

1.1 Introducción

Debido al alto crecimiento de la población, ligado directamente al crecimiento de las áreas urbanas y rurales, la disposición de las aguas residuales domésticas e industriales se ha convertido en los últimos años en un problema serio, que ha repercutido directamente en el medio ambiente, ocasionando problemas graves de contaminación, especialmente en países como el nuestro en vías de desarrollo.

Las aguas residuales son normalmente vertidas a cuerpos de agua, sin recibir un adecuado tratamiento. En la actualidad dichos cuerpos de agua, principalmente ríos han reducido notablemente su capacidad de dilución debido a muchos factores, relacionados principalmente con la carencia del recurso hídrico "agua".

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas tienen como objetivo reducir algunas características indeseables, de manera tal que el uso o disposición final de estas aguas, cumpla con las normas y requisitos mínimos definidos por las autoridades sanitarias de un determinado país o región y el contenido de materia orgánica es un factor importante a tomar en cuenta para obtener un mejor dimensionamiento y diseño de estos sistemas.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad el tratamiento de las aguas residuales, reviste mayor importancia, desde el punto de vista del saneamiento ambiental, la necesidad del tratamiento de las aguas residuales generadas por las distintas actividades de una población o ciudad. Además el vertimiento de estas aguas residuales, dependiendo del grado de descarga, ocasiona problemas de contaminación en el suelo, las aguas subterráneas y el aire.

La mayor parte de la población de la ciudad de Tarija vierte sus aguas residuales a sistemas de alcantarillado sanitario y los cuales transportan estas aguas hasta la planta de tratamiento de la zona de San Luis y a cámaras sépticas de diferentes barrios de la ciudad. El diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales toma en cuenta diferentes factores para una óptima obtención del mismo, teniendo así entre los principales el contenido de materia orgánica per cápita.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- ❖ El presente proyecto tiene como objetivo principal estimar la carga orgánica per cápita del agua residual en la ciudad de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Estimar la dotación de agua potable de la ciudad de Tarija.
- ❖ Estimar el coeficiente de vuelco o de retorno de la fracción del agua servida, entregada como agua negra al sistema de recolección de aguas residuales.
- ❖ Analizar el resultado obtenido y compararlo con otros valores recomendables

1.4 Justificación

- ❖ **Académica.-** La carrera de ingeniería civil de la universidad autónoma Juan Misael Saracho presenta como requisito para optar el grado de licenciatura en ingeniería civil la elaboración de un proyecto de grado, en donde el alumno aplique los conocimientos y experiencias adquiridas durante el transcurso de la misma, según el área en la que desee especializarse.
- ❖ **Técnica.-** Los sistemas de tratamiento de aguas residuales consideran en su diseño diferentes factores para una óptima obtención del mismo, teniendo entre los principales el contenido de materia orgánica per cápita el cual es un parámetro importante a considerar en el dimensionamiento de los mismos.
- ❖ **Social.-** Actualmente no se conoce la cantidad de materia orgánica que aportan diariamente los habitantes de la ciudad de Tarija, por lo que se requiere de un estudio, el cual servirá como referencia para realizar un análisis y evaluación de la misma, pudiendo ser ajustado en trabajos posteriores que se deseen realizar relacionados con el tema.

1.5 Hipótesis

En el desarrollo del presente estudio de investigación se cuenta con datos de laboratorio de mediciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en muestras compuestas y puntuales de agua residual, tomadas en la entrada de la planta de tratamiento y en cámaras sépticas de la ciudad de Tarija respectivamente.

Los efluentes de aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento de San Luis son de origen combinado de diferentes usos: doméstico, comercial, industrial. Lo que incrementa considerablemente el contenido de materia orgánica (DBO5) presente en el agua residual incrementando así la carga orgánica per cápita, mientras que los efluentes de aguas residuales que ingresan a las cámaras sépticas de diferentes barrios de la ciudad pertenecen a un uso más doméstico del agua. Los valores de contenido de materia orgánica (DBO5) presente en el agua residual son estándares y el contenido de materia orgánica per cápita se encontrará entre los valores estándares.

2.1 Las aguas residuales

2.1.1 Introducción

Las aguas residuales, empezaron a existir desde que al hombre se le ocurrió que el agua sería un excelente medio para limpiar y llevar lejos los detritos humanos y otros desperdicios generados en su actividad cotidiana.

Es así como en la antigüedad sólo se reconoció la necesidad de transporte de los residuos mediante el uso del agua, y desde luego, para su uso exclusivo de la gente acomodada. No se pensó en términos tales como el de la contaminación del agua, probablemente porque nunca se presentó una concentración lo suficientemente importante.

Tenemos pues que el problema del manejo de las aguas residuales y su tratamiento es un problema moderno, que apenas ha interesado al hombre contemporáneo. La razón fundamental para ello es que sólo en este siglo se ha presentado una aglomeración suficientemente de los hombres en las ciudades, como para que la carga contaminante producida por el metabolismo de las urbes, significada en los desperdicios de la actividad domestica, industrial y comercial.

Originalmente, la intención fundamental de los primeros ingenieros era recolectar las aguas residuales y transportarlas fuera de la ciudad, para ser vertidas en alguna masa de agua, generalmente río, que las diluyera y llevara lo más lejos posible. Aunque esto hacía más estética y sana la ciudad, además de las comodidades que representaba, pronto se observó que el vertimiento indiscriminado ocasionaba el deterioro de la masa de agua que las recibía, hasta el punto que la vida desaparecía de su seno, tornándose las aguas receptoras en un líquido de aspecto desagradable y maloliente. Luego se comprendió que causaba pérdidas económicas considerables, significadas en la disminución de la producción pesquera. Finalmente, cuando la ecología descubrió las leyes del equilibrio en la naturaleza, se entendió que la contaminación rompía este equilibrio, amenazando con devastar regiones enteras.

La contaminación del agua causada por las descargas de aguas residuales tenía efecto directo, que fue reconocido, en la salud de la población, causando enfermedades entéricas y

en general, los que causan las llamadas enfermedades hídricas. Entre éstas se encuentran el tifo, la fiebre tifoidea, el cólera asiático, la disentería, la amibiasis, la poliomielitis, etc. Estas enfermedades son causadas por microorganismos tales como los parásitos intestinales, se transmiten juntamente con las heces de los enfermos, causando enfermedad a los que beben aguas contaminadas.

Entonces el hombre contemporáneo comprendió que era necesario declarar una lucha frontal contra los efectos de la contaminación del agua. Para ello se creó una profesión nueva, la Ingeniería Sanitaria.¹

2.1.2 Origen de las aguas residuales

Las aguas residuales se dividen en aguas residuales domésticas, o aguas negras, aguas lluvias, y residuos líquidos industriales, según sea su procedencia. Las aguas negras se componen de los residuos que moderadamente se evacuan por vía de alcantarillado sanitario en la actividad doméstica, tales como los desagües de baños, sanitarios, lavamanos, pocetas, cocinas, etc. Estas aguas residuales tienen una composición bastante definida, compuesta por materia orgánica disuelta y en suspensión, producto de la descomposición físico-química y biológica que se lleva a cabo durante el transporte al sitio de tratamiento y descomposición final. La apariencia, así como las características físico-químicas y bacteriológicas son bastante parecidas en todo el mundo, con un margen relativamente estrecho de variación en los parámetros que la ingeniería moderna utiliza para su estudio y análisis.

Los residuos líquidos industriales por el contrario tienen una composición bastante diferenciada, dependiendo del tipo de industria, procesos de producción y eficiencia de utilización del agua. Por otra parte, la calidad de las aguas lluvias depende del material que cubre las calles de las ciudades y que es arrastrado por la escorrentía a los alcantarillados pluviales.

Algunos parámetros de las aguas residuales y su origen se presentan a continuación en la siguiente tabla:

¹ Tratamiento biológico de las aguas residuales. Universidad de Antioquia

Tabla 2.1: Parámetros de las aguas residuales y sus orígenes

Parámetros	Domésticas	Comerciales	Industriales	Agropecuarios
Sólidos	X	X	X	X
Temperatura	X	X	X	
Color	X	X	X	
Olor	X	X	X	X
Proteínas	X	X		
Carbohidratos	X	X		
Grasas animales	X	X		
Aceites y grasas minerales	X	X	X	
Agentes tenso-activos		X	X	
Fenoles			X	
Pesticidas				X
pH	X	X	X	X
Cloruros	X	X	X	X
Alcalinidad	X	X	X	X
Nitrógeno	X	X	X	X
Fósforo	X	X	X	X
Azufre	X	X	X	
Compuestos tóxicos			X	X
Metales pesados			X	
Oxígeno	X	X	X	X
Sulfuro de hidrógeno	X	X	X	
Metano	X	X	X	
Protistas	X	X		
Virus	X	X		

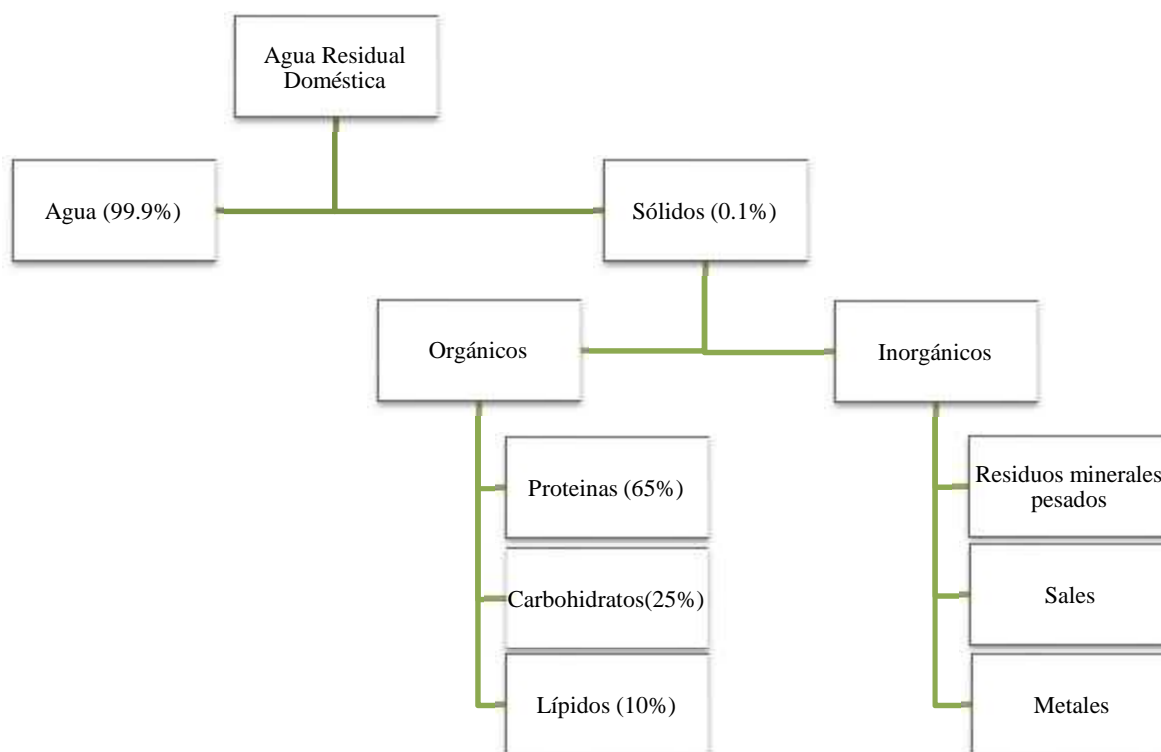
Fuente: Control de calidad de aguas residuales. ANESAPA (La Paz – Bolivia).2004

El origen, cantidad y composición de las aguas residuales es muy diverso, pero en general podemos decir que éstas se clasifican como sigue a continuación.

2.1.2.1 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.

Figura 2.1- Constituyentes del agua residual



Fuente: Estudio, diseño y dimensionamiento del establecimiento depurador de líquidos cloacales de la ciudad de Tarija. U.A.J.M.S. 2008.

Se puede apreciar en la figura anterior que una pequeña fracción del agua residual está compuesta de materia orgánica, pero es esta pequeña cantidad la que produce la mayor contaminación. A continuación se presentan algunos parámetros de un agua residual domestica típica.

Tabla 2.2: Composición típica del agua residual

Parámetro	Nomenclatura	Unid	Concentración		
			Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	ST	mg/l	1200	700	350
Disueltos	STD	mg/l	850	500	250
Fijos	STF	mg/l	525	300	145
Volátiles	STV	mg/l	325	200	102
Suspendidos Totales	SST	mg/l	350	200	100
Fijos	SSTF	mg/l	75	50	30
Volátiles	SSTV	mg/l	275	150	70
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/l	300	200	100
Carbono Orgánico Total	COT	mg/l	300	200	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	1000	500	250
NitrogenoTotal como N	N	mg/l	85	40	20
Orgánico	Norg	mg/l	35	15	8
Amoniaco libre	NH4	mg/l	50	25	12
Nitritos	NO2	mg/l	0	0	0
Nitratos	NO3	mg/l	0	0	0
Fósforo Total como P	P	mg/l	20	10	6
Orgánico	Porg	mg/l	5	3	2
Inorgánico	Ping	mg/l	15	7	4
Cloruros	CI	mg/l	100	50	30
Alcalinidad como CaCO3	ACI	mg/l	200	100	50
Grasa	Gr	mg/l	150	100	50

Fuente: Control de calidad de aguas residuales. ANESAPA (La Paz – Bolivia).2004

Tabla 2.3: Cantidad y composición de las aguas residuales domésticas, por tipos de uso

Tipo de uso doméstico	Cantidad en l/hab/día		Contaminación en g/hab/día					
	Consumo de agua potable	Descarga de agua servida	Sólidos			DBO5	N	P
			Totales	Inorgánicos	Orgánicos			
Comida	3							
Lavado	4	4						
Higiene personal	20	19						
Ducha/tina	10	10						
Limpieza casa	20	20						
Heces	3	3	27		23		1,5	0,6
Orina	20	22	55	15	40		12,2	0,8
TOTAL	80	78	190	80	110	54	13,7	2,3

Fuente: Control de calidad de aguas residuales. ANESAPA (La Paz – Bolivia).2004

2.1.2.2 Aguas lluvias

Las aguas lluvias son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Los primeros flujos de aguas lluvias son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie. La naturaleza de estas aguas varía según su procedencia: Zonas urbanas, rurales, semi-rurales y aún dentro de estas zonas se presentan enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga.

2.1.2.3 Residuos líquidos industriales

Los residuos líquidos industriales son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún, para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes en industrias diferentes en industrias diferentes. Los residuos líquidos industriales pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados, etc. Su composición refleja el tipo de materias primas utilizado dentro del proceso industrial.

La recolección de los residuos líquidos industriales y las aguas residuales domésticas es posible hacerla dentro del mismo alcantarillado cuando aquellos sean compatibles entre sí y no representan ningún problema para el sistema de recolección. Cuando los residuos líquidos industriales no sean compatibles con las aguas residuales domésticas, deben ser sometidos a tratamientos preliminares que remueven los compuestos que interfieren con los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas o que atenten contra la vida de los alcantarillados sanitarios.

Los parámetros principales a monitorear en aguas residuales industriales, por tipo de industria se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2.4: Parámetros a monitorear en aguas residuales industriales, por tipo de industria

Actividad industrial	Físicos				Biológicos		Químicos		Químicos (elementos y compuestos)												
	PH	T	SS	SD	DBO5	DQO	A Y G	HC	As	Cd	Cn	Cu	Cr	Hg	Ni	NH4	NT	P	Pb	S	Zn
INDUSTRIA ALIMENTICIA																					
1. Producción de leche	X	X	X		X	X	X					X			X	X	X				
2. Faenado de ganado	X	X	X	X	X	X	X					X	X		X	X	X				
3. Faenado de aves	X	X	X	X		X	X					X	X		X	X	X				
4. Preparación de embutidos	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
5. Derivados de leche	X	X	X		X	X	X					X			X	X	X				
6. Helados	X	X	X		X	X	X								X	X	X				
7. Envasado frutas, jugos	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
8. Elaboración de pasas, frutas, legumbres	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
9. Dulces, mermeladas	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
10. Conservas, caldos deshidratados	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
11. Aceites y grasas vegetales	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
12. Aceites y grasas animales	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
13. Fideos, tallarines	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
14. Refinación azúcar	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
15. Cacao, chocolates	X		X		X	X	X								X	X	X				
16. Condimentos, mostazas, vinagres	X		X	X	X	X	X								X	X	X				
17. Almidón y sus derivados	X		X	X	X	X	X								X	X	X				
18. Levaduras	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
19. Alimentos preparados para animales	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
20. Destilación de alcohol etílico	X	X			X	X															
21. Destilación, rectificación de bebidas alcohólicas	X	X			X	X															
22. Vinos	X		X		X	X									X	X	X				
23. Sidras y otras bebidas	X		X		X	X									X	X	X				
24. Malta, cerveza	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X				
25. Aguas naturales, gaseosas	X				X	X															

(Continuación)Tabla 2.4: Parámetros a monitorear en aguas residuales industriales, por tipo de industria

Actividad industrial	Físicos				Biológicos		Químicos		Químicos (elementos y compuestos)												
	Ph	T	SS	SD	DBO5	DQO	A Y G	HC	As	Cd	Cn	Cu	Cr	Hg	Ni	NH4	NT	P	Pb	S	Zn
INDUSTRIA TEXTIL																					
26. Tintorerías industriales y acabados textiles	X	X	X		X	X	X	X		X		X	X	X	X				X		X
27. Estampados	X	X	X		X	X	X	X		X		X	X	X	X				X		X
28. Tejidos de punto, incl. blanqueado y teñido	X		X		X	X	X			X		X									
29. Curtiembres y talleres de acabado	X	X	X	X	X	X	X					X	X		X	X	X		X		X
30. Preparación y teñido de pieles	X	X	X	X	X	X	X					X	X		X	X	X		X		X
INDUSTRIA MADERERA Y PAPELERA																					
31. Aserraderos	X		X		X	X										X	X	X		X	
32. Pulpa de madera *2)	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X		X	X	X		X	
33. Papel y carbón	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X		X	X	X		X	
34. Artículos de pulpa, papel y cartón	X	X	X		X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X		X	
35. Imprenta y encuadernación	X	X				X		X	X					X		X	X	X		X	
36. Fotograbado y litografía	X					X		X	X				X	X							
37. Editoriales	X		X			X		X	X				X	X				X	X		
38. Productos químicos orgánicos e inorgánicos	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	
39. Abonos	X	X	X	X	X	X			X			X	X		X	X	X		X		X
40. Plaguicidas, insecticidas, fungicidas, herbicidas	X		X	X	X	X			X			X	X	X		X	X	X		X	
41. Pinturas, barnices, lacas, esmaltes y charoles	X				X	X		X			X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
42. Farmacéuticos y medicamentos	X		X	X		X	X					X	X						X		
43. Jabones detergentes y champús	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X		X		X
44. Perfumes, cosméticos, productos de tocador	X	X	X	X		X	X	X				X								X	
45. Ceras	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X			
46. Desinfectantes y desodorizantes	X	X	X	X		X	X	X						X							
47. Explosivos y municiones	X	X	X	X		X	X	X	X	X			X	X							
48. Colas, adhesivos, aprestos y cementos	X	X	X	X	X	X	X	X								X	X	X		X	
49. Tintas	X		X		X	X	X	X				X	X	X							

(Continuación)Tabla 2.4: Parámetros a monitorear en aguas residuales industriales, por tipo de industria

Actividad industrial	Físicos				Biológicos		Químicos			Químicos (elementos y compuestos)														
	Ph	T	SS	SD	DBO5	DQO	A	Y	G	HC	As	Cd	Cn	Cu	Cr	Hg	Ni	NH4	NT	P	Pb	S	Zn	
INDUSTRIA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION																								
50. Materiales de pavimento y asfalto	X	X	X	X	X	X	X	X	X									X	X	X			X	
51. Vidrios planos y templados	X	X	X	X		X							X	X	X									
52. Espejos y cristales	X	X	X	X		X							X	X	X									
53. Parabrisas y vidrios para vehículos	X	X	X	X		X							X	X	X									
54. Material refractario o ladrillos-tejas	X		X		X	X																		
55. Cemento, cal, yeso y tubos de cemento	X	X	X		X	X														X				
INDUSTRIAS DE METAL																								
56. Productos primarios de metales no ferrosos	X		X			X	X		X	X	X	X	X	X		X					X	X	X	
57. Muebles y accesorios metálicos	X	X	X			X	X			X	X	X	X		X						X		X	
58. Esmaltado, barnizado, galvanizado, chapado	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	
59. Motores, turbinas, máquinas de vapor y gas	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X						X		X	
OTRAS INDUSTRIAS Y SERVICIOS																								
60. Discos, cintas magnéticas y cassettes	X	X	X			X	X			X	X	X	X	X	X	X								X
61. Ampolletas, focos, tubos eléctricos, pilas	X	X	X			X	X			X	X	X	X	X	X				X			X	X	
62. Lavandería y tintorería	X	X			X	X	X	X					X	X		X	X							
63. Joyería industrial y artesanal	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	
64. Estudios fotográficos	X					X							X	X										

Fuente: Control de calidad de aguas residuales. ANESAPA (La Paz – Bolivia).2004

2.1.2.4 Aguas residuales agricultura

Estas aguas son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de estas aguas es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.

