarios tres días a la semana, las mismas que fueron recogidas en envases de plástico debidamente etiquetados con la fecha y hora en las que fueron tomadas y cada quince días con el

propósito de obtener datos más representativos. Esto se realizó durante dos meses. El mismo día de la toma se trasladaron las muestras al laboratorio, en donde se procedió a su caracterización física, química y microbiológica.

**Tabla XIV.**

Recolección de las muestras.

<b>MUESTRAS</b>	<b>FECHA</b>
Primera	15/07/2008
Segunda	17/07/2008
Tercera	19/07/2008
Cuarta	28/07/2008
Quinta	30/07/2008
Sexta	31/07/2008
Séptima	11/08/2008
Octava	13/08/2008
Novena	15/08/2008
Décima	25/08/2008
Décima primera	27/08/2008
Décima segunda	29/08/2008

El muestreo de las aguas de descarga se lo realizó mediante el método APAHA/AWWA/WEF Standard Methods N<sup>o</sup> 1060 DIN 38402 (serie A11-A22).

(Ver ANEXO A)

**Tabla XV.**

Técnicas utilizadas durante la caracterización física, química y microbiológica.

PARÁMETRO	MÉTODO	REFERENCIA
Muestreo	Recolección y preservación de las muestras	APHA/AWWA/WEF Standard Methods N0 1060 DIN 38402 (serie A11-A22)
Sólidos Totales	Secado de la muestra a 105°C hasta peso constante y determinación gravimétrica	APHA/AWWA Standard MethodsNo.2540 B
Sólidos Suspendidos	Filtrado de la muestra por un filtro estándar de fibra de vidrio, secado a 105 °C y determinación gravimétrica.	APHA/AWWA Standard MethodsNo.2540 D
Sólidos Sedimentables	Prueba volumétrica requerido un cono de Imhoff.	APHA/AWWA Standard MethodsNo.2540 F
DQO	Digestión ácido-caliente de la muestra con dicromato y ácido sulfúrico en presencia de un catalizador y sulfato de mercurio para eliminar interferencias de cloruros y determinación del exceso de dicromato por titulación.	APHA/AWWA Standard Methods No. 5220. D
DBO	Llenado con muestra, hasta rebosar en un frasco Wheaton, incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días y determinación mediante la diferencia entre el OD inicial y el final.	APHA/AWWA/WEF Standard Methods No. 5220.
Nitratos	Determinación fotocolorimétricamente la concentración de nitratos a una longitud de onda de 420nm.	APHA/AWWA Standard MethodsNo.4500-E
Hierro	Por ebullición con ácido e hidroxilamina, reaccionando posteriormente con 1.10-fenotrolina, a vapores de pH 3.2 - 3.3.	APHA/AWWA Standard MethodsNo.3111.B, 3030B, E
Arsénico	Filtración y acidificación de la muestra determinación directa por espectroscopia de absorción atómica. (AAS)	APHA/AWWA Standard Methods No. 3030B, E, 3112B
Sulfatos	Formación de cristales de sulfato de bario (BaSO <sub>4</sub> ) medición de la absorbancia luminosa de la suspensión de sulfato de bario con un fotómetro y se determina la concentración de (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )por comparación de la lectura con una curva patrón.	APHA/AWWA Standard Methods No. 4500, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> E
Cloruros	En una solución neutra o ligeramente alcalina, el cromato potásico puede indicar el punto final de la titulación de cloruros con nitrato de plata. Se precipita cloruro de plata cuantitativamente antes de formarse el cromato de plata.	APHA/AWWA Standard Methods No. 4500, Cl B
Fluoruros	Método colorimétrico SFADNS	APHA/AWWA Standard Methods No. 4500 F, D
Coliformes Totales	Siembra de la muestra de agua, incubar y posteriormente se procede a leer el número de colonias.	APHA/AWWA Standard Methods No. 9222, 9221.
Coliformes Fecales		

Ver ANEXO A

## **2.2.2. Metodología de actividades realizadas**

Se realizó una investigación bibliográfica para determinar la fase de pretratamiento, buscando los casos más típicos que se presentan, así como los datos básicos para su diseño o la obtención de éstos a través de métodos matemáticos relacionados con la población y el caudal de diseño.

### **2.2.2.1. Estimación del volumen de agua residual**

Para determinar el volumen de agua consumido en el día por cada persona, se realizó un muestreo en 10 de 80 casas del sector con la finalidad de tener un dato de volumen lo más real posible y de esta manera tener nuestro volumen de agua residual, sabiendo que aproximadamente el 65% del agua consumida, se convierte en agua residual establecido en base a estudios realizados.

Este muestreo se realizó analizando el consumo de agua por cada persona en las distintas actividades que realizan, así tenemos en aseo personal, para el lavado de ropa, utilizan el agua mediante el llenado de dos veces a la semana de un tanque con dimensiones específicas.

Para analizar el volumen de agua consumido en el lavado de los platos, primero se tomó el tiempo que se demora en el lavado de los mismos, para luego llenar de agua un recipiente con numeración de volumen en su interior, utilizan el tiempo medido anteriormente. De la misma manera se realizó con el dato de volumen de agua consumido en la ducha.

Todo esto se realizó gracias a la colaboración de cada una de las personas de las casas muestreadas, ya que ellos nos proporcionaron el tiempo que tardan en ducharse y en lavar la vajilla.

Una vez calculado el volumen de agua consumida en cada actividad se sumaron todos los volúmenes obteniendo nuestro volumen de agua consumida final. Con este dato se realizó el cálculo de caudal ya que el volumen consumido por cada persona es en un día.

Posteriormente se calculó la cantidad de agua residual por persona y por día, que como se mencionó anteriormente aproximadamente el 65% de agua consumida es agua residual. (Ver Anexo C)

#### **2.2.2.2. Población futura**

Para calcular el tamaño de la población que se utilizó en el diseño se realizó con la siguiente fórmula.

$$Pf = Pa(1 + rn) \quad \text{Ec: 18}$$

Donde:

Pf = Población final (población futura)

Pa = Población actual.

1 = Constante.

r = Índice de crecimiento anual.

n = Periodo de tiempo (año futuro – año actual)

### **2.2.2.3. Caudal de diseño**

El caudal de diseño de agua residual se calculó mediante la población proyectada a 30 años que es el tiempo que se estima para utilidad de una planta de tratamiento de aguas residuales con la cantidad de agua residual que se calculó con las 10 casas muestreadas y con el factor de mayoración que según bibliografía es de 30%.

### **2.2.2.4. Análisis de Datos**

Para realizar el análisis de los resultados de laboratorio, se utilizó el programa JMP IN Statistics Guide, en el cual se ingresó todos los datos de cada uno de los parámetros analizados y cuyos resultados de test statistics ( $t$  experimental), se comparó con la tabla de la distribución  $t$  de student con  $v$  grados de libertad ( $t$  teórico) para determinar qué parámetros están fuera del límite permisible. Si  $t$  experimental es mayor que  $t$  teórico el parámetro está fuera del límite permisible.

### **2.2.2.5. Análisis del material biológico Consume Pow.**

Para aplicar en el diseño el material biológico se realizó pruebas de laboratorio, en las cuales se tomó una muestra del agua residual de Juive Chico – La Pampa, y se añadió el material biológico, dejando que actúe durante tres días y manteniendo la temperatura y la cantidad de oxígeno adecuado.

Se realizó el análisis de DBO en el agua residual antes y después de la prueba.

## 2.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

### 2.3.1. Material Biológico

Los materiales biológicos utilizados en la presente investigación fueron:

- CONSUME POW (5.000 millones ufc/gr), el cual está compuesto por los siguientes microorganismos.

*Bacillus licheniformis*

*Bacillus amyloliquifaciens*

*Bacillus pasteurii*

*Bacillus laevolacticus*

*Pseudomonas putida*

*Pseudomonas fluorescens*

*Enterobacter cloacae*

*Escherichia hermani*

- AGUAS DE DESCARGA DE LA COMUNIDAD DE JUIVE CHICO – LA PAMPA: estas aguas son aguas residuales domésticas.

### 2.3.2. Equipos

Espectrofotómetro de Absorción Atómica

pH-metro

Balanza

Conductímetro.

Estufa.

Bomba de vacío.

### 2.3.3. Materiales

**Tabla XVI.**  
Materiales utilizados.

MATERIALES	Volumen (mL)
Erlenmeyer	200
Pipetas	10 y 25
Vasos de precipitación	250
Balones aforados	100
Balones aforados	1000
Buretas.	25 y 50
Frascos Wheaton.	300

MATERIALES
Kitasato
Peras
Papel filtro
Tubos de absorción
Viales de DQO
Espátula.

### 2.3.4. Reactivos

**Tabla XVII.**  
Reactivos

REACTIVOS		
Agua destilada.	Cloruro de bario.	Salicilato de sodio.
Acido sulfúrico concentrado.	Hidróxido de sodio.	Buffer pH 7.
Cloruro de calcio.	Cloruro de magnesio	Cloruro férrico.
Sulfato de magnesio.	Ázida sódica	Tiosulfato de sodio.
Indicador de almidón.		

# **CAPITULO III**

## **CAPITULO III**

### **3. CALCULOS Y RESULTADOS**

#### **3.1. Base de partida**

Este apartado es fundamental y muy importante para llevar a cabo un dimensionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales que garantice un funcionamiento correcto cumpliendo con los objetivos de depuración propuestos, acordes con lo establecido por la legislación vigente. Para la definición de la base de partida se analizan los siguientes parámetros unitarios:

- Datos de la caracterización del agua residual.
- Cantidad de agua residual.
- Población.
- Caudales de diseño.

##### **3.1.1. Caracterización del agua residual**

Los datos que se muestran a continuación son el promedio de los resultados obtenidos en el laboratorio de cada parámetro (ver anexo B), con relación al límite permisible establecido en el TULAS, tabla 11, del libro VI.

**Tabla XVIII.**

Promedio de los resultados de laboratorio con relación al límite permisible

Parámetros analizados	Promedio	Límite Permissible
Coliformes totales (UFC)	1,23E+09	-
Coliformes fecales (UFC)	9,25E+07	-
Potencial de hidrógeno (mg/L)	8,54	5—9
Sólidos totales (mg/L)	4327,08	1600
Sólidos suspendidos (mg/L)	1485,42	100
DBO (mg/L)	1838,75	100
DQO (mg/L)	2235,33	250
Nitratos (mg/L)	21,98	-
Fósforo total (mg/L)	8,97	10
Hierro total (mg/L)	0,25	10
Zinc (mg/L)	4,45	5
Sulfatos (mg/L)	160,08	1000
Cloruros (mg/L)	724,92	1000
Fluoruros (mg/L)	0,50	5
Sólidos sedimentables (mg/L)	731,83	1

### 3.1.2. Población

Según el INEC el índice de crecimiento anual para Baños es de 4%

Mediante la ecuación 18 pág. 71 tenemos:

$$Pf = 950 [1 + 0,004 (2038 - 2008 )]$$

$$Pf = 950 [1 + 0,004 (30)]$$

$$Pf = 1064 \text{ hab}$$

### 3.1.3. Cantidad de agua residual.

Según bibliografía el 65% del total de agua consumida se convierte en agua residual, entonces en el Anexo D se realiza el cálculo de la cantidad de agua consumida y por ende la cantidad de agua residual, obteniendo lo siguiente:

$$\text{Agua consumida} = 241,19 \text{ (L / hab.día)}$$

$$\text{Agua residual} = 156,77 \text{ (L / hab.día)}$$

### 3.1.4. Caudal de diseño

Caudal promedio:

De acuerdo a la ecuación 1 pág. 29 tenemos:

$$Q_{prom} = \frac{1064 \text{ hab} \times 156,77 \text{ L / hab.día}}{1000 \text{ L / m}^3}$$

$$Q_{prom} = 166,80 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Caudal de diseño:

$$Q_{dis} = Q_{prom} \times FM$$

Donde:

$Q_{dis}$ : Caudal de diseño ( $m^3/día$ ).

$Q_{prom}$ : Caudal promedio ( $m^3/día$ ).

