

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



**“EVALUACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE SAN ANDRÉS”**

**Por:**

**DANIELA ROCÍO ROMÁN**

Trabajo de Investigación de Taller de Grado II, presentado a la Carrera Ingeniería Civil de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Diciembre 2012**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OO. SS.**

**“EVALUACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE SAN ANDRÉS”**

**Por:**

**DANIELA ROCÍO ROMÁN**

**Proyecto elaborado en la asignatura CIV – 502**

**Proyecto de Ingeniería Civil II**

**Diciembre 2012**

**TARIJA – BOLIVIA**

## HOJA DE EVALUACIÓN

### EVALUACIÓN CONTINUA 40 %

Fecha de presentación.....

Calificación:

Numeral.....

Literal.....

.....  
V°B° Docente Ing. JUAN CARLOS LOZA VÉLEZ

### EVALUACIÓN CONTINUA 60 %

Fecha de Defensa.....

Calificación:

Numeral.....

Literal.....

V°B°

.....  
MSc. Ing. Luis Alberto Yurquina F.  
**DECANO**  
**FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

.....  
MSc. Lic. Gustavo Succi A.  
**VICE-DECANO**  
**FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

-----  
**Ing. Ivar Colodro**

-----  
**Ing. Nelson Rodríguez**

-----  
**Ing. Adrian Castillo**

*El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.*

***DEDICATORIA***

*A mi Familia, por guiarme en el camino de la superación y ser la constante motivación en la conclusión del presente trabajo.*

### ***AGRADECIMIENTO***

*A Dios por guiarme y darme la sabiduría necesaria para comprender la vida.*

*A mis padres por su enseñanza y amor, acompañándome en la realización de mi vida.*

*A mis Hermanos por el cariño y la comprensión durante la etapa de mi vida universitaria.*

*Al Laboratorio del CEANID por acogerme y bríndame apoyo en la realización de mis prácticas de laboratorio.*

*Al Ing. Gonzalo Ortega de la UTEPTAR por apoyarme en la elaboración del proyecto.*

***PENSAMIENTO***

*“El hombre razonable se adapta al mundo; el hombre irrazonable intenta adaptar el mundo a sí mismo. Así pues el progreso depende del hombre irrazonable”*

**George Bernard Shaw.**



## ÍNDICE

<b>Página</b>
<b>Dedicatoria</b>
<b>Agradecimiento</b>
<b>Pensamiento</b>
<b>Resumen</b>

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	2
1.3 PROBLEMA .....	2
1.4 JUSTIFICACION .....	3
1.5 OBJETIVOS .....	4
1.5.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	4
1.6 ALCANCE GLOBAL DEL PROYECTO.....	5

### CAPITULO II ANTECEDENTES

2.1 INTRODUCCION.....	6
2.2 LOCALIZACION DEL PROYECTO .....	6
2.3 ASPECTOS GEOGRAFICOS Y CLIMATOLOGICOS.....	7
2.4 POBLACION .....	8
2.4.1 ORGANIZACIONES SOCIALES.....	10
2.5 SERVICIOS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN .....	11
2.6 CONDICIONES ACTUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD.....	13

### **CAPITULO III**

#### **PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

3.1 INTRODUCCIÓN.....	15
3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	15
3.3 CARACTERÍSTICAS INDESEABLES DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	18
3.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL 19	
3.4.1 Características físicas .....	19
3.4.2 Características químicas .....	21
3.4.3 Características biológicas .....	22
3.5 ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	24
3.5.1 Tratamiento preliminar.....	24
3.5.1.1 Rejas .....	25
3.5.1.2 Desarenador .....	25
3.5.2 Tratamiento Primario.....	25
3.5.2.1 Tanque Imhoff.....	25
3.5.3 Tratamiento secundario .....	26
3.5.3.1 Reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos.....	27
3.5.3.2 Lagunas de estabilización.....	29
3.5.3.3 Humedales .....	35
3.6 APROBECAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA AGRICULTURA .....	43
3.6.1 Aprovechamiento de aguas residuales tratadas en la agricultura (OMS 1989)	43
3.6.2 Manejo de lodos .....	44
3.7 POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES.....	45
3.8 PROBLEMAS SOCIO CULTURALES .....	47

### **CAPITULO IV**

#### **ANTECEDENTES PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN ANDRÉS.**

4.1 INTRODUCCIÓN.....	48
4.2 DATOS DEL PROYECTO.....	49
4.2.1 Esquema general del diseño de la PTAR de San Andrés.....	50
4.2.1.1 Tratamiento preliminar.....	50
4.2.1.2 Tratamiento primario.....	53
4.2.1.3 Tratamiento secundario.....	54
4.2.1.4 Tratamiento terciario.....	56
4.2.1.5 Tratamiento de lodos.....	57
4.2.2 Ejecución del proyecto.....	57
4.2.2.1 Paralización del Proyecto .....	57
4.2.2.2 Contrato modificadorio.....	58