2.1.3 Transporte de las aguas residuales

El transporte de las aguas residuales se realiza por medio de alcantarillados desde las viviendas, industrias, etc. hasta la planta de tratamiento de aguas residuales. Estos alcantarillados los podemos dividir en tres categorías.

2.1.3.1 Alcantarillado sanitario

Un alcantarillado sanitario transporta únicamente las aguas residuales domésticas y algunos residuos líquidos industriales compatibles con aquellas o que han sido sometidos a tratamientos preliminares, además de aguas subterráneas que se filtran dentro del alcantarillado.

2.1.3.2 Alcantarillado de aguas lluvias

Este alcantarillado recoge únicamente las aguas lluvias, o sea, se mantiene seco en épocas de sequía, exceptuando algunas aguas de infiltración que se pueden ir acumulando. La cantidad de estas aguas de infiltración dependerá de la posición del nivel freático.

Los flujos correspondientes al comienzo de una lluvia son muy contaminados por el arrastre de desperdicios sólidos que se realiza, existiendo cada vez la tendencia de tratar estos flujos iniciales después de haber sido almacenados, o de almacenarlos y descargarlos gradualmente a la corriente de agua receptora según su capacidad asimilativa.

2.1.3.3 Alcantarillado combinado

Un alcantarillado combinado recoge tanto las aguas residuales domésticas como las aguas lluvias. Esta costumbre es algo antigua y hoy en día sólo se practica en zonas donde resulta muy costosa la construcción de alcantarillados separados. Por lo general las partes antiguas de casi todo el centro urbano presentan este tipo de alcantarillado para aguas residuales domésticas y otro para aguas lluvias.²

2.2 Características físicas

La característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia orgánica en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.³

2.2.1 Sólidos

Los sólidos que se presentan en las aguas residuales pueden ser de tipo orgánico e inorgánico y provienen de las diferentes actividades domésticas e industriales.

Toda la materia, excepto el agua contenida en materiales líquidos, es considerada como materia sólida. La definición más generalizada de sólidos es la que se refiere a toda la materia sólida que permanece como residuo de una evaporación y secado bajo una temperatura entre 103-105°C.

Sólidos totales (ST)

Los sólidos totales en las aguas residuales se expresan como la cantidad de materia que permanece como residuo una vez se ha efectuado una evaporación entre 103y 105°C. Desde

² Tratamiento biológico de las aguas residuales. Universidad de Antioquía

³ Estudio, diseño y dimensionamiento del establecimiento depurador de líquidos cloacales de la ciudad de Tarija. U.A.J.M.S. 2008.

el punto de vista de las aguas residuales, este parámetro no es el de mayor significancia ya que se han desarrollado análisis complementarios de sólidos más útiles.

Sólidos volátiles (SV)

Si los sólidos totales se someten a una combustión bajo una temperatura de 600°C durante 20 minutos, la materia orgánica se convierte a CO_2 y H_2O . Esta pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica o volátil. Los sólidos que no se volatilizan se denominan sólidos fijos (SF). Esto quiere decir que la diferencia entre los ST y los SF nos dan los SV.

Sólidos suspendidos (SS)

Los sólidos suspendidos son de gran importancia en el tratamiento de las aguas residuales. Precisamente uno de los límites que se fijan a los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales está basado en la concentración de sólidos suspendidos.

Los sólidos suspendidos se determinan como la cantidad de material retenido después de realizar la filtración de un determinado volumen de muestra. El volumen que se filtra es casi siempre muy pequeño, por las dificultades que se presentan en la filtración. Esta filtración se hace en crisoles de Gooch que utilizan como medio filtrante el asbesto o la fibra de vidrio. Últimamente se ha impuesto el uso de filtros de tipo millipore o equivalente.

Cuando se usa la fibra de asbesto como medio filtrante, aquella y el crisol de Gooch se deben pesar inicialmente. Después de la filtración, el crisol, el medio filtrante y el material retenido se secan a 103-105°C permitiendo luego un enfriamiento. La diferencia en peso entre las condiciones iniciales y las finales representan los sólidos totales.

Últimamente se está utilizando un método en el cual los sólidos suspendidos presentes en el agua a ser analizada se filtran a través de filtros de fibra de vidrio que pueden ser retirados del crisol de Gooch después de la filtración. Estos medios filtrantes de fibra de vidrio, con los sólidos suspendidos retenidos, se secan en recipientes metálicos desechables que, como el medio filtrante, han sido pesados anteriormente.

La medición de los sólidos suspendidos debe ser muy cuidadosa, pues los volúmenes que se filtran son muy pequeños y cualquier error lleva a resultados muy alejados de la realidad.

Sólidos suspendidos volátiles (SSV)

Los sólidos suspendidos volátiles nos representan la fracción de sólidos suspendidos que se volatilizan a 600°C. Una vez determinados los sólidos suspendidos, el crisol de Gooch, el medio filtrante y el material retenido se llevan a una mufla en donde se someten a volatilización durante un periodo de 5 a 20 minutos para evitar que los medios filtrantes sean destruidos. La diferencia en peso de los sólidos suspendidos y el peso del filtro, después de ser sometidos a 600°C, nos representa los sólidos suspendidos volátiles.

Desde el punto de vista de los tratamientos de aguas se considera que los sólidos suspendidos son cualquier partícula susceptible de sedimentación. Los tiempos en que se lograría esta sedimentación a menudo son muy altos siendo necesario recurrir a coagulantes químicos o medios biológicos para acelerarla.

Sólidos disueltos (SD)

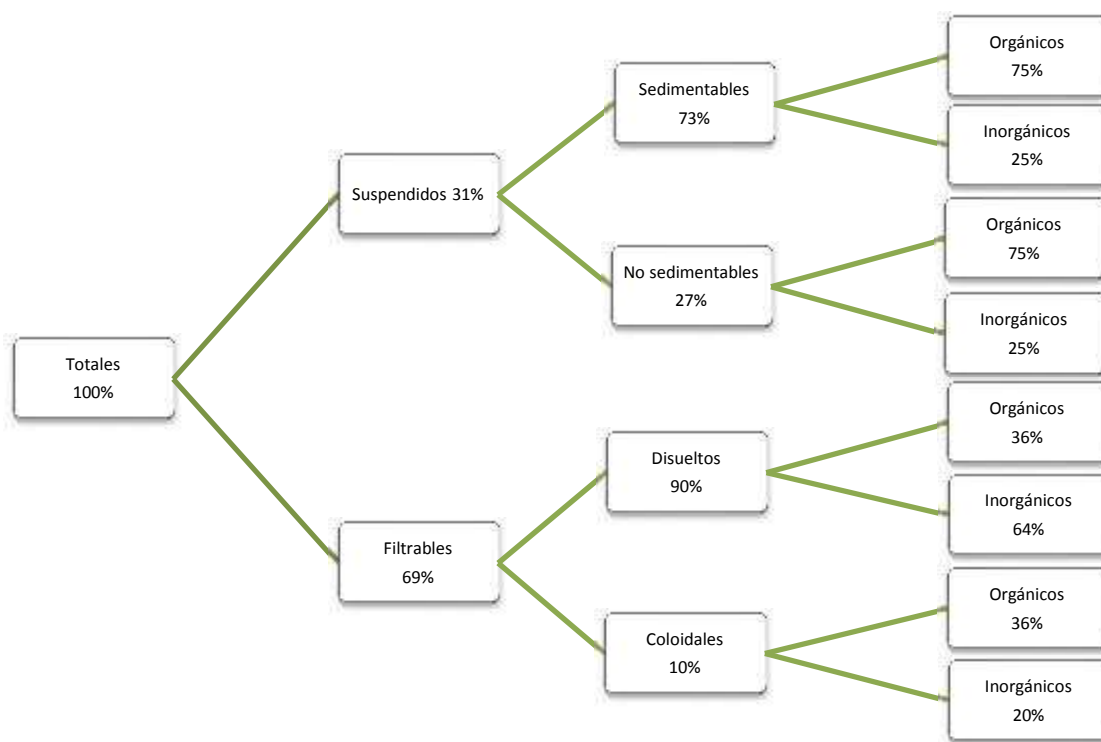
Los sólidos disueltos, a veces denominados sólidos filtrantes, son aquellos que pasan a través del medio filtrante cuando se determinan los sólidos suspendidos. La fracción inorgánica se determina haciendo que el líquido filtrado se someta a temperaturas que permitan conocer la fracción orgánica e inorgánica.

Sólidos sedimentables (SSD)

La determinación de los sólidos sedimentables es de suma importancia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas al permitir determinar la eficiencia en los procesos de sedimentación.

Los sólidos sedimentables se determinan como el volumen de sólidos en un filtro de desecho que sedimenta después de una hora en un cono Imhoff. Los resultados se expresan en mililitro/litro (ml/l).

Figura 2.2.- Clasificación de los sólidos presentes en las aguas residuales domésticas de concentración media



Fuente: Estudio, diseño y dimensionamiento del establecimiento depurador de líquidos cloacales de la ciudad de Tarija. U.A.J.M.S. 2008.

2.2.2 Olor

El olor de las aguas residuales domésticas es muy característico y ligeramente desagradable. A medida que la descomposición de estas avanza y los sulfatos son reducidos a sulfuros, se desprenden olores muy desagradables. Los olores de los residuos líquidos industriales son específicos para cada tipo de desecho.

Hasta el momento no existe una técnica adecuada para medir el olor en las aguas, pues las existentes están sujetas a las facultades olfativas del analista.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, en los últimos años, con el fin de mejorar la opinión pública respecto a la implantación de los sistemas de tratamiento, el control y la limitación de los olores han pasado a ser factores de gran

importancia en el diseño y proyecto de redes de alcantarillado, plantas de tratamiento y sistemas de evacuación de aguas residuales. En muchos lugares, el temor al desarrollo potencial de olores ha sido causa del rechazo de proyectos relacionados con el tratamiento de aguas residuales.

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. En condiciones extremas, los olores desagradables pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones humanas, desanimar las inversiones de capital, hacer descender el nivel socioeconómico y reducir el crecimiento.

2.2.3 Temperatura

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas debido a la energía liberada durante las reacciones bioquímicas que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes son otra de las causas del aumento de temperatura en las aguas residuales y en las corrientes que las recibe.

La temperatura es un parámetro 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 reacciones químicas que produce un aumento de temperatura, combinado 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. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras.

2.2.4 Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m^3 . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella

depende la potencial formación de corrientes de densidad en 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. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

2.2.5 Color

El color es un indicativo de las aguas residuales domésticas. Cuando éstas son frescas su color es grisáceo, pero a medida que los compuestos orgánicos son desdoblados por las bacterias y las condiciones se tornan en anaerobias, su color cambia a negro.

El color causado por materia suspendida se conoce como color aparente. Las partículas que lo causan son cargadas negativamente y su remoción se efectúa por medio de coagulación. El color verdadero es causado por sustancias vegetales de tipo coloidal.

La remoción del color verdadero es muy compleja. Todavía se continúan haciendo investigaciones que permitan lograr una remoción más factible técnica y económicamente.

La determinación del color se hace por medios colorímetros utilizando soluciones estándar arbitrarias, elaboradas a partir de cloriplatinato de potasio, teñidas con pequeñas cantidades de cloruro de cobalto, las cuales producen colores muy similares a los colores naturales que se encuentran en las aguas, cuando se trata de analizar aguas residuales con alto contenido de color es más recomendable utilizar métodos espectrofotométricos.

2.2.6 Turbiedad

La turbiedad siempre ha estado relacionada con la calidad del agua, pues desde tiempos remotos el ser humano ha identificado el agua limpia con el agua sin turbiedad.

La turbiedad es causada por partículas suspendidas que interfieren el paso de la luz a través del agua. Estas partículas varían en tamaño y van desde las coloidales hasta las granulares.

La presencia de altas turbiedades hace más difícil la filtración de las aguas, disminuye los tiempos de filtración de los filtros lentos de arena y aumenta los costos de operación. Cuando se tienen turbiedades muy altas en los influentes de una planta de tratamiento es necesario realizar una coagulación química antes de que el agua sea admitida a los filtros con el fin de aumentar la eficiencia de estos.

La medición de la turbiedad puede hacerse por métodos visuales o instrumentales. El método visual relaciona la turbiedad con la interferencia causada por las partículas al paso de la luz. El método instrumental hace uso de la nefelometría para medir la intensidad de la luz dispersa por las partículas que causan la turbiedad. Debido a las diferencias en ambos métodos, el método instrumental se expresa en términos de unidades de turbiedad, debido a las diferencias en ambos métodos el método instrumental se expresa en términos de unidades de turbiedad nefelométrica UTN y el método visual en términos de UT.

2.3 Características químicas

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

2.3.1 Materia orgánica

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con las 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 el azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites. 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.

Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas, los aceites y la urea, el agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja.

Como podemos citar a los agentes tenso activos, los contaminantes orgánicos prioritarios, los compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas de uso agrícola. En los últimos años este hecho ha complicado notablemente los procesos de tratamientos de aguas residuales debido a la imposibilidad o a la extrema lentitud de los procesos de descomposición biológica de dichos compuestos.

2.3.1.1 Medición del contenido orgánico

Se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. Los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1mg/l, y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza, para concentraciones en el intervalo de los 0.001 mg/l a 1 mg/l.

El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y demanda teórica de oxígeno (DTeO). En el segundo grupo de ensayos, los empleados para determinar concentraciones a nivel de traza, por debajo de 1 mg/l, se emplean métodos instrumentales que incluyen la cromatografía de gases y la espectroscopia de masa.

La determinación de las concentraciones de pesticidas suele llevarse a cabo mediante el método de extracción con carbono-cloroformo, que consiste en la separación de los contaminantes del agua haciendo pasar una muestra de agua por una columna de carbón activado, para luego separar los contaminantes del carbono empleando cloroformo.

2.3.2 Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las aguas residuales, salvo en caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo del uso.

Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso.

2.3.3 Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el metano. Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Si bien no se encuentran en el agua residual sin tratar, existen otros gases como por ejemplo del cloro y el ozono (desinfección y control de olores), y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión).

2.4 Características biológicas

Para el tratamiento biológico se deben de tomar en cuenta las siguientes características del agua residual: principales grupos de microorganismos presentes, tanto en aguas

superficiales como en residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos organismos patógenos presentes en las aguas residuales; organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

2.4.1 Microorganismos

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, bacterias y arqueobacterias, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.5: Clasificación de los microorganismos

Grupo	Estructura Celular	Caracterización	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota (a)	Multicelular con gran diferenciación de las células	Plantas(plantas de semilla, misgos y helechos) Animales(vertebrados e invertebrados) Protistas(algas, hongos y protozoos)
Bacterias	Procariota (b)	Química celular parecida a las eucariotas	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota (b)	Química celular distintiva	Metanogenos, halofilos, termacidofilos

(a) Contienen un núcleo definido

(b) No contienen membrana nuclear

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996

Las bacterias desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis.

Los hongos, desde el punto de vista ecológico, presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica empezaría a acumularse.

La presencia de algas afecta al valor del agua de abastecimiento ya que puede originar problemas de olor y sabor. Uno de los problemas más importantes es encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de diferentes orígenes de modo que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas.

Los protozoarios de importancia para el saneamiento son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoarios se alimentan de bacterias y de otros microorganismos microscópicos. Tienen una importancia capital, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos, como en la purificación de cursos de agua, ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos. Se debe controlar el agua de suministro ya que ciertos protozoarios son también patógenos, tales como el *Cryptosporidium parvum* y la *Giardia lamblia*.

Las diferentes plantas y animales que tienen importancia son de tamaños muy variados, desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.

Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Se sabe con certeza que algunos virus pueden sobrevivir hasta 41 días, tanto en aguas limpias como en residuales a temperatura de 20°C, y hasta 6 días en un río normal.

2.4.2 Organismos patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas

residuales son: Bacterias, virus y protozoarios. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades en el aparato intestinal como la fiebre tifoidea o paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales.

2.4.3 Organismos indicadores

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales contaminadas en cantidades muy pequeñas y además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias conocidas como organismos coliformes, cada humano evacua de 100,000 a 400,000 millones organismos coliformes cada día. Por ello, se puede considerar que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquellos es un indicador de que las aguas están libres de organismos que puedan causar enfermedades. Pero existe un problema por el cual los coliformes no son tan buenos indicadores, ya que hay algunos patógenos que pueden estar presentes en el agua aun en ausencia de coliformes.

2.5 Efectos indeseables y contaminantes en aguas residuales

Algunos de los efectos indeseables más relevantes de las aguas residuales se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2.6: Efectos indeseables de las aguas residuales

Contaminante	Efecto
Materia orgánica biodegradable	Desoxigenación de agua, muerte de peces, olores indeseables.
Materia suspendida	Deposición en los lechos de los ríos, si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases; cubre el fondo e interfiere con la reproducción de los peces o trastorna la cadena alimenticia.
Sustancias corrosivas, cianuros, metales, fenoles	Extinción de peces y vida acuática, destrucción de bacterias, interrupción de la autpurificación.
Microorganismos patógenos	Las ARD pueden transportar organismos patógenos, los residuos de curtiembre ántrax.
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color, olor	El incremento de temperatura afecta a los peces; el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público
Sustancias o factores que trastornan el equilibrio biológico	Pueden causar crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas, las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores, etc.
Constituyentes minerales	Aumentan la dureza, limitan los usos industriales sin tratamiento especial, incrementan el contenido de sólidos disueltos a niveles perjudiciales para los peces o la vegetación, contribuyen a la eutrofización del agua.

Fuente: Tratamiento de aguas residuales. Romero Rojas Jairo

Algunos de los contaminantes de importancia en las aguas residuales se presentan a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 2.7: Contaminantes de importancia en aguas residuales (a)

Contaminante	Causa de su importancia
Sólidos suspendidos	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias cuando se descargan a aguas residuales crudas.
Materia orgánica biodegradable	Está compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Se mide en términos de DBO y DQO por lo general. Si no es previamente removida puede producir agotamiento del oxígeno disuelto de la fuente receptora y desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Producen enfermedad.
Nutrientes	El C, N y P son nutrientes. Cuando se descargan en las aguas residuales pueden producir crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando se descargan en cantidades excesivas sobre el suelo pueden producir contaminación del agua subterránea.
Materia orgánica refractaria	Resiste tratamiento convencional. Ejemplos: Detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Proviene de aguas residuales comerciales e industriales y es posible que deban ser removidos para reuso del agua.
Sólidos inorgánicos disueltos	Algunos como el calcio, sodio y sulfatos son agregados al suministro doméstico original como resultado del uso y es posible que deban ser removidos para reuso del agua.