FM: Factor de mayoración. Según bibliografía (30%)

$$Q_{dis} = 166,80 \times 30\%$$

$$Q_{dis} = 216,84 \frac{m^3}{día} \Rightarrow 9,035 m^3/h$$

### 3.2. Dimensionamiento de las rejillas

Mediante la ecuación 6 pág. 51 tenemos:

$$V = \frac{1}{0,009} \times \left( \frac{0,25}{4} \right)^{2/3} \times (0,005)^{1/2}$$

$$V = 1,24 m/s$$

### 3.3. Dimensionamiento del Sedimentador

Área calculada mediante la ecuación 7 pág. 54

$$A = \frac{9,035m^3 / h}{1,8m / h}$$

$$A = 5,02m^2$$

Ancho del tanque mediante la ecuación 12 pág. 55

$$An = \sqrt{\frac{5,02m^2}{3}}$$

$$An = 1,67m \Rightarrow 2m$$

Largo del tanque mediante la ecuación 9 pág. 55.

$$Lg = 3 \times 2m$$

$$Lg = 6m$$

Volumen del tanque mediante la ecuación 13 pág. 56.

$$V = 1,5m \times 2m \times 6m$$

$$V = 18m^3$$

Tiempo de retención.

Mediante la ecuación 14 pág. 56 tenemos:

$$Trh = \frac{18 \text{ m}^3}{9,035 \text{ m}^3 / h} = 1,99 \text{ h}$$

**El tipo de sedimentador usado es un sedimentador con cribado**

Consiste básicamente en retener y/o separar de ellas, todos los cuerpos o constituyentes gruesos o de gran tamaño que pueden obstruir o dañar el funcionamiento tuberías o que generan daños al proceso, o a las unidades de tratamiento. Por economía se ha elegido una unidad que realice las dos funciones, es decir, un desarenador con cribado.

Con esto además se puede simplificar el tratamiento preliminar con rejillas, pero es aconsejable realizar las dos operaciones para tener mejor rendimiento en el tanque de sedimentación.

Este tratamiento consta de *dos* canales de concreto reforzado con paredes y pisos de 10 cm de espesor y un área de 5,02 m<sup>2</sup>.

En la parte superior de cada división del desarenador se encuentran las cribas o mallas en acero, las cuales tienen como función retener algunos materiales como pelos, trapos, papeles, hojas y semillas de frutos y otros materiales que por su menor tamaño no son retenidos en el tratamiento preliminar.

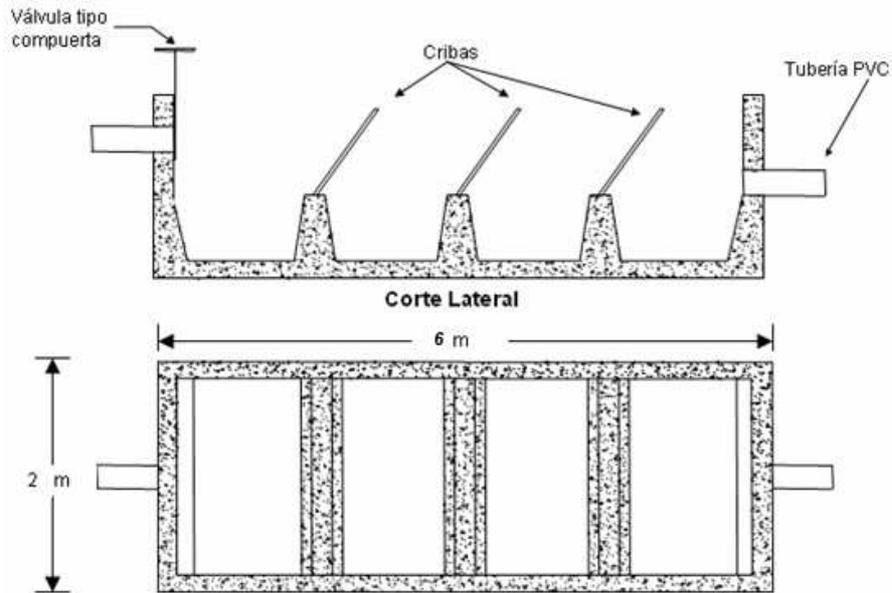
Estas tres cribas o tamices están dispuestas a una distancia de 1,5m entre cada una de ellas, todas en un ángulo  $60^\circ$  en cada sedimentador. Cada tamiz siguiente presenta una reducción interespacial en su enrejado, 1.5 cm, 1.0 cm y 0.5 cm respectivamente, con el fin de permitir retener diferentes tamaños de partículas a medida que el agua pasa a través del sedimentador.

La reja metálica está dispuesta sobre dos rieles metálicos en forma de “U”, empotrados en la pared con inclinación de  $60^\circ$ , los cuales permiten que la criba se desplace hacia arriba o hacia abajo, movimiento que facilita sacarla para realizar sobre ellas la operación de limpieza. Estas cribas se deben quitar completamente para ser destapadas y lavadas antes de volverlas a instalar. En cuanto a la limpieza del sedimentador, es muy sencilla, ya que una persona desde afuera del canal está en capacidad de retirar completamente los sólidos depositados en las divisiones de esta unidad, mediante el uso de una pala, con la cual llena una carretilla para transportarla hasta los lechos de secado. Esta operación de limpieza de las cribas, se debe realizar por lo menos una vez al día.

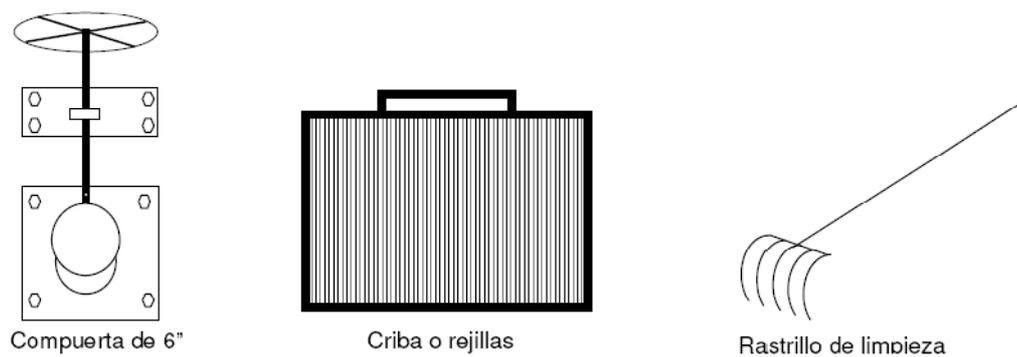
### **Ventajas**

- Operación y limpieza manual, muy sencilla
- No genera costos de operación debido a la ausencia de energía
- La eficiencia en la remoción es independiente del caudal
- Más bajos costos de construcción que los equipos de limpieza mecánica

- El tiempo de limpieza manual es de tan sólo 10 minutos/día, ya que se realiza con un rastrillo.



**Fig. 8.** Descripción del Sedimentador con cribado



**Fig. 9.** Descripción de accesorios para el Desarenador con cribado

### 3.4. Dimensionamiento del tanque para el tratamiento secundario

#### 3.4.1. Cálculo de DBO

La DBO fue calculada antes y después de agregar el material orgánico para determinar el rendimiento del mismo y obtuvimos lo siguiente.

DBO antes de agregar el material biológico:

$$DBO(O_2) = \frac{(V_f - V_i) \times N \times Eq \times 1000}{V} \quad \text{Ecu.19}$$

$$DBO_{inicial} = \frac{(30,20 - 8,1) \times 0,025 \times 8 \times 1000}{296}$$

$$DBO_{inicial} = 14,932 \frac{mg}{l}$$

Dilución = 10ml de agua residual en 1000ml de agua destilada

Factor de dilución = 100

$$DBO_{inicial} = 14,932 \times 100$$

$$DBO_{inicial} = 1493,2 \frac{mg}{l}$$

DBO después de agregar el material biológico.

$$DBO_{final} = \frac{(6 - 4,8) \times 0,025 \times 8 \times 1000}{296}$$

$$DBO_{final} = 0,8108 \frac{mg}{L}$$

Factor de dilución = 100

$$DBO_{final} = 0,8108 \times 100 = 81,08 \frac{mg}{L}$$

Este resultado nos indica que el material biológico es útil para ser utilizado en el diseño.

Además se estableció un índice de biodegradabilidad, al relacionar el valor promedio de DBO, con el valor promedio de DQO obtenidos en los análisis de laboratorio:

$$IB = \frac{DBO}{DQO} \quad \text{Ecu. 20}$$

Donde:

IB: Índice de biodegradabilidad

DBO: valor promedio de la DBO

DQO: valor promedio de la DQO

$$IB = \frac{1838,75}{2235,33} = 0,822$$

Cuando este valor es superior a 0.4 nos indica que el agua residual es susceptible de ser degradada por métodos biológicos. Si el valor es menor a 0.4 esta agua no podría ser tratada por este tipo de métodos, por lo tanto con este

resultado del índice de biodegradabilidad nos confirma que el material biológico es útil para ser utilizado en el diseño, por lo tanto se dimensionó el tanque para tratamiento secundario.

### 3.4.2. Dimensionamiento del tanque

Primeramente se calculó el volumen del tanque asumiendo un tiempo de retención de una hora dado en la tabla VII pág. 57, y mediante la ecuación 15 pág. 58

$$V = 9,035 \frac{m^3}{h} \times 1h$$

$$V = 9,035m^3$$

Asumiendo una altura de 1m; con lo cual se asegura que exista una mayor área superficial necesaria para que se dé una mayor captación de oxígeno, y utilizando la ecuación 17 pág. 59 se obtendrá:

$$A = \frac{9,035m^3}{1m}$$

$$A = 9,035m^2$$

Además se calculó el ancho y largo del tanque con las ecuaciones 12 pág. 55 y ecuación 9 pág. 55 respectivamente.

$$An = \sqrt{\frac{9,035m^2}{3}}$$

$$An = 3,12m \Rightarrow 3,5m$$

$$Lg = 3 \times 3,12m$$

$$Lg = 9,36m \Rightarrow 9,5m$$

### 3.5. Resultados

**Tabla XIX.**  
Población Futura

RESULTADO DE POBLACION		
	VALORES	UNIDADES
población actual (Pa)	950	Habitantes
Índice anual (r)	0,004	
año actual	2008	
año futuro	2028	
periodo de tiempo (n)	20	Años
numero constante	1	
<b>población futura</b>	<b>1026</b>	<b>habitantes</b>

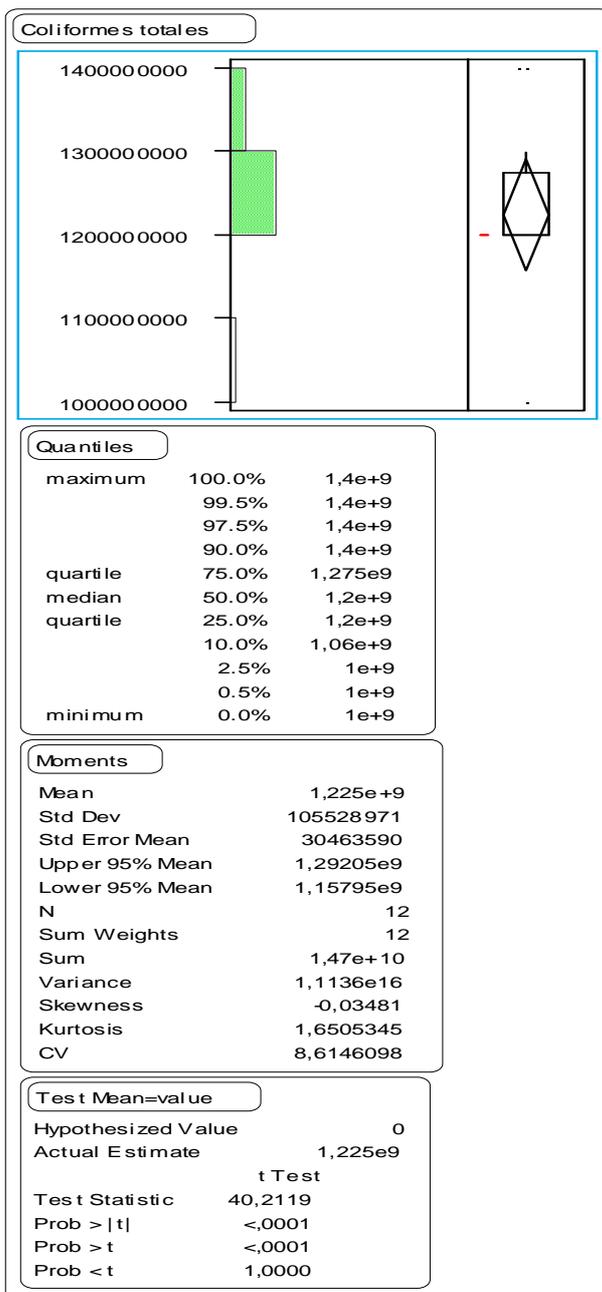
**Tabla XX.**  
Caudal de Diseño

CAUDAL DE DISEÑO		
	VALORES	UNIDADES
Población futura	1026	Habitantes
Caudal unitario	156,77	L / hab.día
<b>Caudal promedio</b>	<b>166,80</b>	<b>m<sup>3</sup>/día</b>
<b>Caudal de diseño</b>	<b>216,84</b>	<b>m<sup>3</sup>/día</b>
<b>Caudal de diseño</b>	<b>9,035</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>

### 3.5.1. Resultado del Análisis de Datos

Con la utilización del programa mencionado se obtuvieron los siguientes resultados de cada parámetro analizado en el agua residual.