4.2.2.3 Fase constructiva.....	60
4.2.3 Funcionamiento del sistema de tratamiento.....	61
4.2.3.1 Reactor anaeróbico de flujo ascendente.....	61
4.2.3.2 Rap – 100.....	62
4.2.4 Resultados obtenidos con diferentes tipos de reactores.....	64
4.2.5 Diseño.....	65
4.2.6 Operación y mantenimiento.....	67
4.2.7 Puesta en marcha.....	69

## **CAPÍTULO V**

### **ENSAYOS DE LABORATORIO.**

5.1 INTRODUCCIÓN.....	70
5.2 TOMA Y CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA .....	70
5.2.1 Tipo de Muestras .....	70
5.2.2 Métodos de toma de muestra.....	71
5.2.3 Conservación de la muestra .....	71
5.3 ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DE SAN ANDRES .....	72
5.3.1 Características Físicoquímicas .....	75
5.4 DETERMINACIÓN DEL PH.....	76
5.5 DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ.....	78
5.6 SOLIDOS SEDIMENTABLES .....	80
5.7 SOLIDOS TOTALES .....	82
5.8 NITROGENO TOTAL .....	84
5.9 NITROGENO AMONICAL .....	86
5.10. NITROGENO ORGANICO .....	88
5.11. FOSFORO TOTAL .....	90
5.12. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5).....	93
5.13. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO) .....	94
5.14. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	96
5.14.1 Coliformes Totales .....	96
5.14.2 Coliformes Fecales .....	97

**CAPÍTULO VI**  
**ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

6.1	INTRODUCCION.....	98
6.2	DEMANDAS CON RESPECTO A LA CALIDAD DEL EFLUENTE DE LA PLANTA .....	98
6.3	EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ACTUAL .....	99
6.4	ESQUEMA DE DISEÑO ACTUAL.....	101
6.5	EFFECTOS QUE OCASIONA EL HABER OMITIDO CIERTOS COMPONENTES .....	102
6.5.1	Cámara de rejas .....	102
6.5.2	Cámara séptica.....	103
6.5.3	Deposito lecho de secado .....	103
6.6	EVALUACION DE EFICIENCIAS .....	104
6.6.1	Caracterización de las aguas residuales.....	104
6.6.2	Validación de datos .....	104
6.6.3	Condiciones iniciales.....	106
6.6.4	Concentración del afluente .....	109
6.6.5	Análisis de algunos parámetros .....	110
6.6.6	Evaluación de Eficiencias.....	121
6.6.6.1	Planta BIO-RAP .....	121
6.6.6.2	Laguna de Estabilización.....	124
6.6.6.3	Planta de tratamiento de aguas residuales .....	127
6.6.7	Verificación del efluente .....	130
6.6.7.1	Clasificación del cuerpo receptor .....	130
6.6.7.2	Análisis de efluente según su clasificación.....	132
6.6.7.3	Análisis del efluente.....	134
6.6.7.4	comportamiento de arroyo.....	136
6.6.8	RESUMEN FINAL .....	137

**CAPÍTULO VII**  
**PROPUESTAS DE MEJORA**

7.1	INTRODUCCIÓN.....	138
7.2	PRINCIPIOS DE DISEÑO DE PTAR.....	138
7.3	REUSO DEL EFLUENTE DE LA PTAR DE SAN ANDRES .....	139
7.3.1	SISTEMA DE DISEÑO ACTUAL.....	140
7.4	ALTERNATIVAS DE SOLUCION .....	140
7.4.1	ALTERNATIVA “A”.....	140
7.4.1.1	Implementar los componentes faltantes .....	140
7.4.1.2	Operación y mantenimiento .....	143
7.4.1.2	Calculo de eficiencias.....	144
7.4.1.4	Diseño original de la PTAR.....	145
7.4.1.5	Análisis de costos .....	146
7.4.2	ALTERNATIVA “B”.....	146
7.4.2.1	Filtro biológico anaeróbico.....	146
7.4.2.2	Calculo de eficiencias.....	147
7.4.2.3	Operación y mantenimiento .....	148
7.4.2.4	Pre diseño del filtro anaeróbico.....	148
7.4.2.5	Análisis de costos .....	149
7.4.3	ALTERNATIVA “C”.....	150
7.4.3.1	Laguna de Maduración.....	150
7.4.3.2	Calculo de eficiencias.....	151
7.4.3.3	Operación y mantenimiento .....	151
7.4.3.4	Pre diseño del filtro anaeróbico.....	152
7.4.3.5	Análisis de costos .....	152
7.4.3	ALTERNATIVA “C”.....	150
7.4.3.1	Laguna de Maduración.....	150
7.4.3.2	Calculo de eficiencias.....	151
7.4.3.3	Operación y mantenimiento .....	151
7.4.3.4	Pre diseño del filtro anaeróbico.....	152