Fuente: Tratamiento de aguas residuales. Romero Rojas Jairo

Tabla 2.8: Contaminantes de importancia en aguas residuales (b)

Contaminante	Parámetro típico de medida	Impacto ambiental
Materia orgánica biodegradable	DBO, DQO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables.
Materia suspendida	SST, SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.
Patógenos	CF	Hace el agua insegura para consumo y recreación
Amoníaco	NH ₄ ⁺ - N	Desoxigena el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas
Fósforo	Ortofosfatos	Puede estimular el crecimiento de algas.
Materiales tóxicos	Como cada material toxico específico	Peligroso para la vida vegetal y animal.
Sales inorgánicas	SDT	Limita los usos agrícolas e industriales del agua.
Energía térmica	Temperatura	Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismos acuáticos.
Iones hidrógeno	Ph	Riesgo potencial para organismos acuáticos.

Fuente: Tratamiento de aguas residuales. Romero Rojas Jairo

3.1 Introducción

Debido a dificultades taxonómicas, las tendencias recientes llevan a dividir los seres vivos en tres reinos: animal, vegetal y protisto. El reino protisto incluye gran parte de los microorganismos, aunque anteriormente éstos se clasificaban íntegramente en los reinos animal y vegetal. El reino protisto contiene microorganismos que tienen en general, dos planes diferentes de arquitectura celular: los Procariotidos o microorganismos unicelulares sin verdadero núcleo, comprenden las bacterias y algas verde-azules; los Eucariotidos o microorganismos de células con verdadero núcleo, comprenden las algas, hongos y los protozoos. Como todos los animales y plantas superiores tienen células eucariotidas, es probable que estos microorganismos sean los antecesores de los reinos animal y vegetal.

Tabla 3.1: Los tres reinos de los microorganismos

Reino	Miembros Representativos	Características
Animal	Rotíferos Crustáceos	Multicelulares con diferenciación de tejidos.
Vegetal	Algas Marinas Mohos	
Protisto		Unicelulares o multicelulares sin diferenciación de tejidos.
Eucariotidos	Algas Marinas Protozoos Hongos	
Procariotidos	Algas verde-azules	

Fuente: Tratamiento biológico de las aguas residuales. Universidad de Antioquía

Por otra parte, los virus no son células, ya que no son sistemas dinámicos abiertos. Sólo cuando están asociados con células verdaderas adquieren algunos atributos de los seres vivos.

Para el tratamiento biológico de las aguas residuales, los microorganismos de más interés son las bacterias, pues ellas son responsables de casi la totalidad de la remoción de sustrato

orgánico. En efecto su tamaño varía entre 0.3 y 50 μm ($1\mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$), estando las más comunes entre 0.5 y 3.0 μm . Es así como la relación de superficie de absorción a volumen de microorganismos es muchísimo más alta que en los otros microorganismos presentes en los cultivos para el tratamiento biológico de aguas residuales y tienen consiguientemente más eficiencia de absorción del sustrato. Además, los procesos de ingeniería del tratamiento biológico de aguas residuales, tales como la sedimentación, imponen este tipo de microorganismos, en contra de otros saprofitos naturales como los hongos.

Desde el punto de vista del modo de obtención de energía para las reacciones metabólicas y la síntesis de nuevo material celular, los organismos autótrofos obtienen su energía directamente de la luz solar o por reacciones inorgánicas de óxido-reducción. Los organismos que obtienen la energía directamente del sol son llamados Autótrofos Fotosintéticos y los que la obtienen de reacciones de óxido-reducción son llamados Autótrofos Quimiosintéticos.

Los organismos autótrofos tienen la propiedad de convertir compuestos inorgánicos oxidados, en compuestos orgánicos que almacenan la energía de la luz solar o de las reacciones de óxido-reducción en enlaces químicos de alta energía. El CO_2 es para ellos, la fuente del carbono orgánico y en general, de toda la biomasa existente en la tierra. Asimismo son los que fijan la energía solar e inician el ciclo de transmisión de energía a través de la cadena alimentaria o cadena trófica, que da vida al resto de organismos en el mundo.

Los organismos heterótrofos, sólo pueden obtener energía a través de la oxidación de materia orgánica, es decir, se requieren compuestos sintetizados por organismos autótrofos. Estos organismos obtienen el carbono orgánico de compuestos orgánicos y con su degradación obtienen la energía para su manutención.

Los microorganismos, tanto Eucariotidos como Procariotidos, pueden obtener energía por el método autotrófico como por el método heterotrófico. Como tienen diferencias taxonómicas entre sí más importantes que el modo de obtención de energía, no es posible clasificarlos simplemente como animales o vegetales, sino en el reino protisto.

Las bacterias específicamente pueden ser autotróficas y heterotróficas, aunque este último grupo es de mayor interés en nuestro tema.

3.2 Microorganismos de las aguas residuales

En las aguas residuales se pueden encontrar diversas especies de microorganismos procedentes de actividades desarrolladas por el hombre a su metabolismo. La preparación de alimentos, lavado de pisos y utensilios, el aseo personal, la evacuación de heces y orina contribuyen con microorganismos a las aguas residuales.

Personas sanas son portadoras de organismos patógenos y pueden originar brotes de enfermedades como fiebre tifoidea, diarreas, amibiasis, etc. por contacto directo, consumo de aguas contaminadas. De esta manera los portadores sanos siempre están expulsando microorganismos en las heces que pueden infectar personas o individuos sanos.

Algunos ejemplos de los distintos grupos de microorganismos son: Escherichia y Aerobacter entre las bacterias saprofitas proteus y klebsiella entre las bacterias patógenas ocasionales y Shigela y Salmonella entre las bacterias patógenas. Escherichia coli presenta numerosas especies algunas de ellas son enteropatógenas y otras enterotóxicas.

Los organismos patógenos expulsados por portadores sanos y enfermos se encuentran con más frecuencia en aguas residuales específicamente las bacterias, los protozoarios y nematodos son más frecuentes cuando ocurren infestaciones.

3.2.1 Importancia de los microorganismos

En la naturaleza los microorganismos son los responsables de llevar a cabo la transformación de la materia orgánica e inorgánica, jugando un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos del C, O, N, S, y P. De aquí, que se pueda considerar que ellos son esenciales para el mantenimiento integral de la biosfera de la cual dependen todas las formas de vida superiores, siendo las bacterias los microorganismos más importantes, ya que ellas existen en una variedad de especies muy grande y con requerimientos nutricionales y capacidades metabólicas diferentes que permiten su acción en los más variados hábitat.

Por otra parte, el hombre utiliza a los microorganismos como herramienta fundamental en el tratamiento y reciclaje de los materiales de desecho. Solo un pequeñísimo por ciento de

los microorganismos conocidos (aproximadamente el 0.1%) son patógenos, causando enfermedades infecciosas en el hombre, los animales y las plantas.

De los microorganismos causantes de enfermedades en el hombre una gran parte son transmitidos a través de las excretas de los enfermos, lo que hace que se requiera de medidas especiales para el transporte y disposición de las aguas residuales, de forma tal que se evite la contaminación de las aguas de consumo con las aguas residuales. Entre las enfermedades transmitidas por las aguas contaminadas se encuentran: el cólera, la hepatitis infecciosa, la disentería, la poliomielitis, la fiebre tifoidea y paratifoidea, etc.

La microbiología sanitaria es un campo relativamente nuevo y muy especializado de la microbiología que le brinda al ingeniero sanitario y ambiental las herramientas necesarias para proveer un agua de calidad para el consumo humano, así como realizarles un tratamiento adecuado a las aguas residuales. La microbiología sanitaria presenta dos campos de acción importantes:

- ❖ Uno se fundamenta en la purificación y abastecimiento del agua para el uso doméstico, en el cual el control de los microorganismos patógenos, así como los responsables de la producción de olor, color y sabor en las aguas, juegan un papel fundamental. Por otra parte, su conocimiento permite determinar el tipo de tratamiento que debe dársele al agua para garantizar su calidad desde el punto de captación hasta el punto de consumo.
- ❖ El otro campo importante de la microbiología sanitaria es el que se ocupa del tratamiento de las aguas residuales. El objetivo fundamental del tratamiento biológico de las aguas residuales es el coagular y remover los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica a través del crecimiento microbiano.

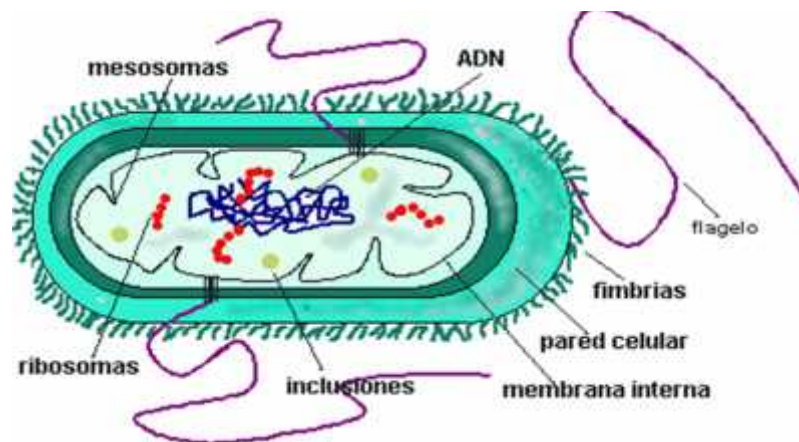
Por otra parte, las bases para el diseño de los sistemas de tratamiento biológico de las aguas residuales, así como la selección del tipo de tratamiento a ser utilizado depende de la forma, estructura y actividad bioquímica de los microorganismos presentes, de aquí la importancia de conocer los microorganismos que crecen en las poblaciones microbianas mixtas de estos sistemas, así como el efecto de los factores ambientales sobre los mismos.

3.2.2 Tipos de microorganismos

3.2.2.1 Bacterias

Las bacterias tienen una arquitectura celular que se puede esquematizar a continuación:

Figura 3.1: Partes de una bacteria



Fuente: Plantas de tratamiento. UMSS

En general, las bacterias tienen una membrana celular que guarda los otros elementos internos necesarios. Esta membrana está a menudo protegida por una pared celular que protege la membrana y da forma y tamaño definido a la célula. La membrana celular está compuesta por fosfolípidos y proteínas principalmente. Esta membrana sirve como barrera de permeabilidad, pues existen grupos grasos – acil que abren y cierran poros del tamaño de 0.4 – 0.5 nm. ($1\text{nm} = 1 \times 10^9 \text{ m}$), lo que determina el tamaño de molécula que puede penetrar al interior. La propiedad selectiva de asimilación de la membrana está definida por su composición química y su estructura.

La membrana celular contiene el citoplasma que consiste en una solución acuosa de sales, azúcares, aminoácidos, vitaminas, coenzimas, y una gran variedad de material soluble. La concentración interna de sales del citoplasma es mucho mayor que la del medio que la rodea, en términos generales. Esto hace que la presión osmótica hacia el exterior sea grande, por lo cual son necesarias la pared celular y la cápsula para conservar la forma.

Dentro del citoplasma se encuentran los ribosomas que son cuerpos que contienen ácido ribonucleico, ARN y que es parte principal de la maquinaria de síntesis de proteínas. También en su interior se encuentra la zona del núcleo, no completamente definida, y muy rica en ácido desoxirribonucleico, ADN. El ADN contiene toda la información genética para la reproducción y se considera como la clave fundamental de la vida.

Si las bacterias son móviles, tienen flagelos que son apéndices de unos 20 nm. de longitud. En general la estructura celular está bastante bien entendida, conociéndose gran parte de componentes de los diversos sistemas celulares y su modo de operación. En otras palabras, las funciones vitales están bastante reducidas a relaciones, meramente físicas, químicas y eléctricas, que permiten una representación de la vida, en forma bastante mecánica por cierto.

Las bacterias están compuestas en un 75-80% de H₂O y un 20% de material seco, del cual el 80-90% es orgánico y el resto inorgánico. La composición química aproximada es C₅ H₇ NO₂, lo que significa aproximadamente la mitad de la parte orgánica es carbono. Los compuestos inorgánicos principales son: P₂O₅ (50%), SO₃ (15%), Na₂ O (11%), CaO (9%), MgO (8%), K₂O (6%) y Fe₂O₃ (1%).

Las bacterias pueden ser esféricas, cilíndricas y espirales. Las esféricas pueden estar individualmente (cocos), por partes (diplococos) o formando cadenas (estreptococos) y ramilletes (estafilococos). Las cilíndricas pueden venir individualmente (bacilos) o en cadenas (estreptobacilos); las espirales (espirilos) se mantienen desunidas de otras compañeras generalmente.

3.2.2.1.1 Tamaño y forma de las bacterias

El tamaño y forma de las bacterias se encuentra en el rango entre 0.3 y 2 μm; exceptuando a las bacterias filamentosas las cuales en ocasiones son mayores de 100 μm, y algunas cianobacterias cuyo tamaño puede estar en el rango entre 5 y 50 μm. A su vez, la mayoría de las bacterias presentan una de las tres formas básicas:

- ❖ **Esféricas o cocos:** Son unicelulares y su nombre viene del griego kokkos que significa grano, su tamaño se encuentra entre 0.5 y 2 μm , según su disposición y de acuerdo a como ocurre la división de estas bacterias, podemos encontrarlos formando diferentes agrupaciones: diplococos, estreptococos, tétradas, sarcinas y estafilococos.
- ❖ **Bastones o bacilos:** Son unicelulares y su nombre viene del latín bacillum que significa bastoncillo. Pueden ser cortos, largos y pleomórficos, con diámetros entre 0.5 y 3 μm y entre 1.5 y 20 μm de largo. Ej. *Vibrio cholerae*.
- ❖ **Espirales o helicoidales:** Son unicelulares más alargadas que los bacilos y se encuentran enrolladas de modo característicos en forma espiral, su tamaño oscila entre 0.1. y 3 μm de ancho y entre 5 y 250 μm de largo y presentan una forma típica de locomoción por movimientos de rotación y torsión. Ej. *Leptospira*.

Tabla 3.2: Principales grupos de bacterias

	GRUPO	REPRESENTANTE	PROPIEDADES
1	Bacterias Gram-negativas		Pared celular multicapa.
1.1	Bacterias Quimioatótrofas		
1.1.1	Bacterias Mirificantes	<i>Nitrosomonas</i> <i>Nitrobacter</i>	NH_4 NO_2^{-1} NO_2^{-1} NO_3^{-1}
1.1.2	Bacterias Sulfooxidante	<i>Thiobacillus</i> <i>Thiothrix</i> <i>Thiomicrospira</i> <i>Beggiatoa</i>	Oxidán al: H_2S , S, SO_3 , $\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$
1.1.3	Bacterias del hierro	<i>Thiobacilliis ferrooxidans</i> <i>Gallionella</i>	Oxidán al Fe^2
1.1.4	Bacterias Metanotroficas	<i>Methylomonas</i>	Oxidán el CH_4
1.2	Bacterias Anaerobias		
1.2.1	Bacterias Facultativas	<i>Bacteroides</i> <i>Veillonella</i>	
1.2.2	Bacterias Sulforreductoras	<i>Desulfovibrio</i>	SO_4^{-2} H_2S
1.3	Bacterias Fototrofica		

	GRUPO	REPRESENTANTE	PROPIEDADES
1.3.1	Cyanobacteria	<i>Oscillatoria</i> <i>Anabaenna</i> <i>Spirulina</i>	Fotosíntesis oxigénica, algunas fijan N ₂
1.3.2	Bacterias Púrpuras	<i>Chromatium</i> <i>Thiopyrillum</i> <i>Rhodospseudomonas</i> <i>Rhodospirillum</i>	Utilizan al H ₂ S o la materia orgánica como dador de electrones.
1.3.3	Bacterias Verdes	<i>Chlorobium</i>	Utilizan al H ₂ S o la materia orgánica como dador de electrones
1.4	Quimioheterótrofas Aerobias		
1.4.1	Pseudomonas	<i>Pseudomonas</i> <i>Zooglea</i>	Muy versátiles.
1.4.2	Rhizobium	<i>Rhizobium</i>	Fijación simbiótica del N ₂
1.4.3	Azotobacter	<i>Azotobacter</i>	Fijación no simbiótica del N ₂ .
1.4.4	Bacterias que se reproducen por gemación, prostecadas y con apéndice	<i>Caulobacter</i> <i>Hyphomicrobium</i>	
1.4.5	Bacterias Ácido Láctico	<i>Acetobacter</i>	Etanol Ácido Acético
1.4.6	Bacterias Envainadas	<i>Sphaerotilus natans</i>	Forman Vaina.
1.4.7	Spirillum	<i>Spirillum</i>	
		<i>Campylobacter</i> <i>Bdellovibrio</i>	Parásitos.
1.4.8	Neisseria y Otras	<i>Acinetobacter</i> <i>Neisseria</i> <i>Legionella</i>	
1.5	Bacterias Entéricas	<i>Escherichia coli</i> <i>Enterobacter aerogenes</i>	Microorganismos indicadores de contaminación fecal
		<i>Salmonella</i> <i>Vibrio</i> <i>Shigella</i> <i>Yersinia</i>	Muchas son patógenas.
1.6	Espiroquetas	<i>Treponema</i> <i>Leptospira</i> <i>Borrelia</i>	Forma espiral pared celular flexible.
1.7	Bacterias deslizantes		

	GRUPO	REPRESENTANTE	PROPIEDADES
1.7.1	Myxobacteria	<i>Myxococcus</i> <i>Chondromyces</i>	Tienen un ciclo de vida complejo presentan cuerpos fructíferos.
1.7.2	Grupo Cytophaga	<i>Cytophaga</i>	Descompone celulosa.
1.7.3	Bacterias filamentosas deslizantes	<i>Vitreoscilla</i> <i>Leucothrix</i>	
1.8	Rickettsias y Clamidas	<i>Rickettsia</i> <i>Chlamidia</i>	Parásitos intracelulares.
2	Bacterias Gram-positivas		Pared celular monocapa.
2.1	Cocos	<i>Micrococcus</i> , <i>Streptococcus</i> <i>Stafilococcus</i> , <i>Sarcina</i>	Producción de ácido láctico.
2.2	Bacterias con forma de bacilo no formadoras de esporas	<i>Lactobacillus</i>	Producción de ácido láctico.
2.3	Bacterias con forma de bacilos formadoras de esporas	<i>Bacillus</i> <i>Clostridium</i>	Aerobio. Anaerobio obligado.
2.4	Actinomicetales (semejantes a hongos)	<i>Actinomyces</i> <i>Streptomyces</i> <i>Mycobacterium</i> <i>Nocardia</i> <i>Micromonospora</i>	Producción de antibióticos
2.5	Bacterias Coryneformes	<i>Corynebacterium</i> <i>Arthrobacter</i>	Patógenas
3	Archaeobacteria		Presentan pared celular diferentes a las eubacterias.
3.1	Metanogenos	<i>Matanobacterium</i> <i>Metanosarcina</i> <i>Metanohix</i>	
3.2	Termoacidófilos	<i>Sulfolobus</i>	
3.3	Halófilos	<i>Halobacterium</i>	
1	Mollicutes	<i>Mycoplasma</i>	No presentan pared celular.