#### Coliformes Totales



$$\tau = 0.05$$

$$v = 11$$

$$t \text{ teórico } (11,0.05) = 1.80$$

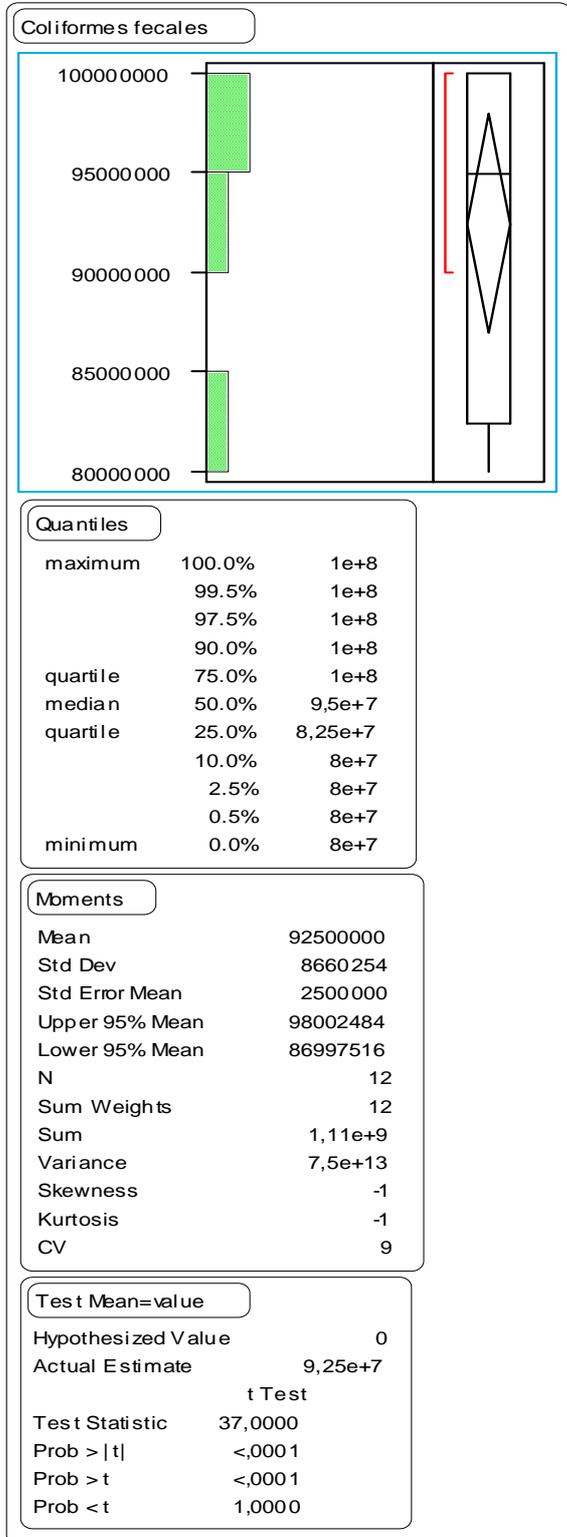
$$t \text{ experimental} = 40.2119$$

$$t \text{ expe} > t \text{ teórico}$$

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Coliformes fecales



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

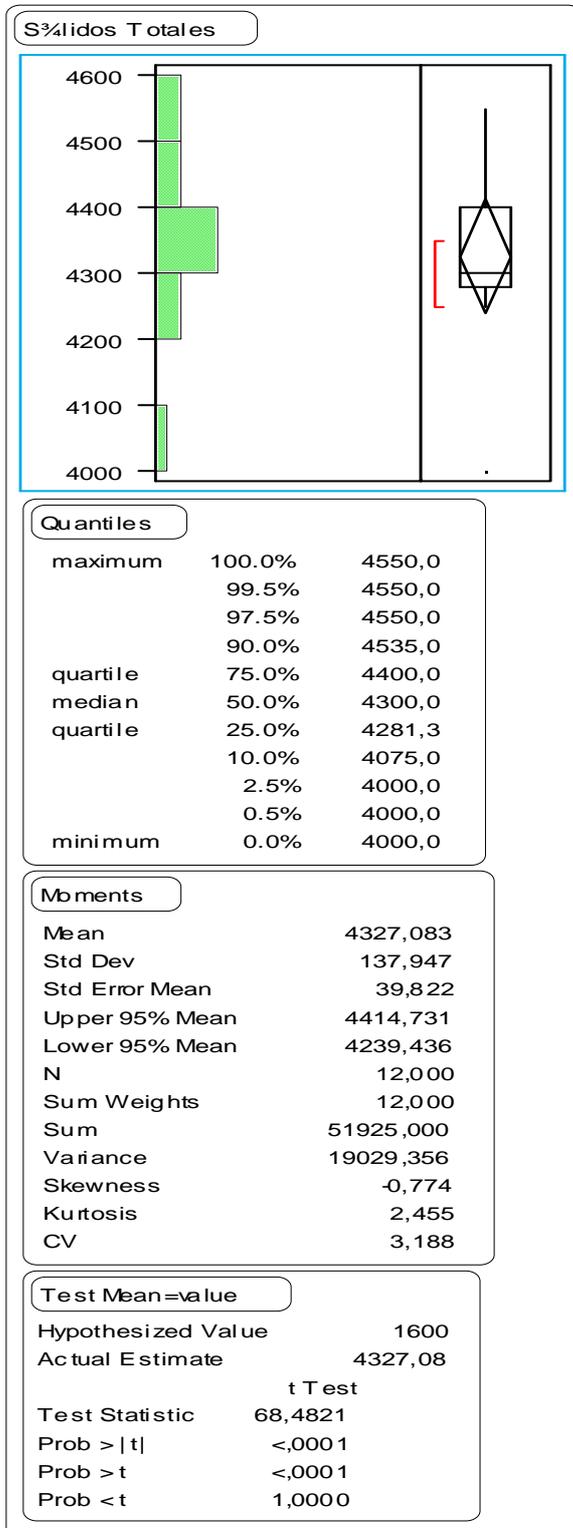
t experimental = 37.00

t expe > t teórico

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Sólidos totales.