7.4.3.5 Análisis de costos .....	152
7.4.3.5 Análisis de costos .....	152
7.5 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	152
7.6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	153
7.6.1 Evaluación financiera .....	154
7.7 selección de la alternativa más conveniente .....	156
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

<b>Cuadro 2.1</b> Población Censo 2001 .....	8
<b>Cuadro 2.2</b> Población 2010 .....	9
<b>Cuadro 3.1</b> Unidades de tratamiento de aguas residuales .....	17
<b>Cuadro 3.2</b> Clasificación de los microorganismos.....	23
<b>Cuadro 3.3</b> Directrices sobre la calidad de los efluentes empleados en agricultura.....	42
<b>Cuadro 4.1</b> Resumen del contrato.....	59
<b>Cuadro 4.2</b> Resultados obtenidos con diferentes tipos de reactores.....	64
<b>Cuadro 5.1</b> Tabla resumen.....	74
<b>Cuadro 5.2</b> Tipos de muestras.....	74
<b>Cuadro 5.3</b> Parámetros de control CEANID.....	75
<b>Cuadro 5.4</b> Ensayos de laboratorio.....	76
<b>Cuadro 6.1</b> Valores Límite para el efluente de PTAR.....	98
<b>Cuadro 6.2</b> Composición Típica de las aguas residuales domesticas sin tratar .....	99
<b>Cuadro 6.3</b> Obras Concluidas .....	101
<b>Cuadro 6.4</b> Concentración del Afluente de la PTAR.....	108
<b>Cuadro 7.1</b> Agua para riego según el Reglamento 1333.....	127
<b>Cuadro 7.2</b> Obras concluidas de la PTAR.....	130
<b>Cuadro 7.3</b> Alternativa A .....	146
<b>Cuadro 7.4</b> Alternativa B .....	146
<b>Cuadro 7.5</b> Alternativa C .....	147
<b>Cuadro 7.6</b> Resumen de Alternativas.....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Fig. 2.1</b> Ubicación del lugar .....	16
<b>Fig. 3.1</b> Componentes básicos del tratamiento de aguas .....	16
<b>Fig. 3.2</b> Tanque Imhoff.....	26
<b>Fig. 3.3</b> Partes del reactor UABS .....	29
<b>Fig. 3.4</b> Esquema de una laguna anaerobia .....	31
<b>Fig. 3.5</b> Lagunas facultativa primaria.....	32
<b>Fig. 3.6</b> Laguna de maduración o pulimento.....	33
<b>Fig. 3.7</b> Plantas acuáticas comunes .....	34
<b>Fig. 3.8</b> Tipos de humedales.....	35
<b>Fig. 3.9</b> Sección Transversal .....	36
<b>Fig. 3.10</b> Procesos de depuración .....	41
<b>Fig. 4.1</b> Esquema de diseño original .....	50
<b>Fig. 4.3</b> Desarenador .....	52
<b>Fig. 4.5</b> BIO -RAP.....	55
<b>Fig. 4.6</b> Laguna Facultativa .....	56
<b>Fig. 4.8</b> Reactor .....	62
<b>Fig. 5.1</b> Puntos de muestreo .....	73
<b>Fig. 6.1</b> Esquema de diseño original .....	100
<b>Fig. 6.2</b> Esquema de diseño actual .....	100
<b>Fig. 6.3</b> Componentes diseñados y ejecutados.....	103
<b>Fig. 6.4</b> % de remoción de la PTAR.....	106
<b>Fig. 6.5</b> Demanda química de oxígeno.....	109
<b>Fig. 6.6</b> Demanda bioquímica de oxígeno.....	110
<b>Fig. 6.7</b> Análisis microbiológico muestra N°1 .....	111
<b>Fig. 6.8</b> Análisis microbiológico muestra N°2 .....	112
<b>Fig. 6.9</b> Punto de análisis Bio - Rap .....	112
<b>Fig. 6.10</b> Tratamiento del reactor Bio - Rap .....	114
<b>Fig. 6.11</b> % de remoción del reactor Bio - Rap .....	114