Fuente: Plantas de tratamiento. UMSS

3.2.2.1.2 Coliformes

Los coliformes son un grupo de bacterias que incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. Por constituir un grupo muy numeroso, 2×10^{11} organismos por persona por día, en los excrementos humanos, se usan como indicadores de contaminación, por organismos patógenos, en el agua. El hecho de que los *aerobacter* y ciertos *Escherichia* pueden crecer en el suelo, no permite afirmar siempre que la presencia de coliformes la cause la contaminación fecal. Sin embargo, en aguas de consumo humano la presencia de coliformes se usa como indicador de contaminación, puesto que el agua no debe tener contacto con el suelo. En aguas residuales se usa el ensayo de coliformes fecales, bacterias que producen gas en medio EC a 44.5°C , en 24 ± 2 h, como indicador de contaminación, los cuales constituyen los mejores indicadores de la presencia posible de patógenos.

Dentro del grupo de coliformes se considera a la *Escherichia coli* de origen fecal exclusivamente, y por ello es el organismo indicador preferido de contaminación fecal. En la práctica todos los coliformes – se supone – no crecen fuera del huésped, lo cual se cumple generalmente en climas templados; sin embargo, existe evidencia de que se multiplican en aguas de clima cálido.

3.2.2.2 Hongos

Para los Ingenieros Sanitarios, los hongos pueden ser considerados como microorganismos multicelulares y heterótrofos. La definición para los microbiólogos es más estricta. La mayoría de los hongos son estrictamente aerobios y pueden tolerar ambientes de bajo Ph, con rango general de 9-2 y un valor óptimo del pH de 5.6. Además son de bajos requerimientos de nitrógeno, por lo que pueden competir favorablemente con las bacterias en ambientes ácidos con bajo contenido de nutrientes. Tienden a crecer en formas filamentosas llamadas micelios, que se componen de unidades microscópicas llamadas hipas. No sedimentan bien y por ser filamentosos tienen una relación área de absorción a volumen de microorganismos baja, aunque son eficientes para la remoción de materia orgánica.

En cuanto a su distribución, la mayoría de los hongos son terrestres aunque algunos son acuáticos, principalmente de las aguas dulces y unos pocos viven en el mar. Por otra parte, los hongos también se encuentran formando asociaciones beneficiosas con otros organismos como es el caso de la asociación con las raíces de las plantas vasculares a la cual se le conoce como micorrizas, y en el caso de la asociación con algas o cianobacterias se le conoce como líquenes. La importancia que tienen los hongos hay que evaluarla desde dos puntos de vista: el beneficioso y el dañino.

- ❖ Desde el punto de vista beneficioso se debe destacar que los hongos al igual que las bacterias y otros pequeños grupos de organismos heterótrofos actúan como descomponedores, degradando la materia orgánica compleja inerte presente en el medio ambiente hasta compuestos orgánicos simples y moléculas inorgánicas. Este rol que realizan los hongos, y en general los microorganismos descomponedores, es de gran importancia ya que permite que ciclen constituyentes como son: carbono, nitrógeno, fósforo y otras sustancias, las cuales pueden ser utilizadas por otros organismos. En la industria los hongos son también de gran importancia, las levaduras son fundamentales en los procesos fermentativos, como es el caso de la producción de pan, vino y cerveza, en la producción de algunos quesos también los hongos son importantes, así como en la industria química y farmacéutica.
- ❖ Desde el punto de vista dañino, hay que señalar que los hongos son la principal causa de enfermedades en las plantas causando cuantiosas pérdidas económicas, además algunos hongos son los responsables de enfermedades en los animales y el hombre, aunque en general los hongos son menos significativos como patógenos de los animales que las bacterias y los virus.

3.2.2.3 Algas

Las algas son organismos eucariotas que presentan clorofila así como otros pigmentos fotosintéticos para llevar a cabo la fotosíntesis oxigénica; sin embargo son protistas pues carecen de tallos, hojas y raíces. Las algas no deben confundirse con las cianobacterias las

cuales también realizan la fotosíntesis oxigénica pues estas últimas son eubacterias y evolutivamente son diferentes a las algas.

El hábitat de las algas es el agua, tanto dulce como salobre o de mar, pero también suelen encontrarse en suelos húmedos. Las algas pueden ser unicelulares o pluricelulares. La mayoría de las algas son microorganismos unicelulares flotantes, los cuales forman el fitoplancton, otras algas forman colonias y algunas son microscópicas, formando largos filamentos, como es el caso de las algas marinas.

El cuerpo vegetativo de las algas es llamado thollus y varía desde una simple célula hasta la complejidad de formas multicelulares como es el caso de las algas marinas gigantes.

Las algas en el ambiente acuático juegan un papel fundamental como productores primarios, siendo ellas en muchas ocasiones las que inician una cadena alimentaria. Todas las algas contienen clorofila *a* y pueden contener otros tipos de clorofila *b* y *c* así como otros pigmentos entre los que se encuentran los carotenos y xantofilas, estos últimos son los responsables de los diferentes colores que presentan las algas.

Las células de las algas contienen uno o más cloroplastos donde se efectúa la fotosíntesis oxigénica, utilizando la luz como fuente de energía y al agua como aceptor final de electrones, la mayoría de las algas son autótrofas utilizando al CO₂ como fuente de carbono; sin embargo, algunas algas son heterótrofas y usan compuestos orgánicos simples, tales como azúcares simples y ácidos orgánicos como fuentes de carbono y de energía.

Hay algunas algas son móviles mediante flagelos; sin embargo, los cilios no se presentan en las algas.

Figura 3.2: Algas



Fuente: Plantas de tratamiento. UMSS

3.2.2.3.1 Clasificación de las algas

Para la clasificación de las algas se toman en cuenta una serie de características entre las que se encuentran:

- ❖ El tipo de clorofila.
- ❖ La estructura de la pared celular.
- ❖ Polímero de reserva producido.

Clorophytas (algas verdes): Este grupo de algas es muy variado, encontrándose algas unicelulares y pluricelulares, de aguas dulces, saladas y el suelo húmedo. Presentan clorofila a y b, tienen pared celular de celulosa y almacenan almidón como material de reserva. El representante típico es las Clamidomonas.

Euglenophytas: Son algas unicelulares y flageladas, que contienen clorofila a y b, no presentan pared celular y el material de reserva es el paramylon que es polímero de glucosa. Ellas se presentan en aguas dulces, salobres, marinas y en suelos húmedos. El representante típico de este grupo es la Euglena la cual presenta vacuolas características de las células

fagocíticas, así como estigma o mancha ocular que le permite al alga orientarse hacia la fuente luminosa.

Chrysophytas (algas verde amarillas y pardas brillantes): Este grupo de algas es muy diverso y deben su color a la presencia de xantofilas y carotenos, además de la presencia de clorofila a y c; la mayoría son unicelulares o forman colonias y algunas presentan flagelos. A este grupo pertenecen las diatomeas. Las diatomeas se encuentran en todas partes, tanto aguas dulces, salobres, marinas, los sedimentos y el suelo. El material de reserva que producen son lípidos y su pared celular contiene sílica, esto hace que cuando mueran se produzcan las formaciones geológicas conocidas como tierras de diatomeas.

Phyrrphytas (dinoflageladas): Son algas unicelulares que presentan flagelos, la mayoría son marinas pero algunas viven en aguas dulces. Contienen clorofila a y c, la pared celular es de celulosa y el material de reserva es almidón. Algunas de las algas producen toxinas que matan a centenares de peces (marea roja), otras sirven de alimento a moluscos, los cuales son entonces muy tóxicos.

Rhodophytas (algas rojas): Las algas rojas son encontradas exclusivamente en ambientes marinos, solo unas pocas son unicelulares, siendo la mayoría filamentosas y multicelulares. Ellas contienen clorofila a y d y otros pigmentos como la ficoeritrina. Almacenan almidón y su pared celular es de celulosa.

Phaeophyta (algas pardas): Son algas pluricelulares exclusivamente de ambientes marinos, contienen clorofila a y c y xantofilas, ellas almacenan como material de reserva el laminarín (1-3 glucán) y presentan pared celular de celulosa.

3.2.2.4 Protozoos

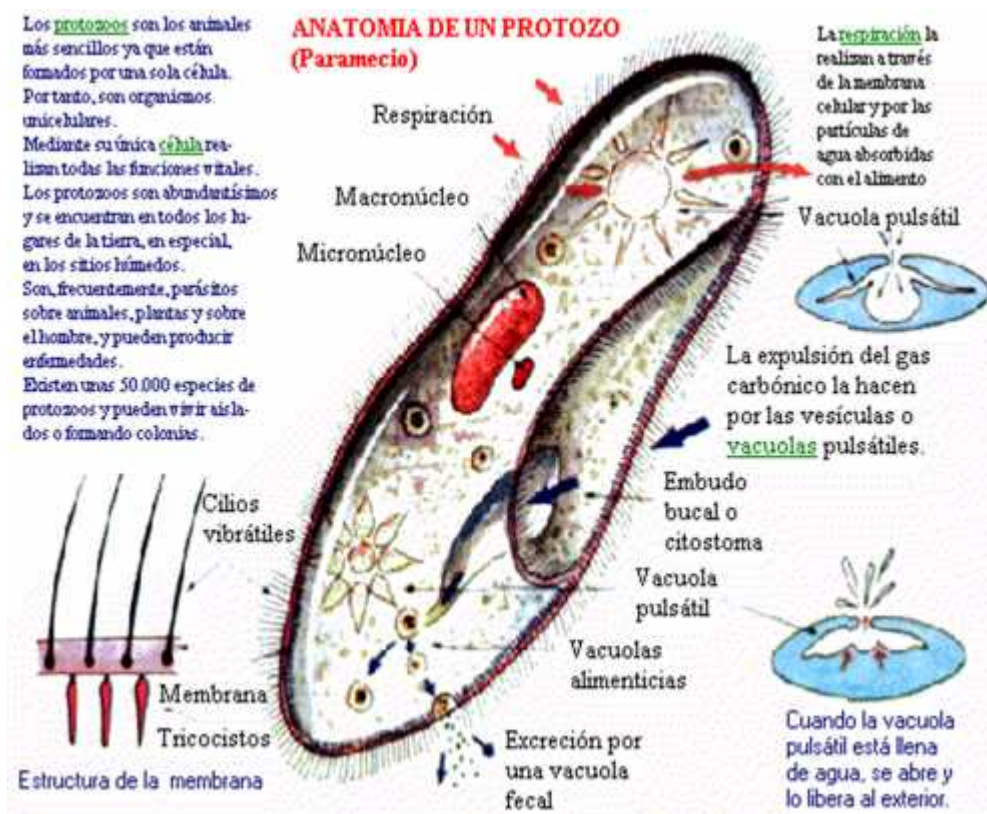
Los protozoos son protistas eucariotas, unicelulares que carecen de pared celular y que usualmente son móviles. Las células de los protozoos no presentan pared celular rígida y algunos presentan por fuera de la membrana celular una estructura protectora llamada cutícula. Los protozoos, a pesar de ser unicelulares o formar colonias, son considerados los protistas más desarrollados debido a su compleja estructura interna, su modo de vida y su

reproducción, lo cual ha hecho que algunos científicos los consideren animales microscópicos.

Los protozoos se encuentran distribuidos en una variedad de hábitat tanto de aguas dulces como saladas y algunos se encuentran creciendo en el suelo o sobre la superficie de los árboles, la mayoría son de vida libre y algunos son parásitos de animales y del hombre.

Muchos protozoos forman parte del zooplancton de aquí que jueguen un papel muy importante en la cadena alimentaria en los ambientes acuáticos. Sin embargo, una gran parte de las enfermedades transmitidas por las aguas, tanto a los animales como al hombre, son causadas, también, por protozoos.

Figura 3.3: Anatomía de un protozoo



Fuente: Plantas de tratamiento. UMSS

3.2.2.4.1 Clasificación de los protozoos

La mayoría de los protozoos son móviles, siendo los organelos de locomoción: los pseudópodos o falsos pies, cilios y flagelos. Las diferencias en el mecanismo de locomoción de los protozoos se han utilizado como uno de los principales criterios para su clasificación:

❖ **Sarcodinas (amebas):**

Protozoos que se mueven por movimientos ameboideos mediante la formación de pseudópodos o falsos pies, este movimiento se lleva a cabo por cambios en la viscosidad del citoplasma (movimiento citoplasmático). Las amebas se encuentran ampliamente distribuidas, tanto en las aguas dulces como saladas y son abundantes en el suelo, muchas son de vida libre pero otras son parásitos de los mamíferos y el hombre.

La Entamoeba histolytica es un buen ejemplo de estas formas parásitas la cual provoca la disentería amebiana. Por otra parte, hay amebas que tienen unas especies de conchas entre las que se encuentran las foraminíferas las cuales son marinas y muchas han sido encontradas como fósiles.

❖ **Mastigophoro (flagelados):**

Los protozoos que pertenecen a este grupo se caracterizan por moverse a través de la acción de flagelos. Muchos de los protozoos flagelados son de vida libre pero hay algunos que son parásitos. Entre los protozoos parásitos que producen enfermedades en los humanos se encuentran la Giardia lamblia, dicho parásito puede causar diarreas severas, las Trichomonas que viven en la vagina y la uretra de las mujeres y en la próstata y uretra de los hombres; mientras el Tripanosoma es el que provoca en África la enfermedad del sueño.

En este grupo se incluyen en ocasiones, los fitoflagelados. los cuales son fotosintetizadores entre los que se encuentra la euglena que es también clasificada como alga, esta alga se caracteriza por ser también heterótrofa.

❖ **Ciliophora (ciliados):**

A este grupo pertenecen los protozoos que se caracterizan por presentar cilios, los cuales se distribuyen alrededor de su superficie celular. Los cilios son utilizados por el protozoo para su movimiento, pero además lo usan para ayudarse en la alimentación. El mayor número de protozoos pertenece a este grupo. Un ciliado muy bien conocido es el Paramecium.

La mayoría de los ciliados son de vida libre pero algunos son parásitos de animales y el hombre como es el caso del Balantidium coli este es un parásito fundamentalmente de animales domésticos pero ocasionalmente puede infectar al hombre produciendo disentería.

❖ **Sporozoa (esporozoos):**

Los esporozoos son protozoos que se caracterizan por ser parásitos obligados y que carecen de movilidad en el estado adulto del microorganismo. La forma de alimentación de este grupo de protozoos es mediante la absorción de sustancias solubles. Aunque el nombre indica la formación de esporas, realmente lo que sucede es que se forma una estructura llamada esporozoitos, los cuales están involucrados en la transmisión del parásito a un nuevo

hospedero. Uno de los miembros más conocidos de este grupo es el Plasmodium que es el responsable de la enfermedad conocida como Malaria o Paludismo.

3.2.2.5 Virus

Los virus no son protistas, ellos no están formados por células y no realizan funciones metabólicas. Su replicación solo puede ocurrir en el interior de una célula hospedero, de aquí, que sean parásitos intracelulares obligados. Los virus pueden infectar células tanto de animales, de plantas como de bacterias. A los virus que infectan las bacterias se les conoce como bacteriófagos. Los virus sólo pueden ser vistos con la ayuda del microscopio electrónico.

Los virus son partículas coloidales muy pequeñas formadas de un core (parte central) compuesto por un tipo de ácido nucleico, que puede ser DNA (de doble o de simple cadena) o RNA (de doble o de simple cadena), este core se encuentra rodeado por una cubierta de proteínas llamada cápsida, las cápsidas están compuestas por varias subunidades de proteínas llamadas capsómeros. La combinación de la cápsida y el core es llamado nucleocápsida. Para el estudio de la replicación viral se han estudiado los fagos, o sea los virus de bacterias, mediante estos estudios se ha podido determinar que las fases involucradas en la replicación viral son las siguientes:

❖ **Adsorción:**

Para que ocurra la infección viral la partícula viral tiene que adsorberse a ciertos receptores, que tienen que estar presentes, sobre la superficie de la célula hospedero. Los receptores pueden ser proteínas, polisacáridos o lipoproteínas.

❖ **Entrada:**

El ácido nucleico del virus tiene que penetrar al interior de la célula hospedero.

❖ **Eclipse y multiplicación:**

El ácido nucleico del virus después de haber penetrado en la célula revierte la máquina biosintetizadora de la célula para la replicación de su ácido nucleico (viral)

❖ **Maduración:**

Las proteínas de la cápsida son sintetizadas en los ribosomas de la célula hospedero y se combinan con el ácido nucleico viral para formar la nucleocápsida.

❖ **Liberación:**

Los virus ya formados son liberados; la liberación, en la mayoría de los casos, se lleva a cabo por ruptura de la membrana plasmática de la célula hospedero.

3.3 Importancia sanitaria

La gran mayoría de los microorganismos son completamente inocuos y muchos de ellos son de gran valor industrial, médico, económico etc.; sin embargo, hay un pequeño grupo que son patógenos al hombre, en este grupo se encuentran bacterias, virus, protozoos y algunos hongos. Una de las vías de transmisión de algunos de los microorganismos patógenos es el agua. Los gérmenes patógenos que con más frecuencia son propagados por el agua se caracterizan por crecer en el tracto intestinal y abandonan al organismo a través de sus heces fecales. Los principales microorganismos que causan enfermedades al humano y que se transmiten por el agua son:

Tabla 3.3: Organismos patógenos en aguas residuales

Organismos	Enfermedad	Observaciones
Salmonellas S. paratyphi S. typhi	Fiebre tifoidea Fiebre paratifoidea	Bacteria, varios aerotipos de salmonellas, se encuentran en aguas residuales y corrales de ganado, reservorio en el hombre. Control con saneamiento y tratamiento de agua.
Shigellas S. dysenterias S. boydii S. sonnei S. flexneri	Disenteria bacilar	Bacteria, hay varios serotipos. Se encuentran en aguas residuales y contaminadas. Reservorio en el hombre. Control con saneamiento y disposición adecuada de heces, manejo cuidadoso de alimentos.
Escherichia coli (entero patógeno enterotoxico)	Gastroenteritis	Bacteria enteropatógena y enterotóxica, pocos serotipos, afecta a infantes y adultos. Control de la evacuación de heces, preparación de alimentos de higiene personal.
Bacillus antracis	Ántrax	Bacteria, las esporas resisten la desinfección. Contacto con pieles contaminadas e ingestión de carne. Control mejorando prácticas de higiene.
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculosis	Bacteria, aislada en aguas residuales de sanatorios. Infección cutánea por contacto con aguas contaminadas tuberculosis pulmonar por ingestión. Control mejorar condiciones sociales, vacunas, higiene, etc.

(Continuación) Tabla 3.3: Organismos patógenos en aguas residuales

Organismos	Enfermedad	Observaciones
Vibrio choleras	Cólera	Bacteria. El reservorio es el hombre. Las heces evacuan la bacteria y contamina aguas y alimentos. Del lejano oriente ha llegado a Europa y África originando varias epidemias. Control de disposición de excretas y saneamiento ambiental.
Virus entéricos	Diarreas	Varios grupos de virus son evacuados en las aguas residuales. Reservorio en el hombre más común. Control no establecido.
Virus	Hepatitis Poliomielitis	Hepatitis A, transmitida por agua mal filtrada. Poliomiélitis por virus. Reservorio el hombre. Se evacuan en las excretas, las aguas residuales pueden contribuir a la transmisión.
Entamoeba histolitica	Disenteria amebiana	Protozooario parasito, los quistes sobreviven en ambientes adversos. Reservorio el hombre. Los trofozoicos son evacuados en las heces. Control saneamiento ambiental y disposición de excretas.
Giardia lambial	Giardiasis	Protozooario parasito, reservorio el hombre, evacuacion en las heces. Control de disposición de excretas higiene personal y saneamiento del agua.
Schistosomas S. mansoni S. japonicim S. intercalatum	Bilharzia	Reservorio principal el hombre. Interacción entre agua, briomphalaria y hombre en la metamorfosis del schistosoma, los huevos salen en las heces, llegan al agua, incuban y sale el miracidio, este parasita el caracol de donde sale la cercaría que penetra la piel del hombre migran y maduran y se aparean e inician la producción de huevos. Control disposición de heces, reproducción del caracol y protección de contacto directo con aguas infestadas.