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

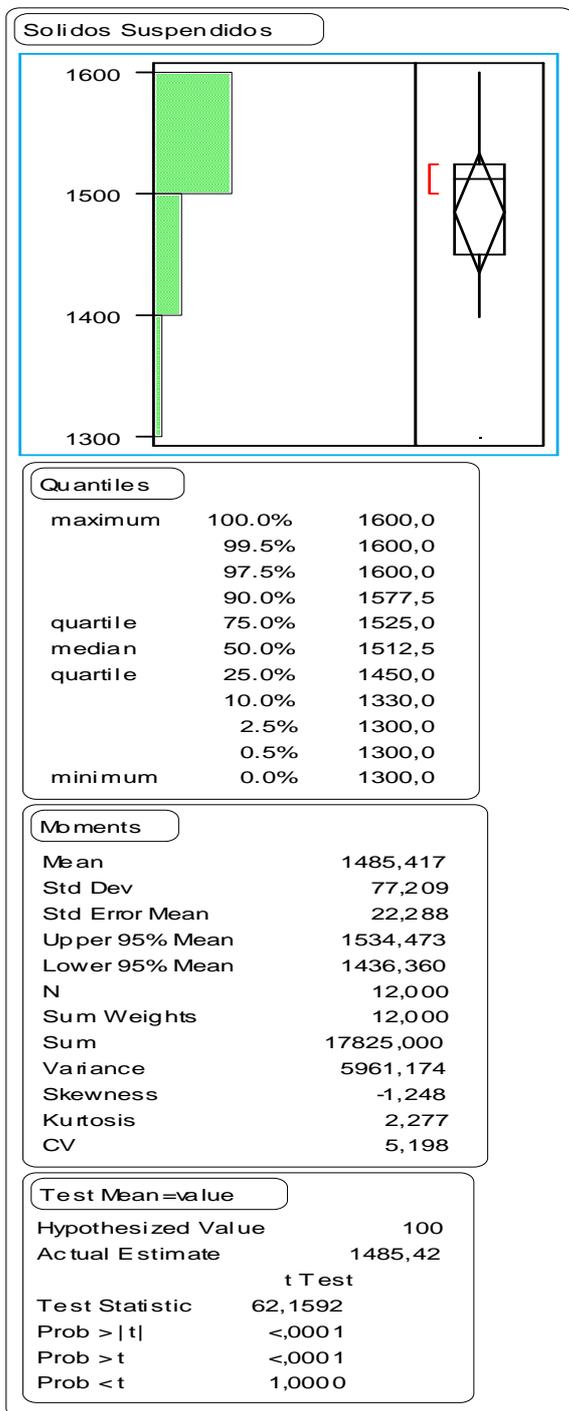
t experimental = 68.4821

t expe > t teórico

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Sólidos suspendidos



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

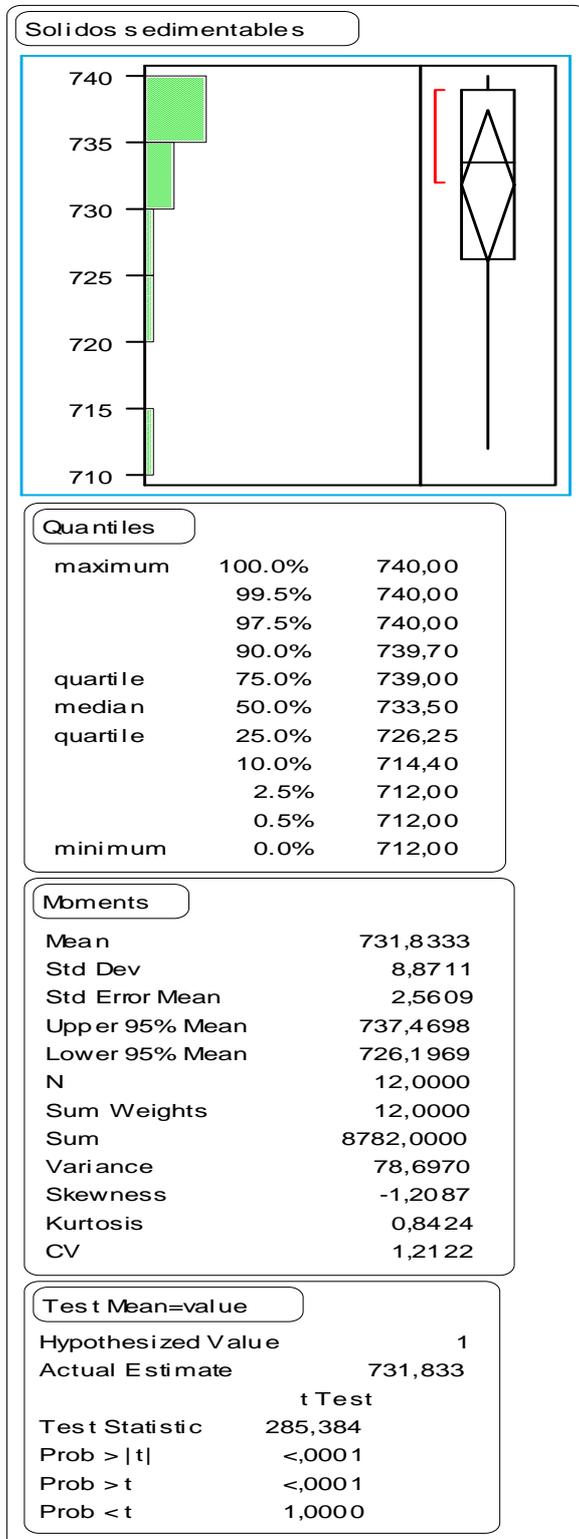
t experimental = 62.1592

t expe > t teórico

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Sólidos sedimentables



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

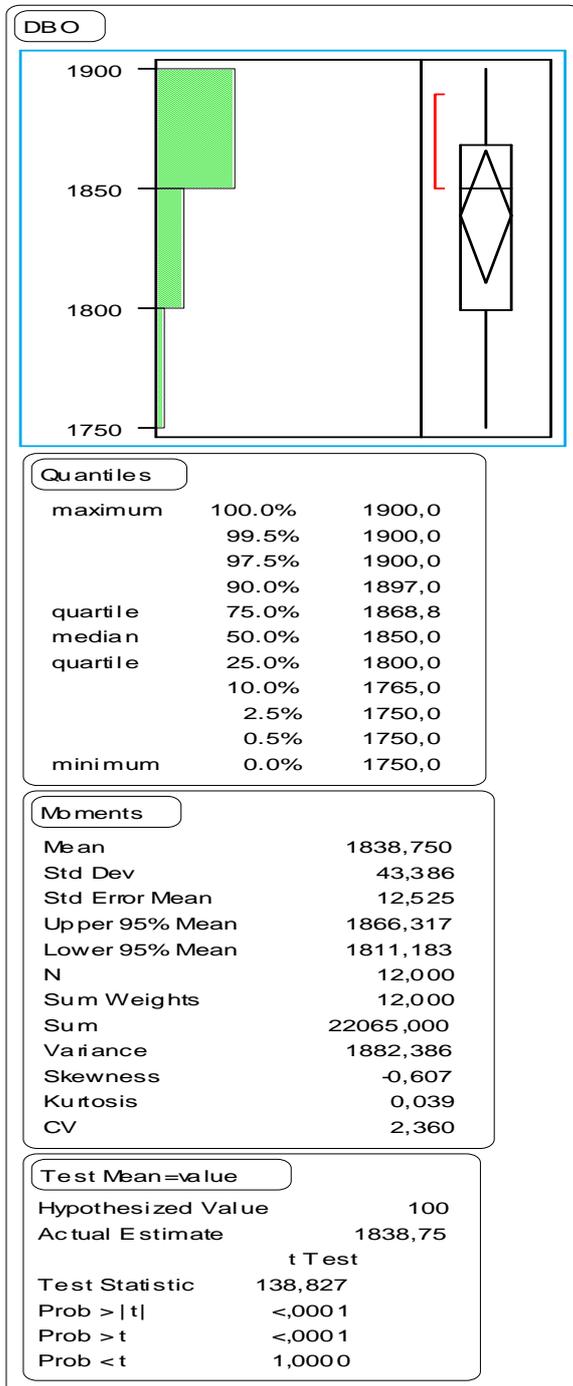
t experimental = 285.384

t expe > t teórico

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

DBO



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

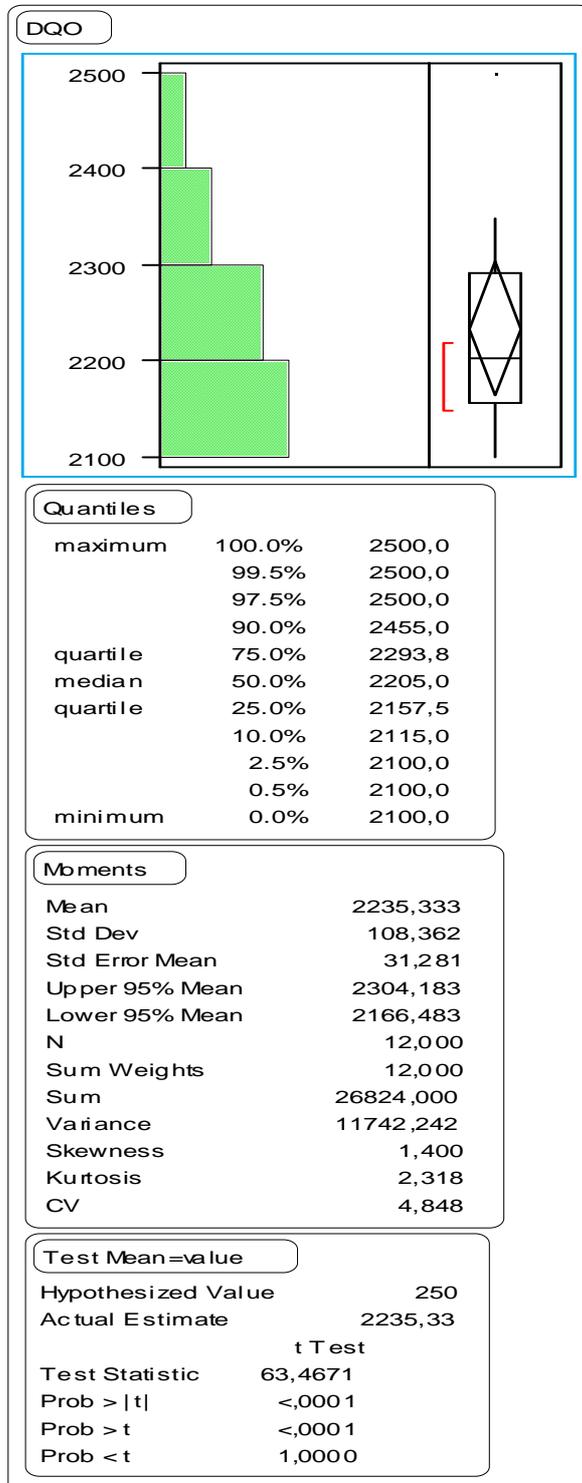
t experimental = 138.827

t expe > t teórico

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

DQO



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

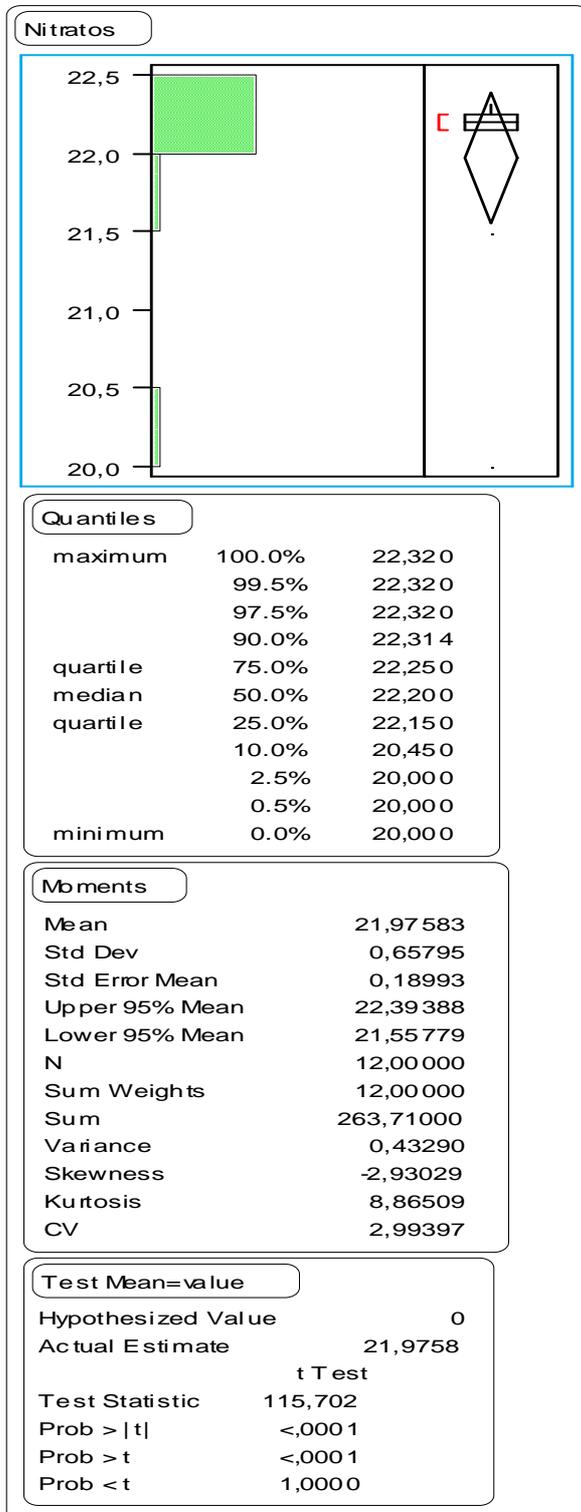
t experimental = 63.4671

t expe > t teórico

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Nitratos.



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

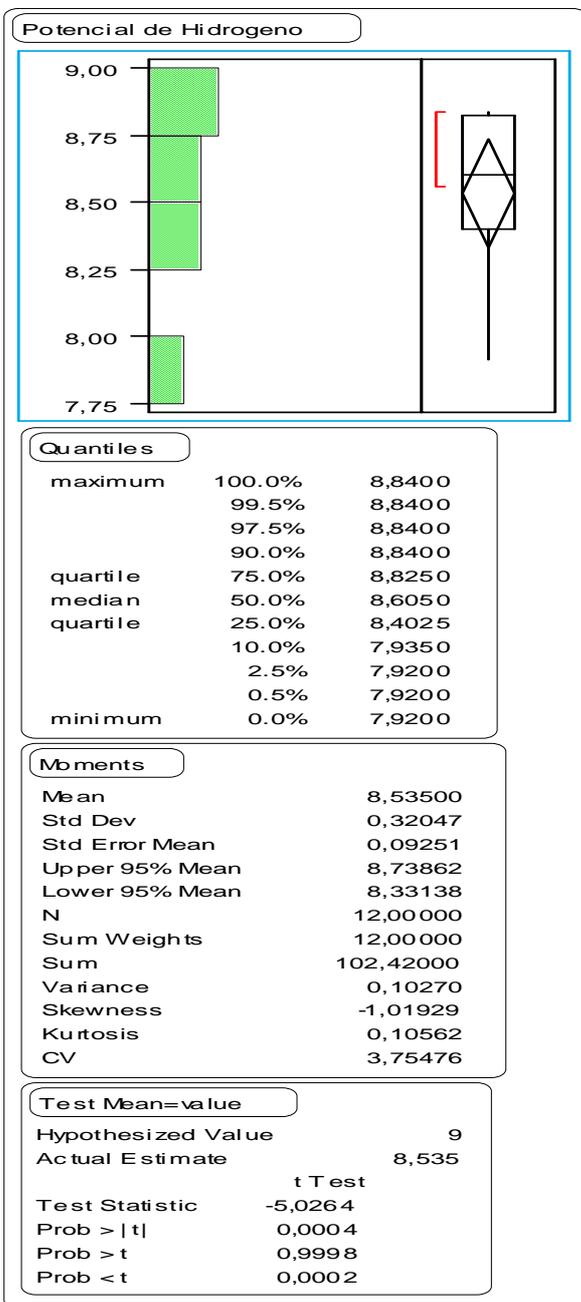
t experimental = 115.702

t expe > t teórico

Parámetro fuera del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Potencial de hidrógeno



