

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ ESTIMACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA PER-CÁPITA DEL AGUA  
RESIDUAL EN LA CIUDAD DE TARIJA (2005 – 2009) ”**

**Por:**

**HUGO ORLANDO CONDORI VÁSQUEZ**

**Diciembre de 2010  
TARIJA-BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

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

**“ ESTIMACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA PER-CÁPITA DEL AGUA  
RESIDUAL EN LA CIUDAD DE TARIJA (2005 – 2009) ”**

**Por:**

**HUGO ORLANDO CONDORI VÁSQUEZ**

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

**Proyecto de Ingeniería Civil II**

**Diciembre de 2010**  
**TARIJA-BOLIVIA**

V°B°

.....  
Msc. Ing. Luis Alberto Yurquina F.  
Decano de la Facultad de  
Ciencias y Tecnología

.....  
Msc. Ing. Clovis Gustavo Succi A.  
Vice - Decano de la Facultad de  
Ciencias y Tecnología

APROBADO POR:  
TRIBUNAL:

.....  
Ing. Ivar Colodro

.....  
Ing. Adel Cortez

.....  
Ing. Henry Monzón

### **AGRADECIMIENTO:**

A dios por acompañarme e iluminarme durante todos estos años, a mi familia por todo el apoyo moral y sentimental que me dan, a mis docentes y compañeros por todos los conocimientos y experiencias transmitidas en todo este proceso de preparación y aprendizaje.

# ÍNDICE DE GENERAL

Página

## CAPÍTULO I.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos.....	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Hipótesis.....	3

## CAPÍTULO II.- CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

2.1 Las aguas residuales.....	4
2.1.1 Introducción.....	4
2.1.2 Origen de las aguas residuales.....	5
2.1.2.1 Aguas residuales domesticas.....	7
2.1.2.2 Aguas lluvias.....	9
2.1.2.3 Residuos líquidos industriales.....	9
2.1.2.4 Aguas residuales agricultura.....	14
2.1.3 Transporte de aguas residuales.....	14
2.1.3.1 Alcantarillado sanitario.....	14
2.1.3.2 Alcantarillado de aguas lluvias.....	14
2.1.3.3 Alcantarillado combinado.....	15
2.2 Características físicas.....	15
2.2.1 Sólidos.....	15
2.2.2 Olor.....	18
2.2.3 Temperatura.....	19
2.2.4 Densidad.....	19
2.2.5 Color.....	20
2.2.6 Turbiedad.....	20

2.3 Características químicas.....	21
2.3.1 Materia orgánica.....	21
2.3.1.1 Medición del contenido orgánico.....	22
2.3.2 Materia inorgánica.....	23
2.3.3 Gases.....	23
2.4 Características biológicas.....	23
2.4.1 Microorganismos.....	24
2.4.2 Organismos patógenos.....	25
2.4.3 Organismos indicadores.....	26
2.5 Efectos indeseables y contaminantes en aguas residuales.....	27

### **CAPÍTULO III.- MICROBIOLOGÍA**

3.1 Introducción.....	30
3.2 Microorganismos de las aguas.....	32
3.2.1 Importancia de los microorganismos.....	32
3.2.2 Tipos de microorganismos.....	34
3.2.2.1 Bacterias.....	34
3.2.2.1.1 Tamaño y formas de las bacterias.....	35
3.2.2.1.2 Coliformes.....	39
3.2.2.2 Hongos.....	39
3.2.2.3 Algas.....	40
3.2.2.3.1 Clasificación de algas.....	42
3.2.2.4 Protozoos.....	43
3.2.2.3.1 Clasificación de los protozoos.....	45
3.2.2.5 Virus.....	46
3.3 Importancia sanitaria.....	48