(Continuación) Tabla 3.3: Organismos patógenos en aguas residuales

Organismos	Enfermedad	Observaciones		
Taenia saginata T. solium	Teniasis	Parasito, Reservorio la persona infectada, los huevos se descargan en las heces. Transmisión ingestión de carne de res infectada mal cocida, o de cerdo, alimentos contaminados con huevos de heces.		
Ascaris lumbricoides	Ascariasis	Helminto parasito. Reservorio el hombre. Los huevos son expulsados en las heces. Afecta principalmente a la infancia. Control: disposición adecuada de heces y uso de calzado		
Necator americanus	Anquilostomiasis	Nematodos parasito, reservorio el hombre. Los huevos en las heces. Las larvas se desarrollan en el suelo, penetran la piel. Control: disposición de excretas, uso de calzado, protección del suelo.		
Trichuris trichiura	Tricuriasis	Nematodo parasito, reservorio el hombre, elimina huevos en las heces. Control: mejorar la disposición de excretas.		
Yersinia enterocolitica Y. pseudotuberculosis	Yersiniosis	Dispersión mundial, individuos infectados expulsan la yersinia en las heces. Transmisión por contacto directo, no hay un reservorio específico. Control disposición de heces y protección de abastecimiento de agua.		

Fuente: Elementos de microbiología. Microbiología de las aguas residuales y salud publica

A continuación se presentan algunos organismos indicadores de contaminación en el agua

Tabla 3.4: Organismos indicadores de contaminación

Organismo indicador	Características
Coliformes	Bacterias bacilares gram negativas que fermentan la lactosa con producción de gas en 48 h a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Existen cepas que no conforman con la definición. Incluyen cuatro géneros: Escherichia, Klebsiella, Citrobacter y Enterobacter.
Coliformes fecales	Bacterias coliformes que producen gas a $44,5^{\circ}\text{C}$ en 24 ± 2 h.
Klebsiella	Bacteria coliforme termo tolerante que se cultiva a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 2 h.
Escherichia coli	Bacteria coliforme representativa de origen fecal. Constituye los coliformes fecales. Es el indicador fecal por excelencia.
Streptococos fecales	Grupo indicador de contaminación fecal. Su número puede, en ocasiones, ser mayor que el de los coliformes. Por lo general son menos abundantes porque mueren rápidamente fuera del huésped. Su presencia en el agua es indicadora de contaminación reciente. Los enterococos <i>S. faecalis</i> y <i>S. faecium</i> son miembros específicamente de origen humano, del grupo de los estreptococos fecales. Se encuentran en menor número que otros organismos indicadores, pero exhiben una supervivencia mejor en aguas de mar.
Clostridium perfringens	Bacteria anaerobia esporuladora, lo cual le permite existir indefinidamente en el agua. Indicador deseable en aguas desinfectadas, en aguas de contaminación baja añeja o cuando no se analiza la muestra con prontitud.

Fuente: Tratamiento de aguas residuales. Romero Rojas Jairo

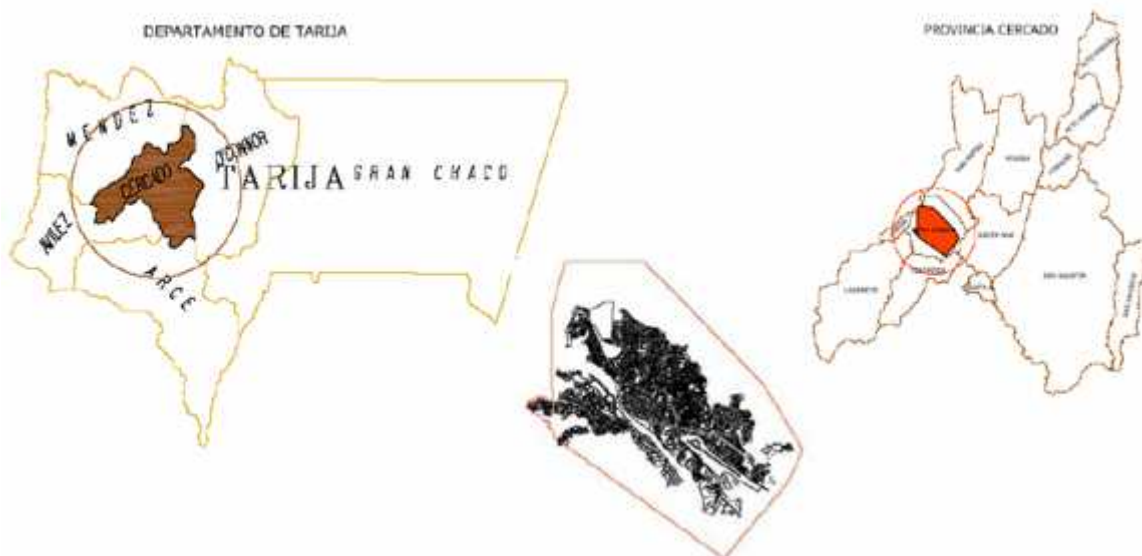
4.1 Ubicación

El departamento de Tarija, está ubicado en el continente sudamericano, al sur de la república de Bolivia, entre los paralelos 21° 00' y 22° 50' de latitud sur y los meridianos 62° 15' y 65° 20' de longitud Oeste de la Línea de Greenwich. Limita internacionalmente con la República Argentina al Sud y al Este con la República del Paraguay, al Oeste con el Departamento de Potosí, y al Norte con el Departamento de Chuquisaca.

La capital del departamento de Tarija, desarrollada a orillas del Guadalquivir, “Río Grande”, se encuentra emplazada en la parte central del departamento, la que mediante la red fundamental, conecta al departamento con el sector norte del país, mientras que por el sur mediante la carretera recientemente asfaltada a la población de Bermejo, permite al país establecer la conexión con la República Argentina, en tanto que por el este, la conexión con dos ciudades importantes del departamento como Yacuiba y Villamontes, se dificulta debido a la precariedad de la ruta a la provincia chaqueña del departamento.

Con una superficie de 37.623 km², cubre el 3,42% del territorio nacional, con características geográficas variadas, con todo tipo de relieves que van desde los 4.000 m.s.n.m. hasta los 300 m.s.n.m

Figura 4.1: Ubicación de Tarija, Cercado y la ciudad de Tarija



Fuente: Diagnostico urbano provincia cercado

4.2 Población

De acuerdo al Censo Nacional de Población y Vivienda el 2001, Bolivia cuenta con una Población de 8.274.325 habitantes. El departamento de Tarija, con una población de 391.226 habitantes, representa alrededor del 4.73% del total nacional. Lo que ubica al departamento en el séptimo puesto en cuanto a población nacional.

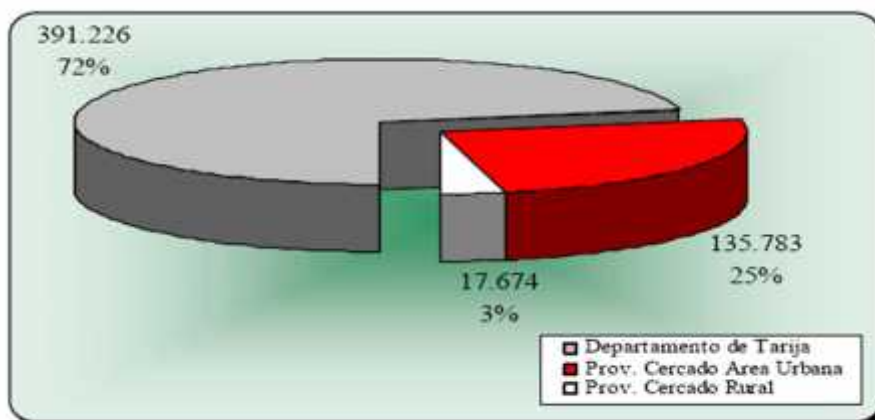
Tabla 4.1: Datos de población para Tarija censo 2001

Provincia y sección de provincia	Total	Tasa anual de crecimiento intercensal 1992 - 2001 (%)	Hogares particulares	Tamaño medio del hogar particular
Departamento de Tarija	391.226	3,18	87.157	4,33
Ciudad de Tarija	153.457	3,77	36.126	4,16

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

Con relación al total de la población departamental, la provincia Cercado contiene el 28%, habitantes de los cuales el 25% se radican en el área urbana o ciudad capital Tarija y el restante 3% en las diferentes comunidades rurales de la provincia con 17.674 habitantes en el área dispersa.

Figura 4.2: población departamental y participación de la provincia Cercado



Fuente: INE censo 2001

La provincia Cercado de Tarija alcanza a un total de 153.457 habitantes, de los cuales el 88% pertenecen al área urbana y el 12% de la población corresponde al rural; esto según el CNPV del año 2001. La población de la ciudad de Tarija, que representa el área urbanizada, alcanza a 135.783 habitantes.

4.2.1 Población del área de influencia del proyecto

La población de influencia del proyecto se encuentra limitada por todos los habitantes y familias de los diferentes barrios o zonas de la ciudad que tienen como efluente de sus aguas residuales las lagunas de oxidación de San Luis. La demás población de la ciudad tiene como efluente de sus aguas residuales cámaras sépticas, etc.

La ciudad de Tarija en la actualidad se encuentra dividida en 31 zonas según COSAALT que incluyen a diferentes barrios las cuales se muestran a continuación:

Tabla 4.2: Zonas de la ciudad de Tarija

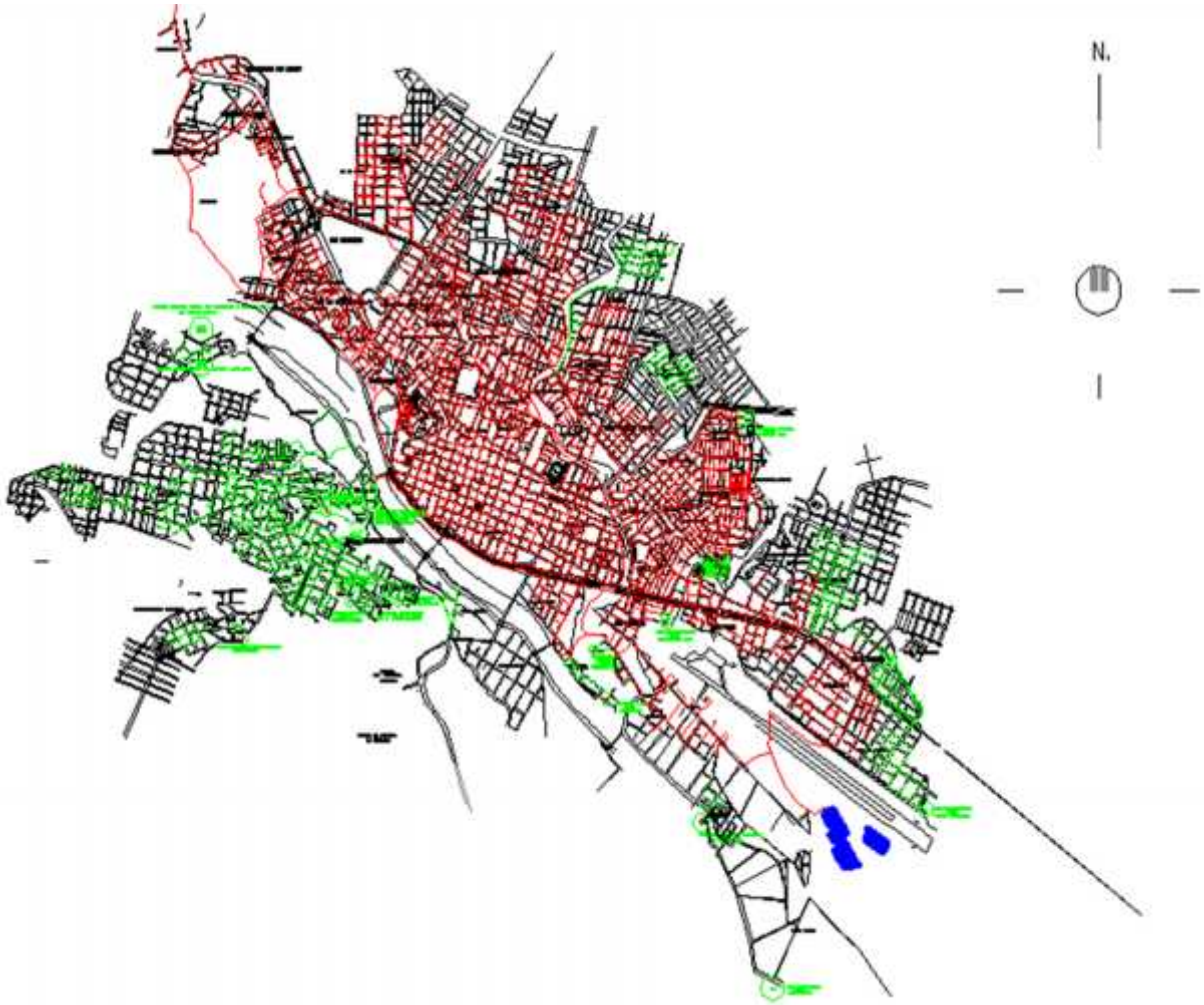
Zona	Barrios
1	Villa Abaroa, San José, San Marcos, 12 De octubre
2	Zona cementerio, Parte San Roque, 14 Viviendas, La pampa
3	San Roque, zona central, parte La Pampa
4	Las Barrancas-Pert, Francisco de Uriondo, Mercado Campesino, La Loma de San Juan, El Carmen, 4 de Julio, Bien te fue, Defensores del chaco, IV Centenario
5	El Molino, Parte zona central
6	Zona central, Las Panosas
7	Villa Fátima, barrio Minero
8	La terminal, El tejar
9	San Martín, Méndez arcos, Aranjuez sud, San Antonio, Tabladita, Magisterio, zona el Mesón, Carmen de Aranjuez
10	San Gerónimo, Los cuarteles, Petrolero, San Luís
11	Juan XXIII, Plan Alemán
12	Fabril, San Pedro, El Rosedal, 15 de Abril, Juan Nicolai, Bartolomé Attard, Moto Méndez, 7 de septiembre, Luis Espinal
13	Palmarcito, Narciso Campero, Urb. 6 de Agosto
14	Pedro Antonio Flores, El constructor, Parte 1º de Mayo

Zona	Barrios
15	Barrio 6 de Agosto, La Salamanca, San Bernardo, Andaluz, 1º de Mayo, 2 de Mayo
16	La Florida, Lourdes, 24 de Junio
17	Aranjuez Norte, Panamericano, Los mecánicos, Carlos Wagner, Los Álamos, Los Olivos, El paraíso, Obrajes
18	Guadalquivir, Luis Pizarro, 15 de Noviembre, Juan Pablo II, Libertad, Virgen de Chaguaya
19	Luis de Fuentes, Urb. Trabajadores de COSAALT, Senac, Andalucía, Tabladita
20	German Busch, Miraflores, San Blass
21	Aeropuerto, Urb. Aclo, San Jorge I, San Jorge II
22	Simón Bolívar, Morros Blancos, Anaspujio
23	Zona Industrial, Parte Morros Blancos
24	Zona Cadepia, 3 de Mayo, Las Pascuas, 101 Familias, Los Chapacos, 19 de Marzo, Oscar Zamora, 15 de Junio, Urb. Municipal, Las Barrancas
25	Viv. Universitarias, Tabladita, Magisterio rural, Alto Senac
26	Barrio Catedral
27	Tomatitas
28	Tabladita sud, Las Palmas, Virgen de Guadalupe
29	Comunidad Obrajes, zona bosquecillo de Tomatitas
30	Urb. Vela, Barrio Tomatitas
31	Barrio San Salvador

Fuente: COSAALT

En la siguiente figura se puede apreciar la red de alcantarillado sanitario de las zonas que sus efluentes llegan y también las zonas que no llegan a la planta de tratamiento de San Luis. Las zonas (9, 19, 20, 25, 26, 27, 30, 31) no vierten sus efluentes de aguas residuales a las lagunas de oxidación de San Luis así también como algunos barrios o parte de ellos como ser El tejlar, Fabril, Petrolero, San Luis, Luis Espinal, El constructor, 1º de Mayo, 2 de Mayo, San Jorge II, Simón Bolívar, Morros Blancos, Anaspujio. Y se las puede observar con color verde. Mientras que las zonas(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29) vierten sus efluentes de aguas residual y se las puede observar de color rojo y a la planta de tratamiento de color azul.

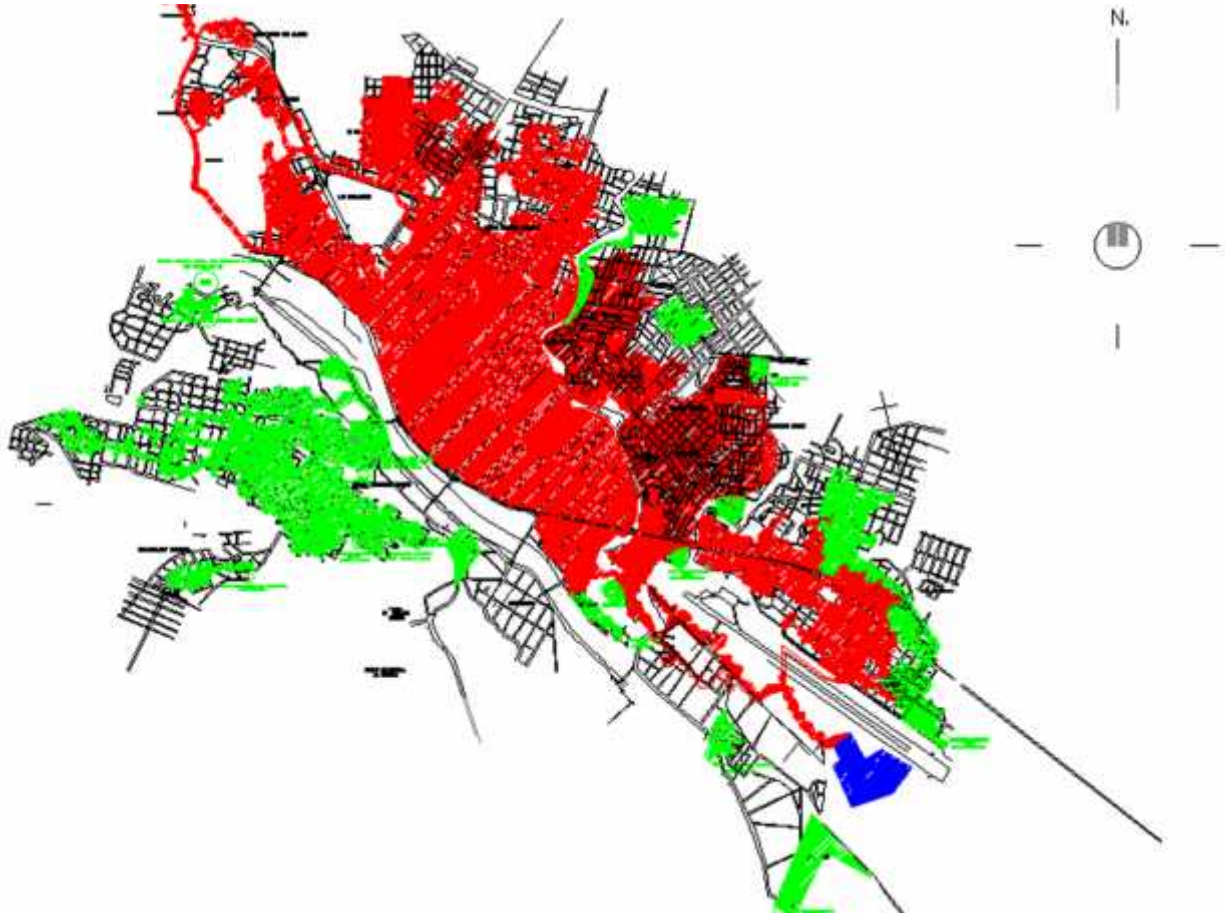
Figura 4.3: Red de alcantarillado de la ciudad de Tarija



Fuente: COSAALT

En la siguiente figura se puede apreciar la ciudad de Tarija donde la mancha azul cubre la planta de tratamiento de la zona de San Luis y la mancha roja cubre todas las zonas que vierten sus efluentes de agua residual a dicha planta, mientras que la mancha verde cubre las zonas que los efluentes de agua residual se dirigen a cámaras sépticas, sobre todo la parte del margen derecho del río Guadalquivir y algunos barrios periféricos.