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

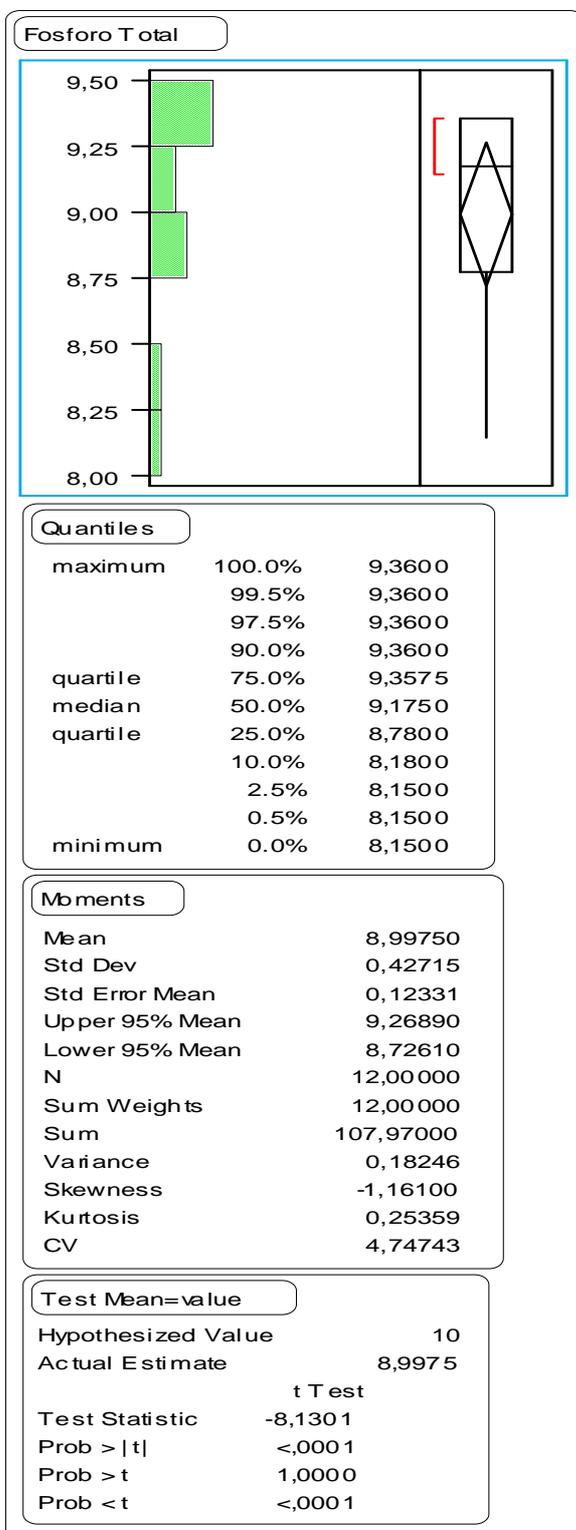
t experimental = -5.0264

t expe < t teórico

Parámetro dentro del  
límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

## Fósforo Total



$$\tau = 0.05$$

$$v = 11$$

$$t \text{ teórico } (11, 0.05) = 1.80$$

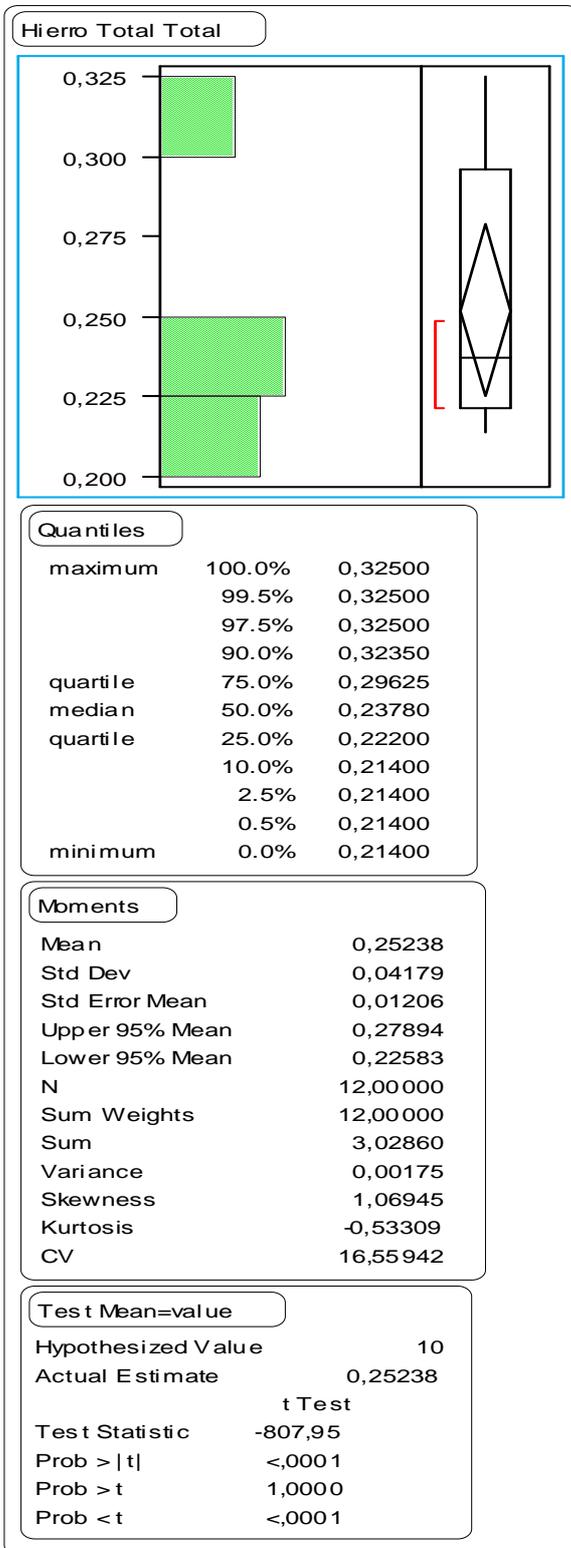
$$t \text{ experimental} = -8.1301$$

$$t \text{ expe} < t \text{ teórico}$$

Parámetro dentro del  
límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Hierro total