<b>Fig. 6.12</b>	Punto de análisis laguna de estabilización .....	115
<b>Fig. 6.13</b>	Tratamiento laguna facultativa .....	116
<b>Fig. 6.14</b>	% de remoción laguna facultativa .....	116
<b>Fig. 6.15</b>	Punto de análisis PTAR .....	117
<b>Fig. 6.16</b>	Tratamiento de la PTAR .....	118
<b>Fig. 6.17</b>	% de remoción PTAR de San Andrés .....	118
<b>Fig. 6.18</b>	Punto de análisis del cuerpo receptor.....	119
<b>Fig. 7.1</b>	Esquema de diseño original Alternativa “A” .....	130
<b>Fig. 7.2</b>	Esquema de diseño Alternativa “B” .....	134
<b>Fig. 7.3</b>	Esquema de Diseño Alternativa C .....	136

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 4.1</b> Datos de diseño de cámara de rejilla.....	51
<b>Tabla 4.2</b> Datos de diseño de cámara desarenador.....	52
<b>Tabla 4.3</b> Datos de diseño de cámara séptica.....	53
<b>Tabla 4.4</b> Datos de diseño Bio - Rap.....	55
<b>Tabla 4.5</b> Datos de diseño laguna de estabilización.....	56
<b>Tabla 4.6</b> Datos de diseño lecho de secado.....	57
<b>Tabla 4.7</b> Lista de Ítems.....	58
<b>Tabla 5.1</b> Resultados del pH .....	78
<b>Tabla 5.2</b> Resultados de la Turbiedad.....	80
<b>Tabla 5.3</b> Resultados de los sólidos sedimentables .....	82
<b>Tabla 5.4</b> Resultados de los sólidos Totales .....	84
<b>Tabla 5.5</b> Resultados de Nitrógeno Total .....	86
<b>Tabla 5.6</b> Resultados de Nitrógeno Amoniacal .....	88
<b>Tabla 5.7</b> Resultados de Nitrógeno Orgánico .....	90
<b>Tabla 5.8</b> Resultados del Fosforo Total .....	92
<b>Tabla 5.9</b> Resultados DBO5 .....	94
<b>Tabla 5.10</b> Resultados DQO .....	96
<b>Tabla 5.11</b> Análisis microbiológicos.....	97
<b>Tabla 6.1</b> Características de los compuestos más típicos en un agua residual.....	104
<b>Tabla 6.2</b> Validación del agua residual bruta de San Andrés.....	104
<b>Tabla 6.3</b> Resultados Físico - químicos agua residual de San Andrés.....	105
<b>Tabla 6.4</b> Determinación del caudal.....	105
<b>Tabla 6.5</b> % remoción del agua residual de San Andrés.....	106
<b>Tabla 6.5</b> Clasificación del arroyo Andrés .....	106
<b>Tabla 6.6</b> Aportes per Cápita.....	107
<b>Tabla 6.7</b> Valores per Cápita del agua residual san Andrés.....	107
<b>Tabla 6.8</b> Índice de Biodegradabilidad .....	118
<b>Tabla 6.9</b> Eficiencia del Bio - Rap .....	113
<b>Tabla 6.10</b> Eficiencia de la laguna de estabilización .....	115

<b>Tabla 6.11</b>	Eficiencia de la PTAR .....	117
<b>Tabla 6.12</b>	Clasificación del arroyo .....	120
<b>Tabla 6.13</b>	Verificación del efluente según clasificación .....	121
<b>Tabla 6.14</b>	Verificación del efluente .....	123
<b>Tabla 6.15</b>	Comportamiento del arroyo .....	124
<b>Tabla 6.16</b>	Tabla Resumen .....	125
<b>Tabla 7.1</b>	Resultados físico-químicos del agua residual de San Andrés.....	128
<b>Tabla 7.2</b>	% de remoción de la PTAR de San Andrés.....	128
<b>Tabla 7.3</b>	Verificación con la LMA 1333 .....	129
<b>Tabla 7.4</b>	Alternativa A .....	132
<b>Tabla 7.5</b>	Costo Total Alternativa A .....	133
<b>Tabla 7.6</b>	Alternativa B .....	135
<b>Tabla 7.7</b>	Pre-Diseño filtro Anaeróbico .....	135
<b>Tabla 7.8</b>	Costos de implementación filtro Anaeróbico .....	136
<b>Tabla 7.9</b>	Alternativa C .....	137
<b>Tabla 7.10</b>	Pre-Diseño Laguna de Maduración .....	138
<b>Tabla 7.11</b>	Costo de Operación y Mantenimiento .....	144
<b>Tabla 7.12</b>	Presupuesto de las Alternativas .....	145