Figura 4.4: Cobertura de alcantarillado sanitario de la ciudad de Tarija con origen a la planta de tratamiento y a cámaras sépticas



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.1 Estimación de la población del área de influencia del proyecto

Para la estimación del área de influencia del proyecto se utilizarán los datos de conexiones de agua potable por zonas hasta la gestión 2009 proporcionados por el departamento comercial de COSAALT, partiendo de la hipótesis de que todos los usuarios que tienen conexión de agua potable cuentan también con conexión de alcantarillado sanitario, para luego conocer el total de conexiones de las zonas que son efluentes y multiplicarlas por el módulo habitacional por conexión de COSAALT(6.1 hab/conex) y así conocer la población aproximada que vierte sus efluentes de agua residual a la planta de tratamiento de San Luis.

El detalle de conexiones por zonas se resume en la siguiente tabla a continuación:

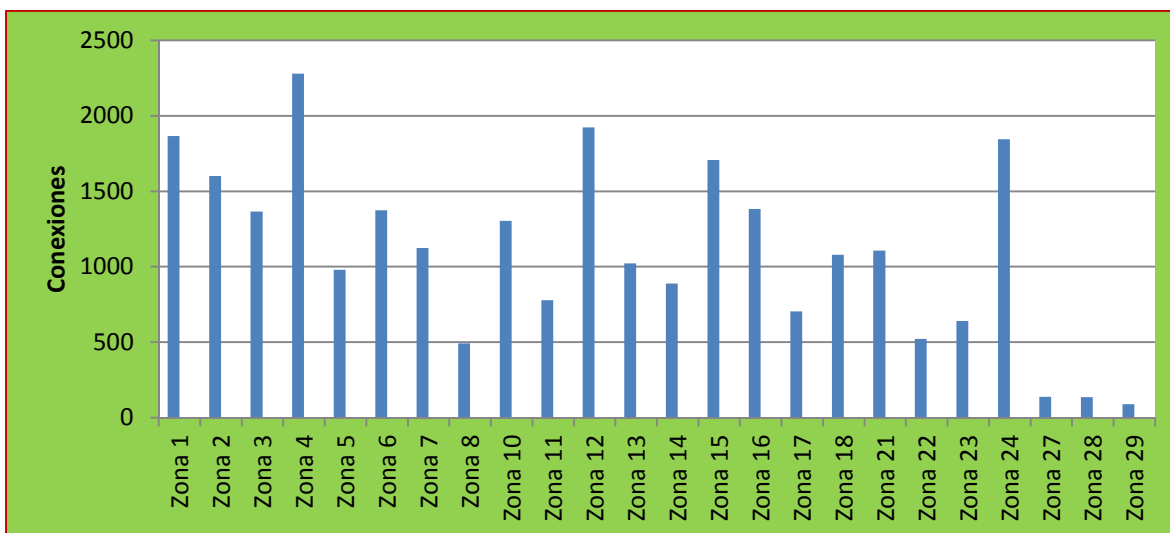
Tabla 4.3: Número de conexiones por zonas

Zona	Nº de conexiones
1	1866
2	1601
3	1366
4	2278
5	980
6	1373
7	1125
8	492
10	1305
11	778
12	1922
13	1023
14	888
15	1707
16	1382
17	704
18	1079
21	1106
22	522
23	640
24	1845
27	138
28	137
29	89
TOTAL	26346

Datos: COSAALT (2009)

Para tener una mayor apreciación del número de conexiones por zona se presenta la siguiente gráfica:

Figura 4.5: Conexiones por zonas



Datos: COSAALT (2009)

Entonces la población de área de influencia del proyecto será:

Población = 26346conex * 6.1hab/conex = 160711 hab

se puede decir que aproximadamente 160711 habitantes vierten sus efluentes de agua residual a la planta de tratamiento de agua residual hasta el año 2009, valor que servirá como dato para cálculos posteriores.

5.1 Características de la cuenca hidrográfica de la ciudad de Tarija

La ciudad de Tarija para el abastecimiento del servicio de agua potable cuenta con las cuencas de los ríos de Tolomosa y La Victoria, están ubicadas en el sector oeste de la ciudad de la que forman parte. La cuenca del río Tolomosa ocupa una superficie de 467.2 Km². la cuenca de La Victoria ocupa una superficie de 60.7 Km². Tanto el río de La Victoria como el Tolomosa son afluentes del río Guadalquivir. La parte alta de las cuencas de Tolomosa y La Victoria están dentro de la reserva de Sama, lo que les da un grado de protección. La parte alta de la cuenca de La Victoria está sujeta a protección estricta donde no se permiten asentamientos humanos, actividades agrícolas ni ganaderas aguas arriba de las tomas de agua.

La cuenca del río Guadalquivir presenta depósitos aluviales (terrazas, abanicos y cauces de río), depósitos coluviales, y algunos depósitos fluvio-lacustres, que son de interés hidrogeológico por su comportamiento como zonas de recarga y como formaciones acuíferas, la mayor parte de los pozos perforados se encuentran en el acuífero de la ciudad de Tarija, porque la zona norte de la ciudad está fuera de influencia o alcance del agua de la Victoria. Por esta razón se perforaron pozos en esta zona.

Figura 5.1: Cuenca hidrográfica de la ciudad de Tarija



Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

5.2 Descripción del sistema de agua potable

En el abastecimiento de agua potable se distinguen dos épocas bien marcadas: la estación de lluvias (verano) y la estación seca o de estiaje (invierno). El abastecimiento de la ciudad de Tarija tiene mayor continuidad en la estación lluviosa que es cuando la principal fuente de abastecimiento de agua de la victoria está en su mayor caudal. De La Victoria depende la dotación de la mayor parte de la población, con una dotación de 24 horas.

Durante todo el año, el caudal de La Victoria esta complementada con agua del río Erquis y de algunos de los diferentes pozos de la ciudad.

La potabilización de las aguas de La Victoria y del río Guadalquivir se realiza a través de la planta de tratamiento, La Tabladita, y el agua del lago San Jacinto en la planta de tratamiento de La tablada. El agua del río Erquis está tratada sólo con cloro antes de su distribución. En algunos de los pozos se realiza tratamiento con cloro en los tanques de almacenamiento, mientras que el agua de los otros pozos entra directamente al sistema de distribución, la mayoría de las bombas de los pozos de agua trabajan 24 horas al día, pero la dotación al consumidor en las zonas altas, donde en agua no llega por gravedad, tiene un promedio menor de 6 horas por día, así que la mayor parte del bombeo es para el llenado de los tanques de almacenamiento en los domicilios y el llenado correspondiente a la red de distribución central.

5.2.1 Fuentes de agua

5.2.1.1 Río La Victoria

La principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Tarija, es actualmente el río de La Victoria con un caudal máximo de 334 l/s, el caudal mínimo de 90l/s, con un caudal promedio de 230l/s. Las obras de captación son:

❖ Presa de derivación

La presa de derivación se ubica en el sitio denominado Rincón de La Victoria, está provista de un vertedero frontal tipo Creager que se dispone perpendicular

al lecho del río con una altura aproximada de 2m. Con un colchón amortiguador construido de hormigón ciclópeo.

❖ **Galería filtrante**

A 1600m. aguas debajo de la presa de derivación se encuentra una galería filtrante, esta obra está construida con mampostería de piedra provista de barbancas laterales, tiene una longitud de 30m. un ancho de 0.6m. y una altura de 0.8m. La galería se halla situada a una profundidad promedio de 6.7m obteniéndose caudales del orden de 380 l/s.

❖ **Captaciones menores**

Existen en las márgenes:

Izquierda, el cajón con 8 l/s

Derecha, un canal de 8 a 10 l/s

Desde la presa superior ubicada en el Rincón de La Victoria hasta La Tabladita (distancia 13.5km. el agua fluye por gravedad a superficie libre a través de un canal cubierto en toda su longitud, la sección del canal es semicircular en la base, con paredes laterales verticales. El ancho de la sección del canal es de 0.5m. hasta 0.75m. y la pendiente de fondo es muy variable en toda su longitud existiendo valores que van desde 0.1% hasta 0.26% en algunos tramos cortos el agua llega a la planta de tratamiento de la tabladita por tubería de FFD (16’’).

5.2.1.2 Río Guadalquivir

El sistema de captación Las Tipas se ubica en la zona de Obrajes en el río Guadalquivir. El agua de este sistema es transportado mediante bombeo y tuberías de aducción hasta la planta de tratamiento de La Tabladita. Las características técnicas del sistema de bombeo Las Tipas son las siguientes:

- ❖ Caudal de bombeo 80 l/s.
- ❖ Potencia de 2 bombas centrifugas de 100 HP c/u.
- ❖ Diámetro de tubería de impulsión de 300 mm.
- ❖ Longitud hasta la planta de tratamiento de 1670 m.
- ❖ Desnivel de 98 m.

5.2.1.3 Río Erquis

La obra de captación de agua es el río Erquis, que consiste en un sistema de bombeo superficial hasta un tanque apoyado cercano del cual se distribuye agua potable a la zona urbana de Tomatitas.

5.2.1.4 Lago San Jacinto

La fuente de captación del lago San Jacinto se encuentra fuera de funcionamiento, consta de 500 hectáreas de espejo de agua con un volumen de embalse de 56 Hm³, ha sido construido para dotar de agua para riego a 3000 hectáreas en el valle central de Tarija. También consta de un sistema de generación hidroeléctrica de 8 megavatios. En el año 1994 se ha adicionado un volumen de 6 Hm³ para agua potable. También se ha construido un sistema de aducción bombeo con una planta de tratamiento de 160 l/s de capacidad llamada La Tablada o San Jacinto, de características similares a la planta de Tabladita. Este sistema sólo entra en funcionamiento en el periodo de estiaje a partir del mes de Junio, que es cuando baja el caudal del río de La Victoria.

El lago San Jacinto ha sido clausurado como fuente de agua potable a raíz de un estudio de la UNAM, porque se ha encontrado pesticidas, como Lindano, Heptacloro y Metoxicloro, en concentraciones mayores a las permitidas en la Norma Boliviana NB 512.

5.2.1.5 Sistemas de bombeo de fuentes superficiales

Tabla 5.1: Sistema de bombeo desde los ríos

Número de sistema	Fuente	Río	Caudal (l/s)	Horas de bombeo	Caudal promedio (l/s)
1	Tomatas A T21	Erquis	7,1	4	1,2
2	Tomatas B T15	Guadalquivir	12,6	17	9

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

Tabla 5.2: Sistemas de captaciones mediante bombeo

Número de sistema	Fuente	Sistema	Caudal (l/s)	Horas de bombeo	Caudal promedio (l/s)
1	Guadalquivir	EB1	80	9	30,8
2	Represa San Jacinto	EB2	155	12	8,1

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

5.2.1.6 Pozos (Sistemas Independientes)

En las zonas donde el agua del Rincón de La Victoria no puede llegar, se han perforado numerosos pozos que abastecen a la población de su influencia con un periodo de continuidad de 6 horas como promedio. Esta última zona comprende principalmente los barrios ubicados en las zonas norte y este de la ciudad, donde el agua de la red de distribución no llega por gravedad.

Los sistemas independientes se dividen en dos grupos aquellos que funcionan todo el año y aquellos que funcionan sólo en la época de estiaje, en los cuales se extrae el agua del interior de la tierra con distintas profundidades que varían de 80 a 280 m. En algunos pozos cuentan con depósitos de almacenamiento como tanques elevados o apoyados mediante bombas eléctricas de alta potencia, mientras el agua de otros pozos entra directamente a la red de distribución.

Tabla 5.3: Características de sistemas de bombeo de pozos

Cod.	Año	zona	Ø "	Prof. m.	l/s	Pot. HP	Perf. por	Tipo de depósito	Horas de bombeo
P8	1978	Albat. V. Avaroa	8	79.5	8.4	15	CODETAR	Tanque semienterrado	20
P9	1978	Daniel Campos	8	79.5	4.9	10	CODETAR	Tanque semienterrado	21
P18	1978	Villa Busch	4	102.5	3.2	5.5	CODETAR	Tanque semienterrado	8
P19A	1979	Morros Blancos	8	136	11.5	20	CODETAR	Tanque elevado	9
P10	1980	San Bernardo	6	83	5.6	7.5	CODETAR	Tanque elevado	23
P11	-	San Bernardo	8	-	11.5	15	M. CHINA	Tanque elevado	17
P22	1983	Aeropuerto	6	111	11.6	15	CODETAR	Tanque semienterrado	20
P14A	1987	Stadium	8.25	100.5	14.5	15	UNEPRAT	Tanque elevado	20
P14B	-	Stadium	8 5/6	93	7	-	CODETAR	Tanque elevado	-
P17A	1987	Villa Fátima	8.25	108.5	13.5	25	UNEPRAT	Tanque elevado	-
P17B	-	Villa Fátima	8.25	102	13	-	CODETAR	Tanque elevado	-
P19B	1987	Morros Blancos	8.25	138	14.2	20	UNEPRAT	Tanque elevado	11
P6	1992	3 de Mayo	8.5	139.5	10.1	15	M. CHINA	Tanque elevado	21
P7	1992	Guadalquivir	8.5	140	27.2	40	M. CHINA	Bombeo directo a red	20
P16	1992	Narciso Campero	8	-	15.4	15	M. CHINA	Tanque semienterrado	20
P21	1992	Carcel publica	6	120	3.4	5	PREFECTURA	Tanque elevado	20
P23	1992	FAB – Base Aerea	8.5	108.5	8.7	7.5	M. CHINA	Tanque elevado	16
P24	1992	San Jorge	8.5	145.1	11.8	15	M. CHINA	Tanque elevado	20
P12	1993	El Constructor	8.5	145	7	20	M. CHINA	Tanque elevado	23
P1	1997	Tomatas C	8.25	105	3.4	5	M. CHINA	Bombeo directo a red	11
P2	1997	Urb. O. Zamora	8.25	104	23.2	15	M. CHINA	Tanque semienterrado	20
P3	1997	Circunvalación	8.5	124	3.4	7.5	M. CHINA	Tanque elevado	24
P4	-	Circunvalación	8	132	5	7.5	M. CHINA	Tanque elevado	24

P5A	1997	Avit – V. Avaroa	8.25	121	20	25	CODETAR	Tanque elevado	15
P5B	1997	Avit – V. Avaroa	8.25	111	20	25	UNEPRAT	Tanque elevado	15
P25 B	1997	San Luis	8 2/5	103	17.9	15	M. CHINA	Tanque elevado	-
P25A	-	San Luis	6	80	1.8	-	CODETAR	Tanque elevado	13
P20	1997	Simón Bolívar	8 1/3	132	11.7	15	M. CHINA	Bombeo directo a red	20
P15	1997	Luis Espinal	6	103	12.2	15	M. CHINA	Tanque elevado	22
P13	1998	Pedro A. Flores	8	-	5.6	15	M. CHINA	Bombeo directo a red	12
P26	2003	Lourdes – La Florida	10,8,6	200	15 -	40	FNDR	Tanque elevado	-----
P27	2003	Anaspujio 1	10	300	17.4	40	PREFECTURA	Tanque elevado	-----
P28	2003	Anaspujio 2	10	300	28.2	40	PREFECTURA	Tanque elevado	-----
P29	2003	Anaspujio 3	10	300	12.8	40	PREFECTURA	Tanque elevado	-----
P30	2003	1 de Mayo	10	200	14.5	-	JICA COSAALT	Tanque elevado	-----
P31	2003	19 de Marzo	10	150	10.5	-	JICA COSAALT	Tanque elevado	-----
P32	2003	Las Barrancas	10	161	12	-	PREFECTURA	Tanque elevado	-----
P33	SD	T5 - Lourdes	10	160	14	-	CODETAR	Tanque elevado	-----

Fuente: COSAALT

5.3 Tratamiento de agua

5.3.1 Planta de tratamiento Tabladita

La planta de tratamiento La Tabladita está ubicada en la zona de La Tabladita, es de tipo convencional y con una capacidad de 160 l/s.

Antes de entrar a la planta de tratamiento el caudal proveniente del Rincón de la Victoria se conduce a través de un canal aductor al desarenador de La Tabladita, siendo un depósito rectangular, L = 14 m, A = 5 m, H = 3m. A la entrada existe un dissipador de energía que a su vez permite redireccionar y distribuir el flujo, este disminuye su velocidad hasta el punto

que el tiempo de retención permite sedimentar la mayor cantidad de partículas sólidas, teniendo una longitud hasta la planta de tratamiento de 1100 m. Con un desnivel de 97 m.

El agua que llega a la planta de tratamiento de agua de La Tabladita pasa por los siguientes procesos:

❖ **Floculación**

El proceso de floculación, nos permite clarificar el agua cuando llega turbia mediante la utilización de Sulfato de Aluminio. Este reactivo químico se utiliza en función de la turbiedad con la que llega al agua, en un promedio de 20 mg/l. Al mismo tiempo para neutralizar el PH del agua se utiliza el hidróxido de sodio de calcio en un promedio de 10mg/l.

❖ **Sedimentación**

Se realiza para precipitar las partículas pesadas en estanques de reposo, para lograr separa las impurezas formadas del agua limpia.

❖ **Filtración**

El agua clarificada por los filtros, que poseen una capa de grava, otra capa de arena fina y una tercera capa de antracita donde se retienen todas las partículas finas o gruesas, al mismo tiempo retienen microorganismos.

❖ **Desinfección**

El agua limpia filtrada entra a la caseta de cloración, donde mediante un dosificador controlado, se agrega una solución de Hipoclorito de Sodio (cloro), para la desinfección y purificación del agua. La dosificación de cloro se realiza según normas del cloro residual, con un rango desde 0.2 hasta 1 mg/l saliendo de la planta de tratamiento.

5.3.2 Planta de tratamiento San Jacinto (La Tablada)

La capacidad de esta planta es de 160 l/s y las unidades son similares a la de La Tabladita. Existe un tanque de sedimentación ubicado a 1095 m. aguas arriba de la planta de Tratamiento San Jacinto, que vienen desde la represa de San Jacinto. La longitud de la tubería de aducción hacia la interconexión con la red de distribución de agua es de 1491 m. con un diámetro de 250 mm.

5.3.3 Clorinacion de agua río Erquis

El agua del río Erquis es clorada antes de entrar al sistema de red. No pasa por ningún otro proceso de tratamiento.

5.3.4 Clorinacion de agua de los pozos

Algunos de los pozos tienen aducción por bombeo a tanques elevados, mientras otros van a tanques apoyados y otros entran directamente a la red de distribución. Algunos de los tanques tienen cloradores que realizan la desinfección de agua utilizando Hipoclorito de Sodio.

5.4 Calidad de agua potable

El procedimiento de monitoreo de la calidad de agua, o verificación, es el proceso de probar la composición microbiana, física y química del agua potable. Este proceso, proporciona una indicación sobre el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua y de la calidad final del producto.