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

t experimental = -807.95

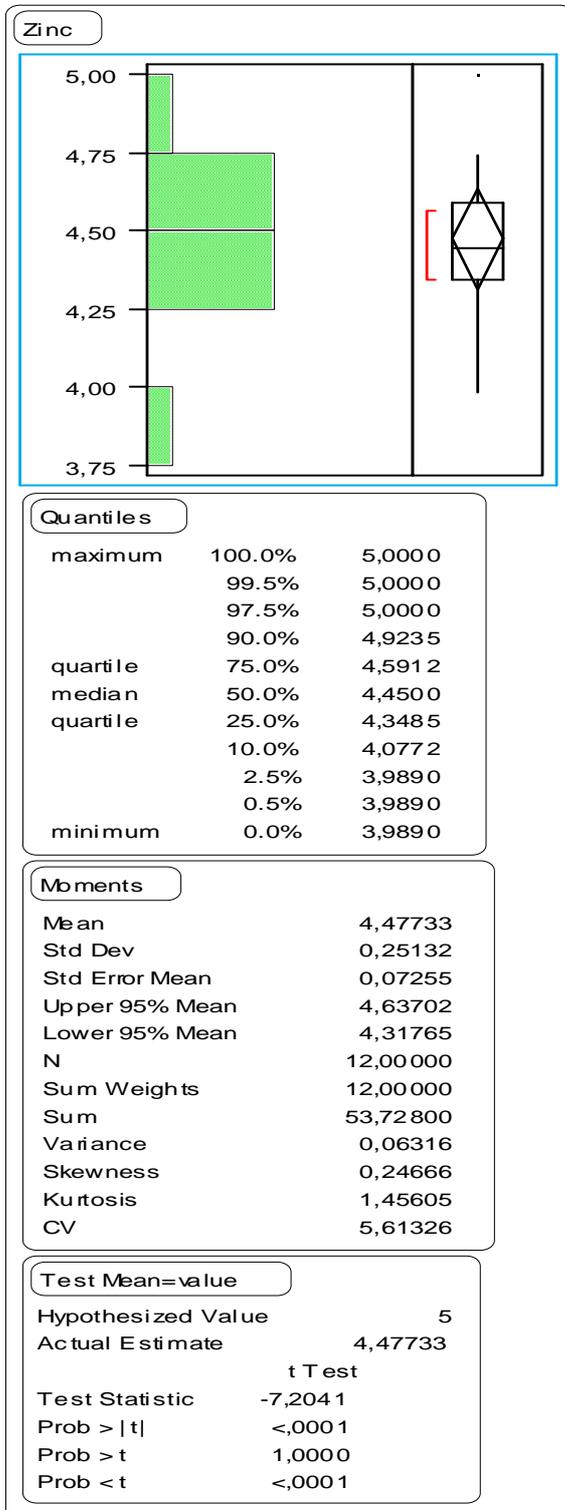
t expe < t teórico

Parámetro dentro del

límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Zinc



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

t experimental = -7.2041

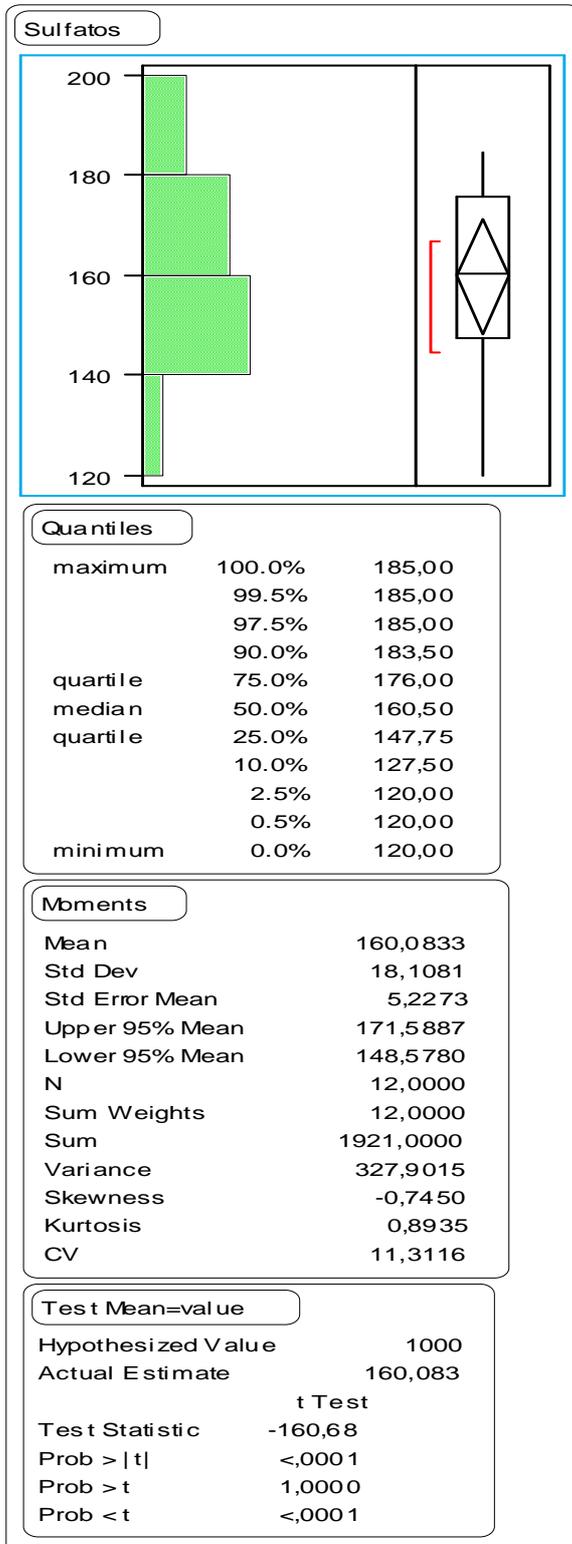
t expe < t teórico

Parámetro dentro del

límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

## Sulfatos



$$\tau = 0.05$$

$$v = 11$$

$$t \text{ teórico } (11, 0.05) = 1.80$$

$$t \text{ experimental} = -160.68$$

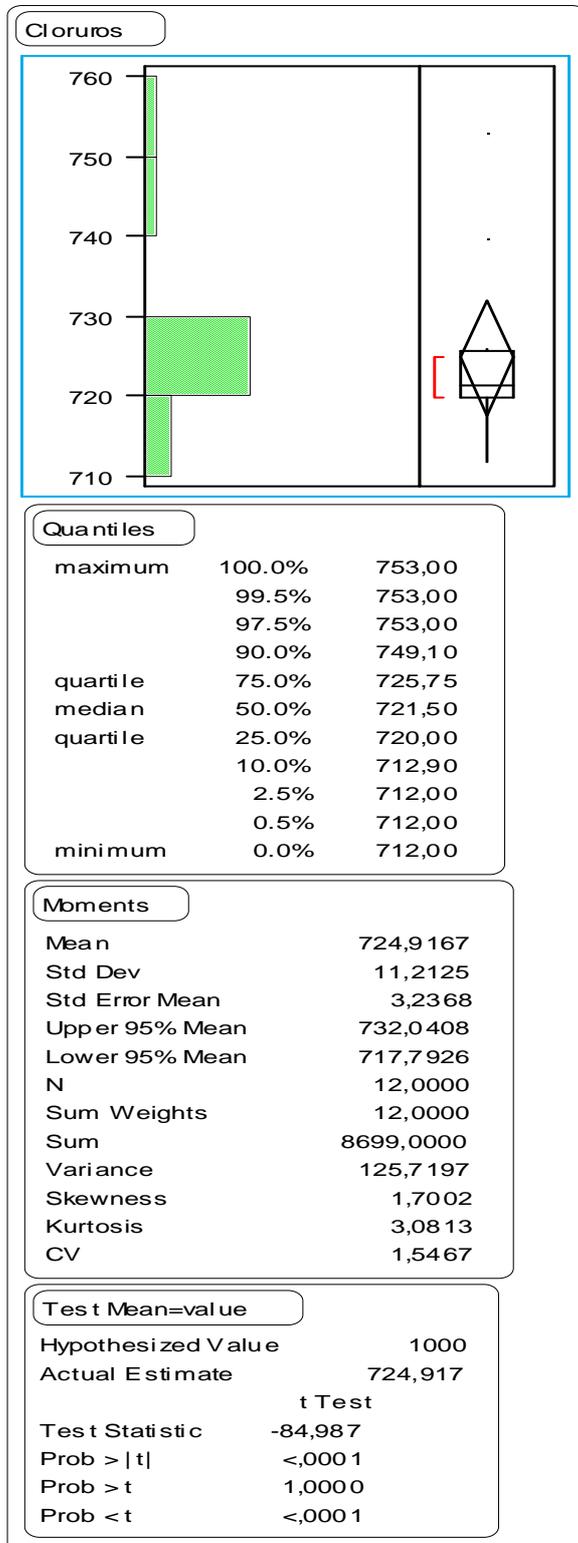
$$t \text{ expe} < t \text{ teórico}$$

Parámetro dentro del

límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Cloruros



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

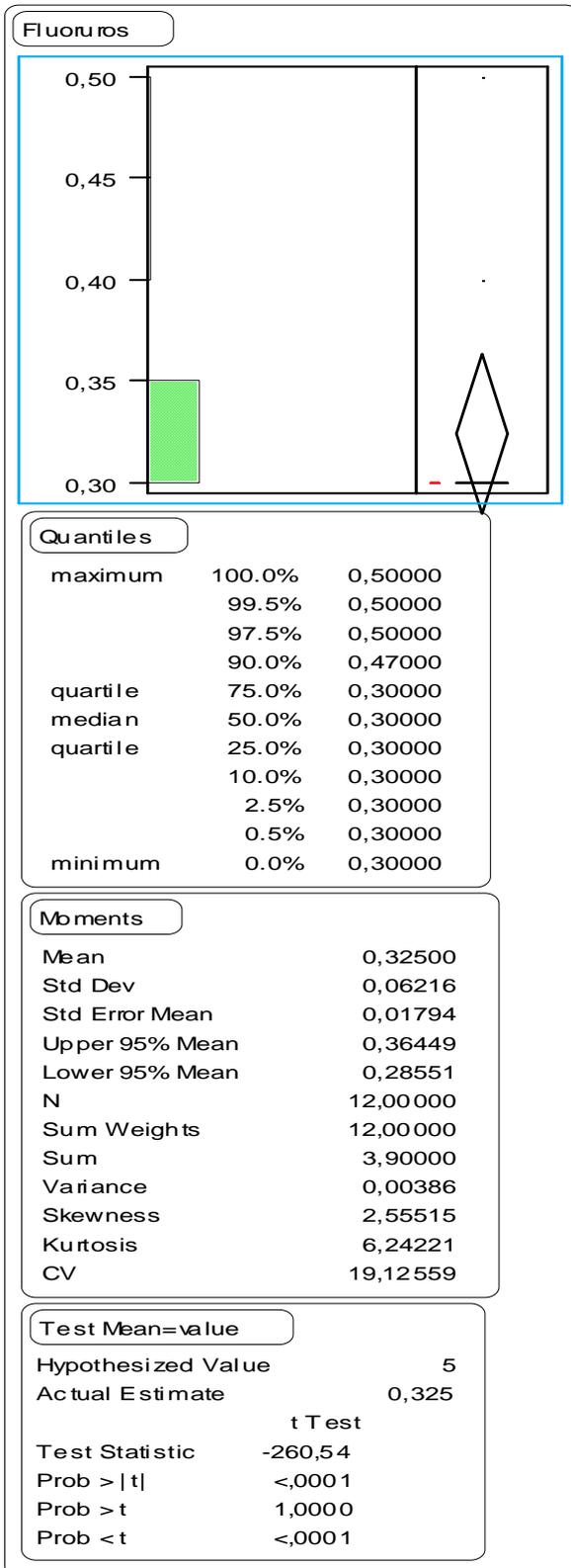
t experimental = -84.987

t expe < t teórico

Parámetro dentro del límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Fluoruros



$\tau = 0.05$

$v = 11$

t teórico (11,0.05) = 1.80

t experimental = -260.54

t expe < t teórico

Parámetro dentro del

límite

Bajo la norma TULAS tabla 11

Como se puede ver el análisis estadístico confirma que parámetros están dentro de norma y que parámetros están por encima de los límites permisibles, lo cual se representa en la siguiente tabla:

**Tabla XXI.**

Parámetros dentro y fuera de norma

PARÁMETROS DENTRO DE NORMA	Promedio	Límite Permisible	PARÁMETROS FUERA DE NORMA	Promedio	Límite Permisible
Potencial de Hidrógeno	8,54	5—9	Coliformes Totales (UFC)	1,23E+09	-
Fósforo Total (mg/L)	8,97	10	Coliformes Fecales (UFC)	9,25E+07	-
Hierro Total (mg/L)	0,25	10	Sólidos Totales (mg/L)	4327,08	1600
Zinc (mg/L)	4,45	5	Sólidos Suspendidos (mg/L)	1485,42	100
Sulfatos (mg/L)	160,08	1000	Sólidos Sedimentables (mg/L)	731,83	1
Cloruros (mg/L)	724,92	1000	DBO (mg/L)	1838,75	100
Fluoruros (mg/L)	0,50	5	DQO (mg/L)	2235,33	250
			Nitratos (mg/L)	21,97	-

\* De acuerdo a la Tabla 11 del TULAS, libro VI

### 3.5.2. Resultado del dimensionamiento de Rejillas

Como se puede observar el valor obtenido de velocidad en la págxxx se encuentra dentro de los rangos propuestos en la bibliografía, entonces para determinar las dimensiones propias de las rejillas se hará referencia a la tabla III, pág. 50, la cual propone un rango para las principales dimensiones de todo el sistema, en caso de rejillas manuales.

**Tabla XXII.**

Dimensiones para el proyecto de rejas de barras de limpieza manual

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>LIMPIEZA MANUAL</b>
Tamaño de la barra:	
Anchura, mm	6
Profundidad, mm	32
Separación entre barras, mm	30
Pendiente en relación a la vertical, grados	30
Velocidad de aproximación, m/s	150
Velocidad de paso a través de la reja m/s	1,24
Pérdida de carga admisible, mm	150

### 3.5.3. Resultados de las dimensiones de los tanques de tratamiento

**Tabla XXIII.**

Dimensiones de los tanques de tratamiento primario y secundario

<b>Dimensiones</b>	<b>Tanque de tratamiento primario</b>	<b>Tanque de tratamiento secundario</b>
Área (m <sup>2</sup> )	5,02	9,035
Ancho (m)	2	3,5
Largo (m)	6	9,5
Altura (m)	1,5	1

### **3.6. Dispositivos adicionales**

- A la entrada del tanque de sedimentación se colocará un vertedero para reducir la velocidad con la que llega el agua por aumento del caudal, y así evitar turbulencia y lograr una buena sedimentación de los sólidos.
- Se colocará también canaletas de bypass alrededor del tanque para recoger el exceso de caudal y de esta manera evitar sobresaturación de la planta.
- A la salida de los dos tanques se utilizará tubería de PVC la cual estará ubicada a 30cm de la parte superior de cada tanque para que cuando se tenga poco volumen de agua, esta salga sin problema de cada tanque, especialmente en los primeros años de utilización de la planta dado que se suele trabajar con caudales inferiores a los proyectados.

### **3.7. Disposición de lodos**

Todos los lodos recolectados, al igual que los residuos que se encuentren en las rejillas, serán depositados en forma de pilas, en un área de compostaje.

Esta área consistirá en una losa de cemento, en donde los lodos perderán su humedad. Para esto deberán poseer una cubierta que evite el ingreso de lluvia.

Esta losa deberá poseer una cierta inclinación de alrededor del 1%, lo que permitirá que la humedad sea recogida en unos canales perimetrales para ser enviada de vuelta al sistema de tratamiento.



# **CAPITULO IV**

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que el caudal de diseño es  $9,035\text{m}^3/\text{h}$ .
- Se determinó que los parámetros que están fuera de norma son: Coliformes Totales con  $1,23\text{E}+09$  (UFC), Coliformes fecales con  $9,25\text{E}+07$  (UFC), Sólidos totales con  $4327,08$  (mg/L), Sólidos suspendidos  $1485,42$  (mg/L), Sólidos sedimentables  $731,83$  (mg/L), DBO con  $1838,75$ (mg/L), DQO con  $2235,33$  (mg/L) y Nitratos con  $21,98$  (mg/L).
- El diseño constará de un tratamiento preliminar mediante rejillas con una separación libre entre barras de  $30$ (mm), anchura de  $6$ mm, profundidad de  $30$ mm; para retener los sólidos de mayor volumen como son plásticos, trapos, ramas, etc, lo cual nos ayudará a obtener un mejor rendimiento de la planta; como tratamiento primario tenemos el tanque de sedimentación, y como tratamiento secundario tenemos la utilización del material biológico Consume Pow con el cual se logrará disminuir la carga orgánica del agua residual.

- Las dimensiones del tanque de sedimentación serán las siguientes:  $A= 5,02\text{m}^2$ ;  $A_n= 2\text{m}$ ;  $L_g= 6\text{m}$ ;  $h= 1,5\text{m}$ , las dimensiones del tanque para el tratamiento secundario será:  $A= 9,035 \text{ m}^2$ ,  $A_n= 3,5\text{m}$ ,  $L_g= 9,5\text{m}$ ,  $h = 1\text{m}$

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Considerar por parte del Ilustre Municipio del Cantón Baños, la posibilidad de implementar el sistema de tratamiento de agua residual en la comunidad de Juive Chico – La Pampa, para mejorar la calidad de agua que será descargada al ambiente.
- Es necesario motivar e incentivar de manera oportuna a cada uno de los moradores de la comunidad de Juive Chico – La Pampa, para lograr una participación masiva en el uso y protección adecuada del recurso tan preciado que es el agua.
- Llevar un registro de control del agua en todo el proceso, y de cada punto de muestreo del sistema.
- Realizar una limpieza y desinfección total de los tanques por lo menos durante cada dos meses con personal capacitado, para garantizar un buen funcionamiento y durabilidad de la planta de tratamiento.