### **CAPÍTULO IV.- ASPECTOS DEMOGRÁFICOS DE LA CIUDAD DE TARIJA**

4.1 Ubicación.....	52
4.2 Población.....	53
4.2.1 Población del área de influencia del proyecto.....	54

4.2.1.1 Estimación de la población del área de influencia del proyecto.....	57
---	----

## **CAPÍTULO V.- DOTACIÓN PER-CÁPITA DE AGUA POTABLE**

5.1 Características de la cuenca hidrográfica de Tarija.....	60
5.2 Descripción del sistema de agua potable.....	61
5.2.1 Fuentes de agua.....	61
5.2.1.1 Río la victoria.....	61
5.2.1.2 Río Guadalquivir.....	62
5.2.1.3 Río Erquis.....	63
5.2.1.4 Lago San Jacinto.....	63
5.2.1.5 Sistemas de bombeo de fuentes superficiales.....	64
5.2.1.6 Pozos (Sistemas independientes).....	64
5.3 Tratamiento del agua.....	66
5.3.1 Planta de tratamiento Tabladita.....	66
5.3.2 Planta de tratamiento la Tablada (San Jacinto).....	68
5.3.3 Clorinación de agua río Erquis.....	68
5.3.4 Clorinación de agua de los pozos.....	68
5.4 Calidad de agua potable.....	68
5.5 Resumen de almacenamiento, tratamiento y distribución de las fuentes de agua.....	70
5.6 Estimación de la dotación per cápita de agua potable.....	73

## **CAPÍTULO VI.- COEFICIENTE DE RETORNO**

6.1 Introducción.....	82
6.2 Caudal de aguas residuales.....	82
6.2.1 Ubicación y disponibilidad.....	82
6.2.2 Valores extremos máximos y mínimos horarios.....	84
6.2.2.1 Caudales horarios.....	85
6.2.2.2 Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario.....	86
6.2.2.3 Estimación del coeficiente máximo y mínimo diarios.....	90

6.3 Estimación del coeficiente de vuelco o de retorno.....	90
--	----

## **CAPÍTULO VII.- CARGA ORGÁNICA**

7.1 Introducción.....	92
7.2 Definición y composición.....	92
7.2.1 Proteínas.....	92
7.2.2 Carbohidratos.....	93
7.2.3 Grasas y aceites.....	93
7.3 Determinación de parámetros.....	94
7.3.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	94
7.3.1.1 Cálculo y medida de la DBO.....	96
7.3.1.2 Utilidad y aplicaciones de la DBO en el tratamiento de aguas residuales.....	97
7.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO).....	100
7.3.2.1 Utilidad y aplicaciones de la DQO.....	101
7.3.3 Carbono orgánico total.....	101
7.3.4 Relación entre la DBO y la DQO.....	101
7.3.4.1 Ventajas de la DQO respecto de la DBO.....	102
7.4 Metodología de muestreo y conservación de muestras.....	103
7.4.1 Toma de muestras.....	103
7.4.2 Procedimiento de toma.....	105
7.4.3 Tipos de muestras.....	106
7.4.3.1 Muestras puntuales.....	106
7.4.3.2 Muestras compuestas.....	107
7.4.3.3 Muestras promedio en profundidad.....	107
7.4.3.4 Muestras integradas.....	107
7.4.4 Técnicas de preservación.....	108
7.5.- Estimación per cápita.....	109
7.5.1 Confiabilidad, Análisis y selección de la información.....	109
7.5.1.1 Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal.....	112



7.5.2 Estimación y resultados.....	120
7.6 Comparación y análisis de resultados.....	125
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>132</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXOS</b>	

# ÍNDICE DE TABLAS

## **CAPÍTULO II**

<i>Tabla 2.1: Parámetros de las aguas residuales y sus orígenes.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2.2: Composición típica del agua residual.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2.3: Cantidad y composición de las aguas residuales domesticas, por tipos de uso.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2.4: Parámetros a monitorear en aguas residuales industriales, por tipo de industria.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2.5: Clasificación de los microorganismos.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2.6: Efectos indeseables de las aguas residuales.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2.7: Contaminantes de importancia en aguas residuales (a).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2.8: Contaminantes de importancia en aguas residuales (b).....</i>	<i>29</i>

## **CAPÍTULO III**

<i>Tabla 3.1: Los tres reinos de los microorganismos.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3.2: Principales grupos de bacterias.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3.3: Organismos patógenos en aguas residuales.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3.4: Organismos indicadores de contaminación.....</i>	<i>51</i>

## **CAPÍTULO IV**

<i>Tabla 4.1: Datos de población para Tarija censo 2001.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 4.2: Zonas de la ciudad de Tarija.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 4.3: Numero de conexiones por zonas.....</i>	<i>58</i>

## **CAPÍTULO V**

<i>Tabla 5.1: Sistema de bombeo desde los ríos.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 5.2: Sistemas de captaciones mediante bombeo.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 5.3: Características de sistemas de bombeo de pozos.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 5.4: Parámetros para monitorear la calidad de agua.....</i>	<i>69</i>