El control de calidad en el agua potable de abastecimiento para la ciudad de Tarija se realiza en los laboratorios especializados de aguas de COSAALT y se lleva a cabo a través de un monitoreo rutinario y sistemático de componentes bacteriológicos y análisis físico-químicos desde la fuente hasta la red de distribución en una frecuencia que resulta representativa en función a la capacidad del sistema y a la densidad poblacional abastecida.

Los parámetros microbiológicos analizados son los coliformes totales y fecales. Los puntos de muestreo son las fuentes superficiales, pozos, planta de tratamiento y red de distribución.

Los parámetros fisio-químicos analizados son pH, conductividad, turbiedad, alcalinidad, acides, carbonatos, bicarbonatos, dureza total, calcio, magnesio, cloruros, hierro total, amoníaco, sulfatos, nitratos, índice de Langelier, sólidos totales, sólidos filtrables, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, olor, color y temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, clorofila e identificación de algas.

Tabla 5.4: Parámetros para monitorear la calidad de agua

Parámetro operacional	Agua sin tratar	Coagulación	Sedimentación	Filtración	Sedimentación	Sistema de distribución
Ph		X	X		X	X
Turbiedad	X	X	X	X	X	X
Oxígeno disuelto	X					
Precipitación	X					
Color	X					
Conductividad	X					
Dosaje de químicos		X			X	
Velocidad de flujo		X	X	X	X	
Caudal		X				
Perdidas de carga				X		
Concentración de desinfectante a tiempo de contacto					X	
Desinfectante residual					X	X
DBPs					X	X
Presión hidráulica						X

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

5.5 Resumen de almacenamiento, tratamiento y distribución de las fuentes de agua

Tabla 5.5: Agua del río La Victoria

Componente	Sistema de agua potable
Fuente	Rincón de La Victoria: 1.- Caudal máximo de 334 l/s, mínimo 90 l/s, promedio 230 l/s 2.- Obras de captación: a 12km, al oeste de la ciudad a una altura de 2200msnm a) Presa de derivación: Rincón de La Victoria del año 1989 b) Galería filtrante: A 1600m, debajo de la presa de derivación del año 1939 c) Captaciones menores: Izquierda y Derecha d) Aduccion: Desde la presa superior del rincón de La Victoria hasta la planta de tratamiento de La Tabladita a 13,km
Almacenamiento	El agua del Rincón de la Victoria se almacena en la planta de tratamiento Tabladita
Tratamiento	El agua es tratada en la planta de tratamiento de la Tabladita construida el año 1990 y con capacidad de 160 l/s con los siguientes procesos: a) Floculación b) Sedimentación c) Filtración d) Cloración
Almacenamiento después de tratamiento	En la misma planta en tanques de almacenamiento para su distribución directa a la red
Distribución	Red de agua domiciliaria Tarija a través de medidores de consumo administrativos por COSAALT

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

Tabla 5.6: Agua del río Guadalquivir

Componente	Sistema de agua potable
Fuente	Río Guadalquivir: 1.- Sistema de captación Las Tipas: Por bombeo por tubería hasta la planta de tratamiento de La Tabladita (1,6km)
Almacenamiento	Planta de tratamiento de la Tabladita
Tratamiento	Planta de tratamiento de la Tabladita a) Floculación b) Sedimentación c) Filtración d) Cloración
Almacenamiento después de tratamiento	En la misma planta en tanques de almacenamiento para su distribución directa a la red
Distribución	Red de agua domiciliaria Tarija

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

Tabla 5.7: Agua del río Erquis

Componente	Sistema de agua potable
Fuente	Río Erquis: Sistema de bombeo superficial
Almacenamiento	Tanque apoyado. Sistema de distribución independiente
Tratamiento	El agua del río Erquis es clorada antes de su distribución, no pasa por ningún otro proceso de tratamiento
Almacenamiento después de tratamiento	No existe va directo a la distribución
Distribución	Sistema de distribución independiente red de agua domiciliaria Tomatitas

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

Tabla 5.8: Agua del lago San Jacinto

Componente	Sistema de agua potable
Fuente	Lago San Jacinto 500 hectáreas de espejo de agua. Volumen de embalse 56 Hm ³ Sistema de aducción de bombeo
Almacenamiento	Planta de tratamiento de La Tablada de San Jacinto
Tratamiento	Planta de tratamiento de la Tablada a) Floculación b) Sedimentación c) Filtración d) Cloración
Almacenamiento después de tratamiento	No existe va directo a la red
Distribución	Red de agua domiciliaria Tarija

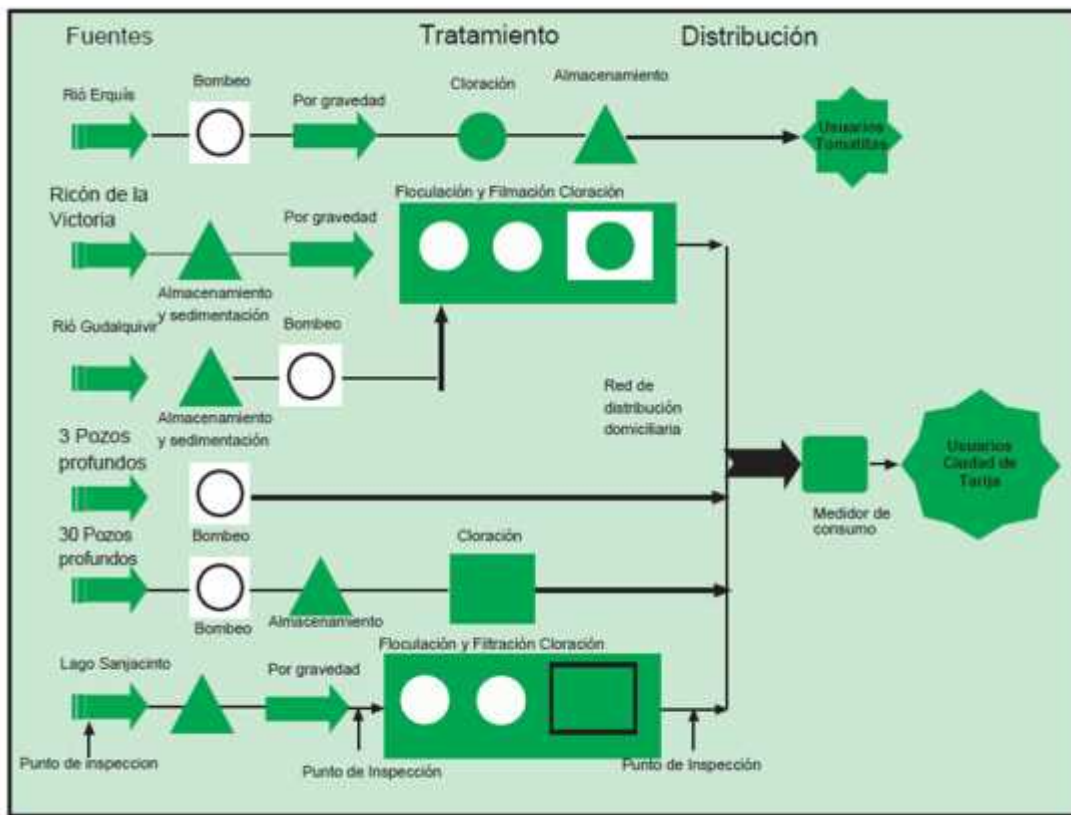
Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

Tabla 5.9: Sistema de pozos (Sistema independiente)

Componente	Sistema de agua potable
Fuente	Pozos que funcionan todo el año y algunos sólo en época seca
Almacenamiento	En tanque elevado y directo a la red
Tratamiento	Planta de tratamiento La Tabladita Algunos sin cloración cuya agua va directo a la red y con cloración
Almacenamiento después de tratamiento	No existe va directo a la red
Distribución	Red de agua domiciliaria Tarija

Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

Figura 5.2: Flujograma del sistema de abastecimiento del agua para la ciudad de Tarija



Fuente: Plan de seguridad del agua Tarija, Bolivia (2006-2007)

5.6 Estimación de la dotación per cápita de agua potable

La dotación de agua potable hace referencia al consumo anual total de agua de un centro urbano dividido por la población abastecida y el número de días del año, que vendría a ser el volumen de agua utilizado por una persona en un día.

La dotación media diaria puede incrementarse obteniéndose la dotación futura de acuerdo a los factores que afectan el consumo y se justifica por el mayor hábito en el uso de agua y por la disponibilidad de la misma.

Para la estimación de la dotación per cápita se analizará los datos de volúmenes de producción de agua mensual y anual de las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009. Así también el volumen facturado de agua potable relacionándolos con las diferentes pérdidas que existen entre los mismos, además de contar con el módulo habitacional por conexión y el número de conexiones para las mismas gestiones, todos estos datos fueron extraídos de COSAALT.

Los volúmenes de producción presentados en la siguiente tabla son los obtenidos de la suma de las diferentes fuentes de agua ya descritas anteriormente, los cuales tienen como destino la ciudad de Tarija, por lo que vienen a ser volúmenes en m³ totales de agua para las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009.

Tabla 5.10: Volúmenes producidos de agua potable (m3)

Mes	Gestión					Promedio
	2005	2006	2007	2008	2009	
Enero	1248118,55	1271639,10	1274196,70	1243017,50	1231259,50	1253646,27
Febrero	1117049,40	1123477,80	1140594,90	1164762,00	1131023,90	1135381,60
Marzo	1242788,40	1241451,90	1235093,50	1211479,20	1247200,60	1235602,72
Abril	1198171,90	1165267,90	1178513,50	1177776,80	1188015,60	1181549,14
Mayo	1246911,50	1227864,00	1197857,70	1211329,90	1216104,70	1220013,56
Junio	1071108,70	1155771,80	1141875,00	1058186,10	1152631,80	1115914,68
Julio	1224866,60	1140517,80	1189133,20	1151112,80	1137098,10	1168545,70
Agosto	1194701,60	1157797,00	1156244,40	1125461,30	1107571,90	1148355,24
Septiembre	1200920,20	1089159,30	1085459,90	1072083,60	1081250,60	1105774,72
Octubre	1206237,40	1139760,90	1147316,50	1165899,80	1102109,70	1152264,86
Noviembre	1273336,50	1188455,20	1130776,10	1211317,60	1143688,10	1189514,70
Diciembre	1231288,80	1235867,90	1255837,40	1258780,40	1274591,10	1251273,12
Total	14455499,55	14137030,60	14132898,80	14051207,00	14012545,60	14157836,31

Datos: COSAALT (2005 – 2009)

Se puede observar que el año de mayor producción fue el año 2005, mientras que el año de menor producción fue el año 2009, para tener una mayor apreciación de la variación de los volúmenes de producción de agua en los diferentes meses del año se presenta la siguiente gráfica.

Figura 5.3: Volúmenes producidos de agua potable



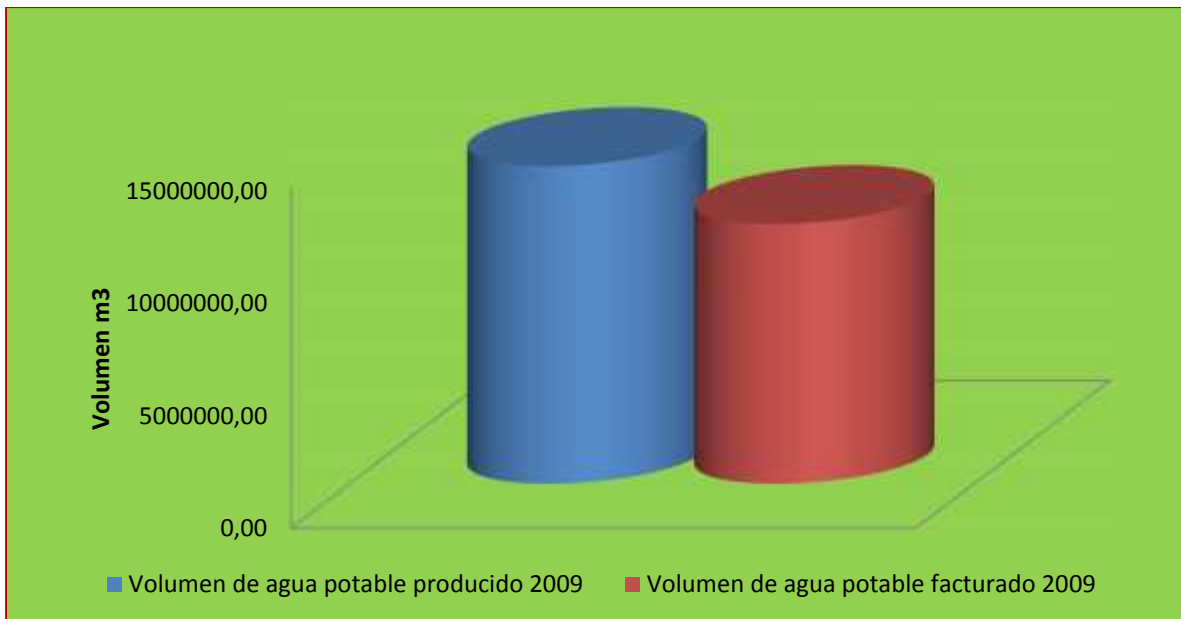
Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos de la COSAALT, para la gestión 2009 son los siguientes:

Volumen producido = 14012545,6 m3

Volumen Facturado = 11455764 m3

Figura 5.4: Volúmenes de agua potable



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el volumen de agua producido es diferente al volumen de agua facturado, esto debido a que existen pérdidas en el sistema por diferentes factores, las cuales se las puede estimar en porcentaje relacionando los dos volúmenes entonces tenemos que:

$$\text{Pérdidas en el sistema} = 18.25 \%$$

Teniendo datos de conexiones de agua potable de las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009. Se determina el número de conexiones al inicio y fin de cada gestión así como los valores promedio y multiplicándolos por el módulo habitacional por conexión (6.1 hab/conex) se obtiene el número de habitantes que son consumidores del volumen facturado o el número de usuarios totales.

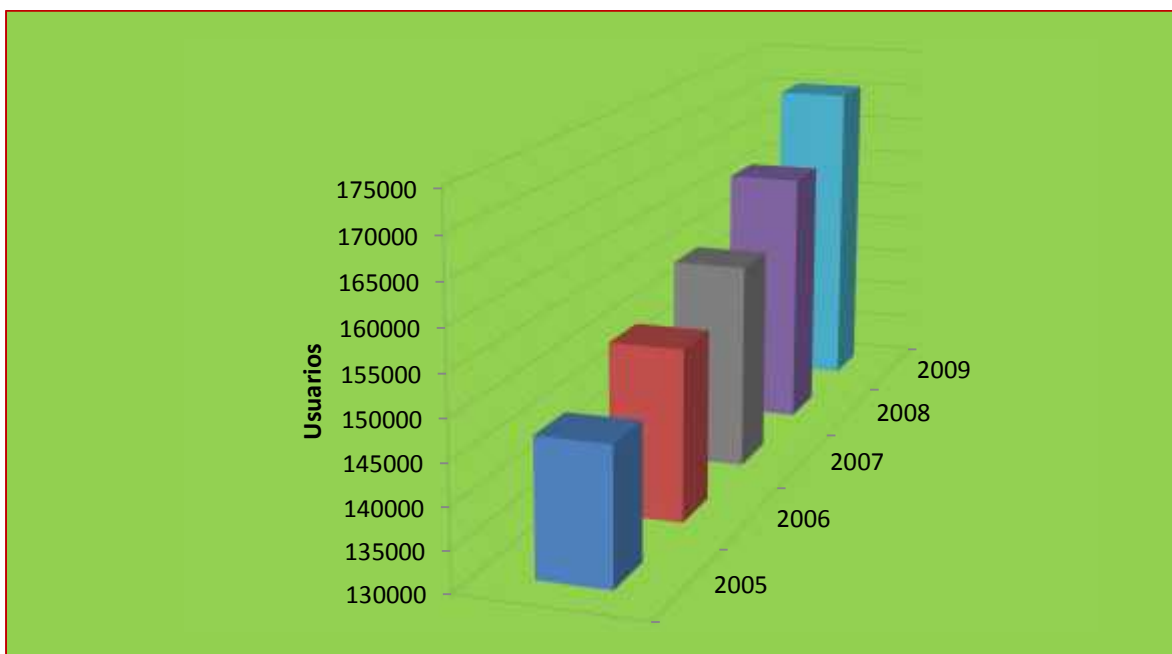
Tabla 5.11: Conexiones y estimación de usuarios de agua potable

Año	Nº conexiones inicio	Nº conexiones Final	Nº conexiones Promedio	Nº de habitantes
2005	23569	24529	24049	146699
2006	24529	25053	24791	151225
2007	25053	26018	25536	155767
2008	26018	27281	26650	162562
2009	27281	28618	27950	170492

Datos: COSAALT (2005 – 2009)

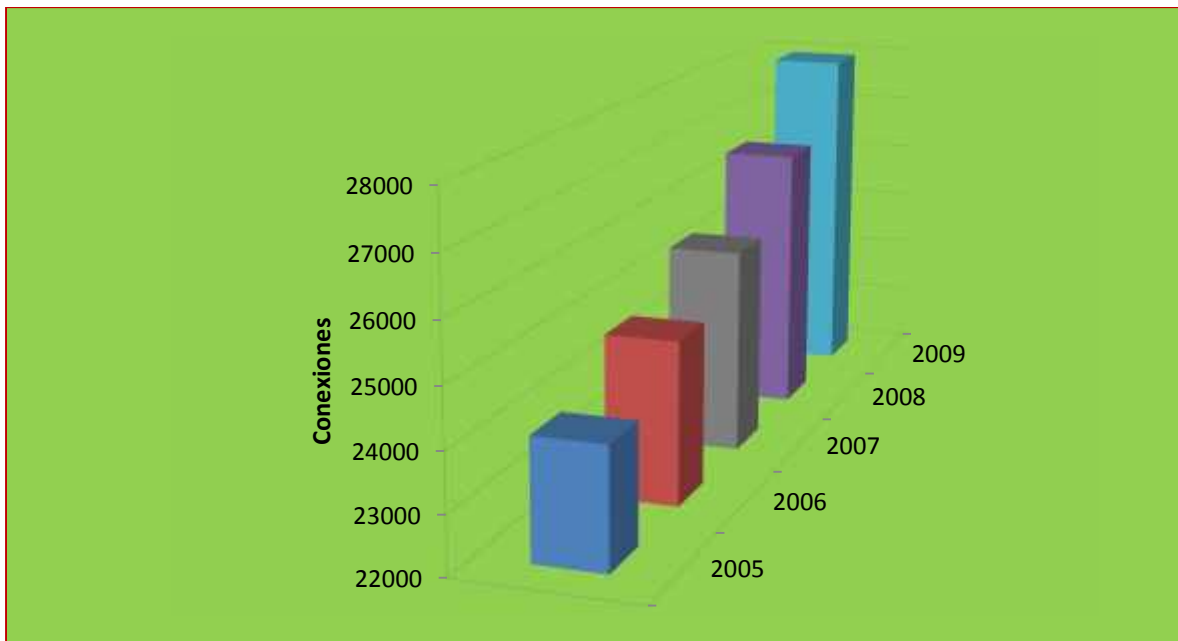
Para tener una mayor apreciación de la variación de las conexiones y número de habitantes en cada gestión se presentan las siguientes gráficas.

Figura 5.5: Número de usuarios de agua potable



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.6: Conexiones de agua potable



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el número de habitantes de cada gestión se procede a calcular los volúmenes de consumo o facturados y la dotación de agua potable para el número de habitantes de cada gestión, de la siguiente manera.

- ❖ Se calculan los volúmenes de consumo para cada gestión afectando para esto los volúmenes producidos por el valor de las pérdidas del sistema calculado anteriormente para la gestión 2009, suponiendo que las pérdidas para cada gestión son las mismas.
- ❖ Una vez conocidos los volúmenes de consumo para cada gestión, se los relaciona con el número de usuarios y se obtiene la dotación de agua potable del cociente de estos dos valores.