## RESUMEN

Se diseñó una planta de tratamiento de aguas residuales en Juive Chico – La Pampa, cantón Baños, provincia de Tungurahua, para mitigar el impacto ambiental producido por su descarga en el río Pastaza.

Se tomó muestras de agua residual, para los análisis cuyos datos de Coliformes Totales, Coliformes fecales, Sólidos totales, Sólidos suspendidos, Sólidos sedimentables, DBO, DQO y Nitratos sobrepasan los límites permitidos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

Esta planta contendrá: rejillas que permitirá retener sólidos de mayor volumen; un tanque de sedimentación con dimensiones:  $A= 5,02 \text{ m}^2$ ;  $A_n= 2\text{m}$ ;  $L_g= 6\text{m}$ ;  $h= 1,5\text{m}$ , en el que se precipitarán los sólidos de menor tamaño; un tanque secundario de dimensiones  $A= 9,035 \text{ m}^2$ ,  $A_n= 3,5\text{m}$ ,  $L_g= 9,5\text{m}$ ,  $h = 1\text{m}$ , donde se adiciona el material biológico Consume Pow en cantidades equivalentes al caudal a ser tratado, el cual tiene la propiedad de degradar materia orgánica disminuyendo la DBO de  $1493,2 \text{ mg/L}$  a  $81,08 \text{ mg/L}$ , lográndose que el agua se descontamine y esté en condiciones de ser vertida al río Pastaza.

Si esta planta se implementare se lograría mantener límites bajos de contaminación, además se estaría usando un método de descontaminación biológico (Consume Pow); su tiempo de vida útil es de 30 años considerando que la población tiene una tasa de crecimiento anual del 0,004, con esto se garantizaría su utilidad.

Se recomienda al Municipio de Baños que ésta planta sea implementada para mejorar la calidad de agua que se vierte al río Pastaza.

## SUMARY

A treatment plant of residual water was designed in Juive Chico – La Pampa, Baños canton, Tungurahua province to mitigate the environmental impact produced by their discharge in the Pastaza River.

Residual water samples were taken for the analyses whose data of Total Coliforms, Fecal Coliforms, Total Solids, Suspend Solids, Sediments Solids, DBO, DQO, and Nitrates surpass the permitted limits by the Unified Text of the Secondary Environmental Legislation (TULAS).

This plant will consist of grilles to retain the higher –volume solids; a sedimentation tank with the dimensions of  $A = 5,02 \text{ m}^2$ ;  $A_n = 2\text{m}$ ;  $L_g = 6\text{m}$  and  $h = 1,5\text{m}$ , in which the minor- size solids will precipitate; a secondary tank with the dimensions of  $A = 9,035 \text{ m}^2$ ,  $A_n = 3,5\text{m}$ ,  $L_g = 9,5\text{m}$  and  $h = 1\text{m}$  where the Biological material Consume Pow is added in quantities equivalent to the volume to be treated which has then feature of degrading organic matter diminishing the DBO from  $1493,2 \text{ mg/L}$  down to  $81,08 \text{ mg/L}$ , resulting in a water decontamination and a condition to flow into the Pastaza river.

If this plant were implemented, it would be possible to maintain the low pollution limits; moreover a biological decontamination method (Consume Pow) would be used its useful life time is 30 years considering that the population has a year growth rate of 0.004, with this its use would be guaranteed.

The Baños Municipality is recommended to implement this plant to improve the water quality flowing into the Pastaza river.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

1. A.R.M.A.; (1987) (Agencia Regional de Medio Ambiente); "Plan piloto de depuración de aguas residuales urbanas, aplicado a pequeños núcleos de población"; Excma. Diputación Regional de Cantabria; Cátedra de Ingeniería Sanitaria, Universidad de Cantabria, Santander.
2. BENAYAS, J. El Agua, Guía para educación ambiental. Primera Edición, Bogotá Colombia, Mc Graw Hill. 1989. p.5.
3. CRITES. Tratamientos de aguas residuales, Primera ed, Bogotá Colombia, Mc Graw-Hill. 2000, p. 25.
4. ECUADOR, MUNICIPIO DEL CANTÓN BAÑOS, Actualización del estudio de factibilidad y diseños definitivos del proyecto de agua potable para la ciudad de Baños de Agua Santa, *Características Climáticas y Ambientales/Clima*. 2006, p. (pp.10-12).
5. Feachem, R. Consulta para Evaluación Ambiental. Volumen II. Nueva York, McGarry. 1977, p. (pp.87-88).

6. Gordon M. Fair, John C. Geyes, Daniel A. Okum. Purificación de aguas y tratamientos y remoción de aguas residuales, España, Editorial limusa, primera edición, 1973. p.10.
  
7. MENDONCA, S.R. Sistemas de Lagunas de Estabilización, s.ed. Bogotá Colombia, Mc Graw Hill, 2000, p.(pp.1-2), p.4, p.(pp.6-10), p.(pp.15-17).
  
8. METCALF & EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales, 3ª ed. España, Mc Graw Hill, 1995. p. (pp 41-42), p. (pp 50-60), p. 510.
  
9. RIGOLA M, LAPEÑA B. Tratamiento de aguas industriales, s.ed. México, Editorial Limusa, 1998, p.21

## INTERNET

10. AVANCES DE BIOTECNOLOGÍA EN ECUADOR Consume Pow.

[http://www.spartanecuador.com/websp/index.php?view=article&catid=52%3Anoticias&id=117%Avancesbiotecnología&option=com\\_content&Itemid=98](http://www.spartanecuador.com/websp/index.php?view=article&catid=52%3Anoticias&id=117%Avancesbiotecnología&option=com_content&Itemid=98).

2008

11. CICLO DEL AGUA

<http://www.clubdelamar.org/ciclo.htm>.

2006

12. EL AGUA FUENTE DE VIDA.

<http://www.clubdelamar.org/elagua.htm>

2008

13. GENERALIDADES DEL AGUA RESIDUAL

<http://www.aqualatinuamerica.com/docs/PDF/DeLaLaveSepOct02.pdf>

2002

14. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

<http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/tipostratamientos.html>

2006

# **Anexos**

## ANEXO B

### Datos de contaminación del agua residual.

Al realizar la caracterización física, química y microbiológica del agua residual se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla XXIV.**

Caracterización física, química y microbiológica del agua residual de Juive Chico –La Pampa.

PARAMETROS	PRIMERA SEMANA			SEGUNDA SEMANA			TERCERA SEMANA			CUARTA SEMANA			LÍMITE PERMISIBLE
	RESULTADO												
Coliformes totales	12x10 <sup>8</sup>	14x10 <sup>8</sup>	10x10 <sup>8</sup>	12x10 <sup>8</sup>	12x10 <sup>8</sup>	12x10 <sup>8</sup>	13x10 <sup>8</sup>	14x10 <sup>8</sup>	12x10 <sup>8</sup>	12x10 <sup>8</sup>	12x10 <sup>8</sup>	12x10 <sup>8</sup>	-
Coliformes fecales	9x10 <sup>7</sup>	10x10 <sup>7</sup>	9x10 <sup>7</sup>	10x10 <sup>7</sup>	10x10 <sup>7</sup>	10x10 <sup>7</sup>	8x10 <sup>7</sup>	9x10 <sup>7</sup>	8x10 <sup>7</sup>	8x10 <sup>7</sup>	10x10 <sup>7</sup>	10x10 <sup>7</sup>	-
Potencial de hidrógeno	8,45	8,44	8,78	8,84	8,84	7,92	8,39	8,56	8,74	8,65	7,97	8,84	5—9
Sólidos totales	4250	4300	4500	4400	4300	4300	4000	4300	4550	4350	4275	4400	1600
Sólidos suspendidos	1400	1525	1450	1525	1525	1525	1300	1525	1600	1500	1450	1500	100
DBO	1800	1850	1850	1900	1850	1800	1890	1850	1750	1850	1800	1875	100
DQO	2150	2210	2500	2300	2200	2180	2100	2220	2189	2350	2275	2150	250
Nitratos	20	21,5	22,3	22,15	22,2	22,25	22,2	22,32	22,15	22,25	22,18	22,21	-
Fósforo total	8,15	9,36	8,25	9,25	9,35	9,15	9,2	8,75	8,92	8,87	9,36	9,36	10
Hierro total	0,23	0,214	0,222	0,222	0,32	0,242	0,234	0,312	0,249	0,245	0,214	0,325	10
Zinc	4,500	4,565	4,350	4,400	4,550	3,989	5	4,6	4,745	4,398	4,283	4,348	5
Sulfatos	180	120	145	167	145	156	165	167	179	185	156	156	1000
Cloruros	740	720	715	723	753	712	725	720	726	725	720	720	1000
Fluoruros	0.4	< 0,3	0,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	5
Sólidos sedimentables	740	739	712	732	739	732	735	720	730	739	739	725	1

## ANEXO C

**Tabla XXV.  
Concentraciones de Sólidos Totales**

Sólidos Totales				
Días Semanas	LUNES	MIERCOLES	VIERNES	$\sum Y_i$
1	4250	4300	4500	13050
2	4400	4300	4300	13000
3	4000	4300	4550	12850
4	4350	4275	4400	13025
$\sum Y_j$	17000	17175	17750	<b>51925</b>

**Tabla XXVI  
Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	209323
<b>SCTr</b>	8073
<b>SCB</b>	76979
<b>SCE</b>	124271

**Tabla XXVII  
Análisis de Varianza**

Factor de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Razón de varianza (RV) o (F)	F
DÍAS	2	8073	4036,5	0,19	5,14
SEMANAS	3	76979,2	25659,7	1,24	4,76
ERROR	6	124271	20711,8		
TOTAL	11	209323	19029,4		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla. XXVIII**  
**Concentraciones de coliformes Totales**

Coliformes Totales				
Días	LUNES	MIERCOLES	VIERNES	$\sum Y_i$
Semanas				
1	1,20E+09	1,40E+09	1,00E+09	3,60E+09
2	1,20E+09	1,20E+09	1,20E+09	3,60E+09
3	1,30E+09	1,40E+09	1,20E+09	3,90E+09
4	1,20E+09	1,20E+09	1,20E+09	3,60E+09
$\sum Y_j$	4,90E+09	5,20E+09	4,60E+09	<b>1,47E+10</b>

**Tabla XXIX**  
**Suma de Cuadrados**

SCT	1,23E+17
SCTr	2,25E+16
SCB	4,50E+16
SCE	5,50E+16

**Tabla XXX**  
**Análisis de Varianza**

Factor de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Razón de varianza (RV)	F
DÍAS	2	2,25E+16	1,13E+16	1,23	5,14
SEMANAS	3	4,50E+16	1,50E+16	1,64	4,76
ERROR	6	5,50E+16	9,17E+15		
TOTAL	11	1,23E+17	1,11E+16		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico

**Tabla XXXI**  
**Concentraciones de Coliformes Fecales**

Coliforme Fecales				
Días	LUNES	MIERCOLES	VIERNES	$\sum Y_i$
Semanas				
1	9,00E+07	1,00E+08	9,00E+07	2,80E+08
2	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08	3,00E+08
3	8,00E+07	9,00E+07	8,00E+07	2,50E+08
4	8,00E+07	1,00E+08	1,00E+08	2,80E+08
$\sum Y_j$	3,50E+08	3,90E+08	3,70E+08	<b>1,11E+09</b>

**TablaXXXII**  
**Suma de Cuadrados**

SCT	8,25E+14
SCTr	4,25E+14
SCB	2,00E+14
SCE	2,00E+14

**Tabla XXXIII**  
**Análisis de Varianza**

Factor de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Razón de varianza (RV)	F
DÍAS	2	4,25E+14	2,13E+14	6,38	5,14
SEMANAS	3	2,00E+14	6,67E+13	2,00	4,76
ERROR	6	2,00E+14	3,33E+13		
TOTAL	11	8,25E+14	7,50E+13		

Para el caso de los días semanas el F calculado es menor al F de tablas y en el caso de las semanas el F calculado es mayor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico ya que la significancia no existe en los días.