<i>Tabla 5.5: Agua del río la Victoria.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 5.6: Agua del río Guadalquivir.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 5.7: Agua del río Erquis.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5.8: Agua del lago San Jacinto.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5.9: Sistema de pozos (Sistema independiente).....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5.10: Volúmenes producidos de agua potable (m<sup>3</sup>).....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 5.11: Conexiones y estimación de usuarios de agua potable.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 5.12: Estimación de la dotación de agua potable (2005 – 2009).....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 5.13: Perdidas en el sistema de agua potable.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 5.14: Estimación de la dotación efectiva de agua potable (2005 – 2009).....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 5.15: Estimación de la dotación real de agua potable.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 5.16: Dotación media diaria (l/hab/día).....</i>	<i>81</i>

## **CAPÍTULO VI**

<i>Tabla 6.1: Caudales medios horarios.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 6.2: Caudales horarios mes de septiembre.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 6.3: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2005).....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 6.4: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2006).....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 6.5: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2007).....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.6: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2008).....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.7: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2009).....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 6.8: Estimación del coeficiente máximo y mínimo diario.....</i>	<i>90</i>

## **CAPÍTULO VII**

<i>Tabla 7.1: Valores promedio mensuales y anuales de DBO<sub>5</sub>.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 7.2: Valores promedio mensuales y anuales de DQO.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 7.3: Valores de la DBO<sub>5</sub>, DQO y caudal de muestras compuestas (2009).....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 7.4: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2005).....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 7.5: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2006).....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 7.6: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2008).....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 7.7: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2009).....</i>	<i>122</i>

<i>Tabla 7.8: Estimación de la carga orgánica per cápita promedio</i>	
<i>muestras compuestas (2005 – 2009).....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 7.9: Muestras puntuales cámara séptica barrio catedral.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 7.10: Muestras puntuales cámara séptica barrio San Jorge II.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 7.11: Muestras puntuales cámara séptica barrio Senac.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 7.12: Estimación de la carga orgánica per cápita promedio</i>	
<i>muestras puntuales.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 7.13: Número de establecimientos industriales según</i>	
<i>rubro de producción.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 7.14: Valores típicos de DBO per cápita para diferentes países.....</i>	<i>128</i>

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO II

<i>Figura 2.1: Constituyentes del agua residual.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.2: Clasificación de los sólidos presentes en las aguas residuales domesticas de concentración media.....</i>	<i>18</i>

## CAPÍTULO III

<i>Figura 3.1: Partes de una bacteria.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.2: Algas.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.3: Anatomía de un protozoo.....</i>	<i>44</i>

## CAPÍTULO IV

<i>Figura 4.1: Ubicación de Tarija, Cercado y la ciudad de Tarija.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.2: población departamental y participación de la provincia cercado.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4.3: Red de alcantarillado de la ciudad de Tarija.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.4: Cobertura de alcantarillado sanitario de la ciudad de Tarija con origen a la planta de tratamiento y a cámaras sépticas.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 4.5: Conexiones por zonas.....</i>	<i>59</i>

## CAPÍTULO V

<i>Figura 5.1: Cuenca hidrográfica de la ciudad de Tarija.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5.2: Flujograma del sistema de abastecimiento del agua para la ciudad de Tarija.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 5.3: Volúmenes producidos de agua potable.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5.4: Volúmenes de agua potable.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5.5: Numero de usuarios de agua potable.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5.6: Conexiones de agua potable.....</i>	<i>77</i>

## **CAPÍTULO VI**

<i>Figura 6.1: Caudales medios horarios.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 6.2: Caudales medios anuales.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 6.3: Caudales horarios mes de septiembre (2009).....</i>	<i>86</i>

## **CAPÍTULO VII**

<i>Figura 7.1: Comportamiento de la DBO en sus fases Carbonácea y Nitrogenada.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 7.2: Limpieza del muestreador.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 7.3: Valores promedio mensuales y anuales de DBO5.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 7.4: Valores promedio mensuales y anuales de DQO.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 7.5: Valores promedios mensuales de la DBO5 y DQO.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 7.6: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de enero.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 7.7: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de febrero.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 7.8: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de marzo.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 7.9: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de abril.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 7.10: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de mayo.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 7.11: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de junio.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 7.12: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de julio.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 7.13: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de agosto.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 7.14: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de septiembre.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 7.15: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de octubre.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 7.16: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de noviembre.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 7.17: Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de diciembre.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 7.18: Variación de la carga orgánica.....</i>	<i>127</i>