**Tabla XXXIV  
Concentraciones de pH.**

<b>Potencial de Hidrógeno</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\sum Y_i$
Semanas				
1	8,45	8,44	8,78	25,67
2	8,84	8,84	7,92	25,6
3	8,39	8,56	8,74	25,69
4	8,65	7,97	8,84	25,46
$\sum Y_j$	34,33	33,81	34,28	<b>102,42</b>

**Tabla XXXV  
Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	1,130
<b>SCTr</b>	0,011
<b>SCB</b>	0,041
<b>SCE</b>	1,078

**Tabla XXXVI  
Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	0,011	0,005	0,03	5,14
SEMANAS	3	0,041	0,014	0,08	4,76
ERROR	6	1,078	0,180		
TOTAL	11	1,130	0,103		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico

**Tabla XXXVII  
Concentraciones de Sólidos Suspendidos**

<b>Sólidos Suspendidos</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	1400	1525	1450	4375
2	1525	1525	1525	4575
3	1300	1525	1600	4425
4	1500	1450	1500	4450
$\Sigma Y_j$	5725	6025	6075	<b>17825</b>

**Tabla XXXVIII  
Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	65572,92
<b>SCTr</b>	7239,58
<b>SCB</b>	17916,67
<b>SCE</b>	40416,67

**Tabla XXXIX  
Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	7239,583	3619,792	0,54	5,14
SEMANAS	3	17916,667	5972,222	0,89	4,76
ERROR	6	40416,667	6736,111		
TOTAL	11	65572,917	5961,174		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla XL**  
**Concentraciones de Sólidos Sedimentables**

<b>Sólidos Sedimentables</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\sum Y_i$
Semanas				
1	740	739	712	2191
2	732	739	732	2203
3	735	720	730	2185
4	739	739	725	2203
$\sum Y_j$	2946	2937	2899	<b>8782</b>

**Tabla XLI**  
**Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	865,67
<b>SCTr</b>	81,00
<b>SCB</b>	311,17
<b>SCE</b>	473,50

**Tabla XLII**  
**Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	81,000	40,500	0,51	5,14
SEMANAS	3	311,167	103,722	1,31	4,76
ERROR	6	473,500	78,917		
TOTAL	11	865,667	78,697		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla XLIII  
Concentraciones de DBO**

<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	1800	1850	1850	5500
2	1900	1850	1800	5550
3	1890	1850	1750	5490
4	1850	1800	1875	5525
$\Sigma Y_j$	7440	7350	7275	<b>22065</b>

**Tabla XLIV  
Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	20706,25
<b>SCTr</b>	722,92
<b>SCB</b>	3412,50
<b>SCE</b>	16570,83

**Tabla XLV  
Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	722,917	361,458	0,13	5,14
SEMANAS	3	3412,500	1137,500	0,41	4,76
ERROR	6	16570,833	2761,806		
TOTAL	11	20706,250	1882,386		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla XLVI**  
**Concentraciones de DQO**

<b>Demanda Química de Oxígeno</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	2150	2210	2500	6860
2	2300	2200	2180	6680
3	2100	2220	2189	6509
4	2350	2275	2150	6775
$\Sigma Y_j$	8900	8905	9019	<b>26824</b>

**Tabla XLVII**  
**Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	129164,67
<b>SCTr</b>	22654,00
<b>SCB</b>	2265,17
<b>SCE</b>	104245,50

**Tabla XLVIII**  
**Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	22654,000	11327,000	0,65	5,14
SEMANAS	3	2265,167	755,056	0,04	4,76
ERROR	6	104245,500	17374,250		
TOTAL	11	129164,667	11742,242		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla XLIX  
Concentraciones de Nitratos**

<b>Nitratos</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	20	21,5	22,3	63,8
2	22,15	22,2	22,25	66,6
3	22,2	22,32	22,15	66,67
4	22,25	22,18	22,22	66,65
$\Sigma Y_j$	86,6	88,2	88,92	<b>263,72</b>

**Tabla L  
Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	4,77
<b>SCTr</b>	2,02
<b>SCB</b>	0,71
<b>SCE</b>	2,04

**Tabla LI  
Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	2,017	1,009	2,96	5,14
SEMANAS	3	0,705	0,235	0,69	4,76
ERROR	6	2,044	0,341		
TOTAL	11	4,767	0,433		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla LII**  
**Concentraciones de Fósforo Total**

<b>Fósforo Total</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	8,15	9,36	8,25	25,76
2	9,25	9,35	9,15	27,75
3	9,2	8,75	8,92	26,87
4	8,87	9,36	9,36	27,59
$\Sigma Y_j$	35,47	36,82	35,68	<b>107,97</b>

**Tabla LIII**  
**Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	2,01
<b>SCTr</b>	0,82
<b>SCB</b>	0,26
<b>SCE</b>	0,92

**Tabla LIV**  
**Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	0,822	0,411	2,67	5,14
SEMANAS	3	0,264	0,088	0,57	4,76
ERROR	6	0,922	0,154		
TOTAL	11	2,007	0,182		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla LV**  
**Concentraciones de Hierro Total**

Hierro Total				
Días	LUNES	MIERCOLES	VIERNES	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	0,23	0,214	0,222	0,666
2	0,222	0,32	0,2416	0,7836
3	0,234	0,312	0,249	0,795
4	0,245	0,214	0,325	0,784
$\Sigma Y_j$	0,931	1,06	1,0376	<b>3,0286</b>

**Tabla LVI**  
**Suma de Cuadrados**

SCT	0,02
SCTr	0,00
SCB	0,00
SCE	0,01

**Tabla LVII**  
**Análisis de Varianza**

Factor de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Razón de varianza (RV)	F
DÍAS	2	0,004	0,002	0,85	5,14
SEMANAS	3	0,002	0,001	0,36	4,76
ERROR	6	0,013	0,002		
TOTAL	11	0,019	0,002		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla LVIII  
Concentraciones de Zinc**

Zinc				
Días	LUNES	MIERCOLES	VIERNES	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	4,500	4,565	4,350	13,415
2	4,4	4,55	3,989	12,939
3	4,678	4,6	4,745	14,023
4	4,398	4,283	4,348	13,029
$\Sigma Y_j$	17,976	17,998	17,432	<b>53,406</b>

**Tabla LIX  
Suma de Cuadrados**

SCT	0,45
SCTr	0,24
SCB	0,05
SCE	0,16

**Tabla LX  
Análisis de Varianza**

Factor de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Razón de varianza (RV)	F
DÍAS	2	0,243	0,122	4,59	5,14
SEMANAS	3	0,051	0,017	0,65	4,76
ERROR	6	0,159	0,026		
TOTAL	11	0,453	0,041		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla LXI  
Concentraciones de Sulfatos**

<b>Sulfatos</b>				
Días	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	180	120	145	445
2	167	145	156	468
3	165	167	179	511
4	185	156	156	497
$\Sigma Y_j$	697	588	636	<b>1921</b>

**Tabla LXII  
Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	3606,92
<b>SCTr</b>	872,92
<b>SCB</b>	1492,17
<b>SCE</b>	1241,83

**Tabla LXIII  
Análisis de Varianza**

<b>Factor de variación (FV)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Razón de varianza (RV)</b>	<b>F</b>
DÍAS	2	872,917	436,458	2,11	5,14
SEMANAS	3	1492,167	497,389	2,40	4,76
ERROR	6	1241,833	206,972		
TOTAL	11	3606,917	327,902		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

**Tabla LXIV  
Concentración de cloruros**

Cloruros				
Días	LUNES	MIERCOLES	VIERNES	$\Sigma Y_i$
Semanas				
1	740	720	715	2175
2	723	753	712	2188
3	725	720	726	2171
4	725	720	720	2165
$\Sigma Y_j$	2913	2913	2873	<b>8699</b>

**Tabla LXV  
Suma de Cuadrados**

<b>SCT</b>	1382,92
<b>SCTr</b>	94,92
<b>SCB</b>	266,67
<b>SCE</b>	1021,33

**Tabla LXVI  
Tabla de Análisis de Varianza**

Factor de variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Razón de varianza (RV)	F
DÍAS	2	94,917	47,458	0,28	5,14
SEMANAS	3	266,667	88,889	0,52	4,76
ERROR	6	1021,333	170,222		
TOTAL	11	1382,917	125,720		

Para el caso de los días o semanas el F calculado es menor al F de tablas por lo tanto no existe significancia en los datos por lo tanto se puede utilizar todos los datos de cualquier día o semana para el análisis estadístico.

## ANEXO D

### Estimación de la cantidad de agua residual

#### Consumo de agua en la ducha

**Tabla LXVII**

Volumen utilizado por persona al utilizar la ducha.

Casas	Vol. por persona (L)
1	118
2	145
3	135
4	157
5	162
6	138
7	145
8	120
9	128
10	125
<b>Total</b>	<b>1373</b>
<b>Media</b>	<b>137,3</b>

La mayoría de las personas utilizan la ducha pasando un día. Entonces tenemos.

$$137,3l \times \frac{4 \text{ veces}}{\text{sem}} = 549,2 \frac{L}{\text{sem}} \times \frac{1 \text{ sem}}{7 \text{ días}} = 78,46 \frac{L}{\text{hab} \cdot d}$$

#### Consumo de agua en el servicio higiénico

Los servicios higiénicos tuvieron las siguientes dimensiones.

$$15 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} = 11400 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ dm}^3}{(10 \text{ cm})^3} = 11,4 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = L$$

$$11,4 L \times \frac{4 \text{ veces}}{\text{día}} = 45,6 L / \text{hab} .\text{día}$$

### Consumo de agua en el lavado de ropa

Para el lavado de ropa, utilizan el agua mediante el llenado de dos veces a la semana de un tanque cuyas dimensiones fueron:

**Tabla LXVIII.**

Dimensiones y volumen ocupado en los tanques de las 10 casas muestreadas.

Casas	lado "a"(m)	lado "b"(m)	lado "c"(m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen (dm <sup>3</sup> o L)
1	1	1,25	1	1,25	1250
2	1	1	1	1	1000
3	1	1	1	1	1000
4	1	1,2	1,1	1,32	1320
5	1	1	1	1	1000
6	1	1	1	1	1000
7	1	1	1	1	1000
8	1	1	1	1	1000
9	1,1	1	1,25	1,375	1375
10	1	1	1,15	1,15	1150
<b>Total</b>					11095
<b>media</b>					1109,5

$$1109,5 L \times \frac{2 \text{ veces}}{\text{sem}} = 2219 \frac{L}{\text{sem}} \times \frac{1 \text{ sem}}{7 \text{ días}} = 317 \frac{L}{\text{día}}$$

El promedio de personas que habitan en cada casa es de 4, entonces tenemos:

$$\frac{317 L / \text{día}}{4} = 79,25 \frac{L}{\text{hab} .\text{día}}$$

Consumo de agua en el lavado de la vajilla.

**Tabla LXIX.**  
Volumen ocupado en el lavado de la vajilla.

Casas	Volumen (L)/día
1	50
2	48
3	45
4	56
5	57
6	45
7	50
8	48
9	51
10	55
<b>Total</b>	<b>505</b>
<b>Media</b>	<b>50,5</b>

$$50,5 \frac{L}{día} \times 3 veces = 151,5 \frac{L}{día}$$

$$\frac{151,5L / día}{4hab} = 37,88 \frac{L}{hab.día}$$

Volumen total de agua consumido por persona y por día.

$$VT = (V_1 + V_2 + V_3 + V_4)L / hab .día$$

Donde:

$V_1$  = Volumen utilizado en la ducha (L/hab.día)

$V_2$  = Volumen utilizado en el servicio higiénico (L/hab.día)

$V_3$  = Volumen utilizado en el lavado de ropa (L/hab.día)

$V_4$  = volumen utilizado en el lavado de la vajilla (L/hab.día)

$$VT = 78,46 + 45,6 + 79,25 + 37,88(L / hab .día ) = 241,19(L / hab .día )$$

## ANEXO E

### Muestreo



### Análisis de Laboratorio