Tabla 5.12: Estimación de la dotación de agua potable (2005 – 2009)

Año	Vol. Producido m3/año	Vol. Consumo m3/año	Nº de Habitantes	Dotación l/hab/día
2005	14455499,55	11817894,91	146699	221
2006	14137030,60	11557535	151225	209
2007	14132898,80	11554157,10	155767	203
2008	14051207,00	11487371,1	162562	194
2009	14012545,60	11455764,00	170492	184

La dotación promedio de las gestiones analizadas será entonces:

Dotación promedio =	202 l/hab/día
----------------------------	----------------------

La dotación de agua potable se encuentra estimada con las pérdidas de agua potable. Para el análisis de las pérdidas en el sistema se debe tomar en cuenta que una parte de ellas se convierten en consumo real como ser la precisión del medidor, conexiones clandestinas, las cuales son de consumo de la población, mientras que la demás parte se producen por fugas en la red y en proceso. Es por eso que para obtener una dotación más real, se debe realizar un análisis más minucioso de estas desglosándolas como sigue a continuación.

- 1.- Pérdidas en el consumo en la planta de agua potable para el proceso y mantenimiento, lavado de filtros, purgas en la planta de la red. (18%)
- 2.- Pérdidas por fugas en la red maestra y en la distribución, regado de jardines (Pilas públicas, etc.) (65%)
- 3.- Caudal de arranque del medidor, precisión del medidor que varía normalmente entre 8 y 10%. Se asume el valor de 10%, pero como la cobertura de medición es del 66.87%, el valor resulta 6.69% adoptando un 7% como precisión del medidor.
- 4.- Conexiones clandestinas (10%)

Tabla 5.13: Pérdidas en el sistema de agua potable

CONCEPTO	% de pérdidas	% final
Perdidas en el proceso	18,00	3,28
Fugas en la red maestra y distribuidora	65,00	11,86
Diferencia en el micromedidor	7,00	1,28
Conexiones clandestinas	10,00	1,82
TOTAL	100,00	18,25

Entonces las pérdidas efectivas en el sistema serán las que se producen en el proceso y las de las fugas en la red maestra y distribuidora

Pérdidas efectivas en el sistema = 15.14%

Entonces tenemos que los volúmenes de producción o facturados serán estimados nuevamente con las pérdidas efectivas en el sistema.

Tabla 5.14: Estimación de la dotación efectiva de agua potable (2005 – 2009)

Año	Vol. Producido m3/año	Vol. Consumo m3/año	Nº de Habitantes	Dotación l/hab/día
2005	14455499,55	12266287,70	146699	229
2006	14137030,60	11996049,25	151225	217
2007	14132898,80	11992543,19	155767	211
2008	14051207,00	11923223,20	162562	201
2009	14012545,60	11890416,87	170492	191

Entonces la dotación promedio será:

Dotación promedio =	210 l/hab/día
---------------------	---------------

El porcentaje de usuarios con medidor es del 66.87%, mientras el otro 33.13% no cuentan con medidor, según los datos proporcionados por la COSAALT

Número de conexiones con medidor = 19137

Ahora con el módulo habitacional por conexión 6.1 hab/conex se calcula el número de habitantes con medidor.

Número de habitantes con medidor = 116736

El 33.13% de la población no cuenta con medidor y por lo cual la COSAALT opta por suponer un consumo promedio normal, pero en la mayoría de los casos, al no haber medición tiende a subir el consumo normal, por lo cual ese exceso se estima en un 15% más de consumo en el sector que carece de medidor.

Se realizará un ajuste de la dotación obtenida, afectando su valor con el porcentaje de cobertura de medición 66.87% y para el porcentaje que carece de medidor se afectará con el 33.13% restante incrementándolo más el 15%. Entonces tenemos:

Tabla 5.15: Estimación de la dotación real de agua potable

Sector	Cobertura %	Incremento %	Dotacion en funcion del % de cobertura l/hab/día
con medidor	66,87	0	140,34
sin medidor	33,13	15	79,96

Dotación promedio = 220 l/hab/día

Se puede observar que el valor obtenido de la dotación se encuentra dentro del rango establecido (200 – 250 l/hab/día) para la zona de los valles y una población mayor a 100000 habitantes, según la norma NB 689 de Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable.

Tabla 5.16: Dotación media diaria (l/hab/día)

Zona	Población (habitantes)					
	Hasta 500	De 501 a 2000	De 2001 a 20000	De 5001 a 20000	De 20001 a 100000	Más de 100000
Del Altiplano	30 - 50	30 - 70	50 - 80	80 - 100	100 - 150	150 - 200
De los Valles	50 - 70	50 - 90	70 - 100	100 - 140	150 - 200	200 - 250
De los Llanos	70 - 90	70 - 110	90 - 120	120 - 180	200 - 250	250 - 350

Fuente: NB 689 de Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable.

6.1 Introducción

El coeficiente de vuelco o de retorno está definido como la relación de volumen de agua residual que llega a las alcantarillas y el volumen de agua abastecida, este coeficiente toma en cuenta el hecho de que no toda el agua consumida dentro del domicilio es devuelta al alcantarillado, por razón de sus múltiples usos como ejemplo riego, lavado de pisos, cocina y otros. Se puede establecer entonces, que solo un porcentaje del total del agua consumida es devuelto al alcantarillado. Este porcentaje es denominado coeficiente de retorno o aporte, el que estadísticamente fluctúa entre 60 a 80%.

6.2 Caudal de aguas residuales

6.2.1 Ubicación y disponibilidad

Los caudales de aguas residuales fueron aforados en el canal Parshall ubicado en el ingreso de las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de la zona de San Luis, estos aforos se los realiza durante veinticuatro horas, un día al mes y doce veces al año y fueron extraídos de muestras compuestas que se realizan en el laboratorio de dicha planta.

A continuación se presentan los caudales medios horarios de un día del mes en l/s de agua residual de las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009. Los cuales fueron proporcionados por COSAALT.

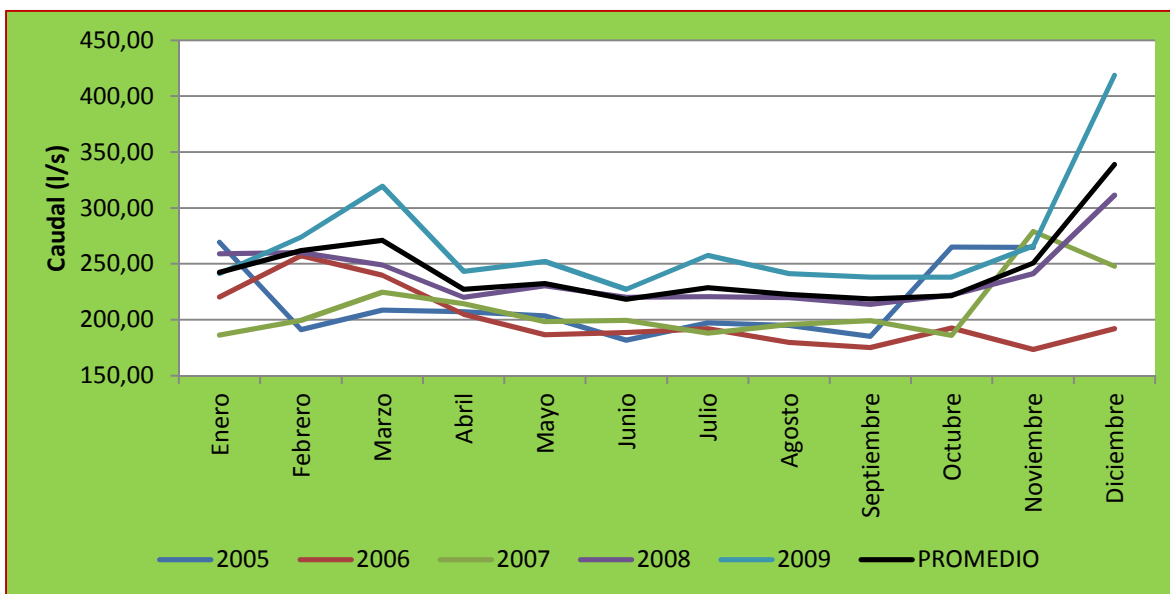
Tabla 6.1: Caudales medios horarios

Caudales medios horarios (l/s)						
Mes	Gestión					Promedio
	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	
Enero	-	220,22	186,25	258,96	241,33	226,69
Febrero	269,17	257,29	199,47	260,05	273,74	251,94
Marzo	191,15	239,65	224,73	248,86	319,43	244,76
Abril	208,48	204,88	214,39	220,10	243,32	218,23
Mayo	207,07	186,60	198,15	230,41	251,94	214,83
Junio	203,42	188,58	199,37	219,99	227,12	207,70
Julio	181,75	191,96	187,89	220,64	257,60	207,97
Agosto	197,15	179,70	195,75	219,70	241,31	206,72
Septiembre	194,88	175,03	199,10	213,78	238,11	204,18
Octubre	185,12	192,42	185,93	221,95	237,95	204,67
Noviembre	264,83	173,39	278,87	241,12	265,94	244,83
Diciembre	264,62	191,90	247,74	311,31	418,53	286,82
Total	2367,64	2401,62	2517,64	2866,87	3216,32	2674,02

Fuente: Elaboración propia

Para tener una mayor apreciación de la variación de los caudales en los diferentes meses y épocas del año se presenta la siguiente gráfica.

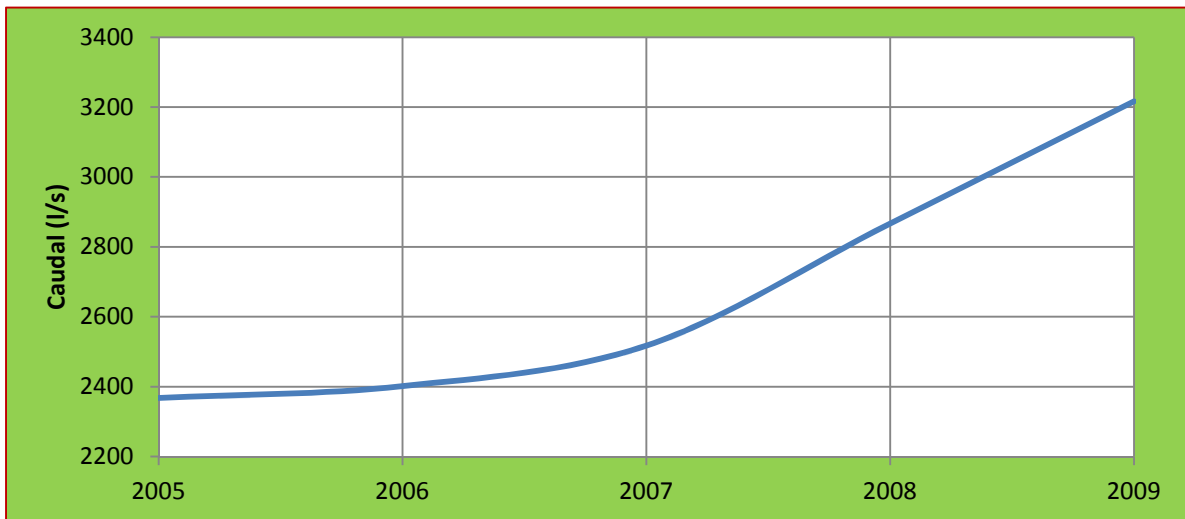
Figura 6.1: Caudales medios horarios



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en las épocas de primavera y verano los caudales se incrementan esto debido a que el consumo de agua potable en estas épocas se aumenta debido a que las temperaturas se elevan, teniendo como consecuencia un incremento también en los caudales de aguas residuales. Mientras que en las épocas de otoño y de invierno el consumo de agua potable disminuye debido a que las temperaturas disminuyen, teniendo como consecuencia una disminución en los caudales de aguas residuales.

Figura 6.2: Caudales medios anuales



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el caudal de aguas residuales en las diferentes gestiones se va incrementando esto debido a que la población aumenta y por lo tanto aumenta el número de usuarios, conexiones y de los efluentes que llegan hasta las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de San Luis.

6.2.2 Valores extremos máximos y mínimos horarios

Los coeficientes máximos y mínimos horarios se definen como la relación entre el caudal máximo, mínimo horario y el caudal medio diario, para la estimación de estos coeficientes se utilizarán los caudales de las muestras compuestas de agua residual, los cuales fueron aforados en el canal Parshall como ya se mencionó anteriormente, durante veinticuatro horas un día al mes y doce veces al año.

6.2.2.1 Caudales horarios

La variación de los caudales horarios de un día del mes para los diferentes meses del año se presenta en las siguientes tablas, a continuación y como ejemplo se muestra la variación de los caudales horarios para la gestión 2009 en el mes de septiembre por ser uno de los meses más secos del año donde el caudal de ingreso de agua residual a la planta de tratamiento no se ve afectado por lluvias que pueden filtrarse al sistema de alcantarillado sanitario. Las demás tablas y graficas para los meses restantes de esta gestión se encuentran en el anexo F

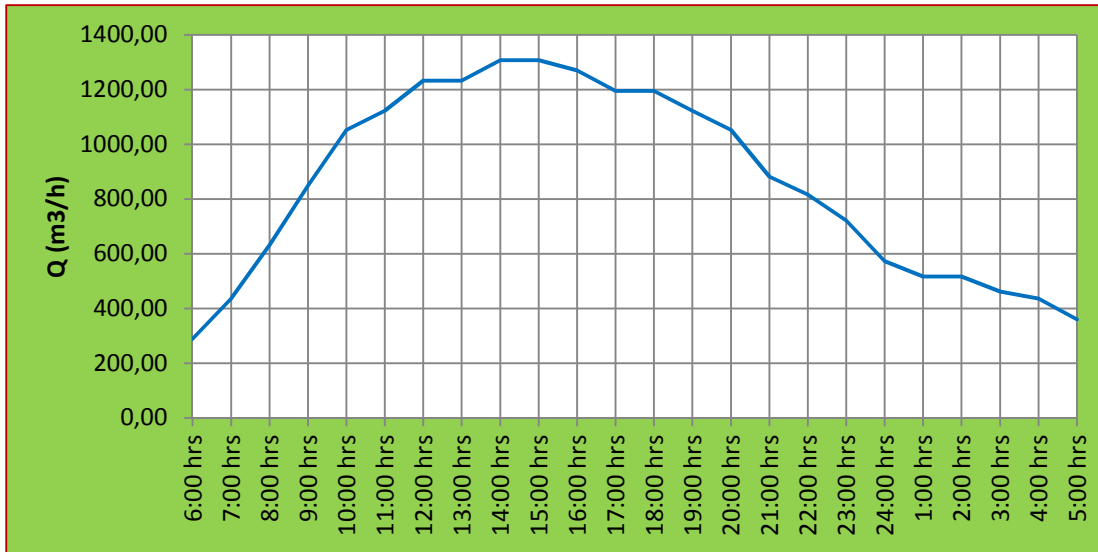
Mes de septiembre

Tabla 6.2: Caudales horarios mes de septiembre

Caudal (m ³ /h) mes de Septiembre							
Muestra	Hora	Año					Promedio
		2005	2006	2007	2008	2009	
1	6:00 hrs	311,688	163,33	409,72	288,61	288,61	292,39
2	7:00 hrs	409,716	266,11	488,92	435,60	435,60	407,19
3	8:00 hrs	848,736	660,60	848,74	690,87	630,82	735,95
4	9:00 hrs	1232,064	948,53	1051,96	914,86	848,74	999,23
5	10:00 hrs	1232,064	1051,96	1122,84	948,53	1051,95	1081,47
6	11:00 hrs	1195,272	1087,20	1195,27	948,53	1122,86	1109,83
7	12:00 hrs	982,62	1017,07	1087,20	1122,86	1232,06	1088,36
8	13:00 hrs	1051,956	948,53	1087,20	1122,86	1232,06	1088,52
9	14:00 hrs	1051,956	881,60	1017,07	1122,86	1306,72	1076,04
10	15:00 hrs	1051,956	816,30	1087,20	1158,88	1306,72	1084,21
11	16:00 hrs	982,62	948,53	1051,96	1158,88	1269,21	1082,24
12	17:00 hrs	982,62	881,60	982,62	1051,95	1195,29	1018,82
13	18:00 hrs	1051,956	881,60	816,30	982,61	1195,29	985,55
14	19:00 hrs	848,736	816,30	816,30	881,59	1122,86	897,16
15	20:00 hrs	721,584	572,62	721,58	816,31	1051,95	776,81
16	21:00 hrs	488,916	516,31	572,62	721,57	881,59	636,20
17	22:00 hrs	435,6	435,60	461,99	721,57	816,31	574,21
18	23:00 hrs	435,6	435,60	435,60	660,62	721,57	537,80
19	24:00 hrs	359,604	409,72	409,72	660,62	572,61	482,45
20	1:00 hrs	288,612	359,60	359,60	516,32	516,32	408,09
21	2:00 hrs	266,112	311,69	311,69	435,60	516,32	368,28
22	3:00 hrs	223,02	266,11	311,69	435,60	462,00	339,68
23	4:00 hrs	202,464	223,02	266,11	384,39	435,60	302,32
24	5:00 hrs	182,556	223,02	288,61	288,61	359,59	268,48

Datos: COSAALT (2005 – 2009)

Figura6.3: Caudales horarios mes de septiembre (2009)



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en las gráficas de los diferentes meses del año que los caudales pico se presentan en horas del día (9:00 am hasta las 16:00 pm) para luego ir disminuyendo en horas de la noche hasta llegar a los mínimos en las horas de madrugada (1:00 am. a 5:00 am.). Esto debido a que el consumo mayor de agua potable de la población se presentan en esas horas del día y el consumo menor de la población se presenta en horas de la madrugada acompañada de pérdidas de agua potable que se filtran al alcantarillado sanitario ya sea por accesorios en mal estado u otros que aportan en gran cantidad a este caudal.

6.2.2.2 Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario

Para la estimación del coeficiente máximo horario se utilizará los caudales máximos horarios de las muestras compuestas de agua residual de cada mes para cada gestión y se los dividirá entre el caudal medio diario, de igual manera se obtendrán los coeficientes mínimos horarios de la relación entre los caudales mínimos y el caudal medio diario y se los presenta a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 6.3: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2005)

GESTION 2005					
Mes	Caudal máximo horario	Caudal mínimo horario	Caudal medio diario	Coef. Max horario	Coef. Min horario
	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)		
Enero					
Febrero	1344,6	288,61	969,02	1,39	0,30
Marzo	1051,96	266,11	688,14	1,53	0,39
Abril	1232,06	223,02	750,53	1,64	0,30
Mayo	1232,06	163,33	745,44	1,65	0,22
Junio	1232,06	202,46	732,33	1,68	0,28
Julio	1122,84	202,46	654,3	1,72	0,31
Agosto	1195,27	202,46	709,74	1,68	0,29
Septiembre	1232,06	182,56	701,58	1,76	0,26
Octubre	1195,27	182,56	666,44	1,79	0,27
Noviembre	2040,91	182,56	953,39	2,14	0,19
Diciembre	1269,22	488,91	952,62	1,33	0,51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.4: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2006)

GESTION 2006					
Mes	Caudal máximo horario	Caudal mínimo horario	Caudal medio diario	Coef. Max horario	Coef. Min horario
	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)		
Enero	1232,06	311,69	792,78	1,55	0,39
Febrero	1306,73	223,02	926,23	1,41	0,24
Marzo	1195,27	266,11	862,74	1,39	0,31
Abril	1195,27	202,46	737,56	1,62	0,27
Mayo	1087,2	182,56	671,74	1,62	0,27
Junio	1017,07	182,56	678,89	1,50	0,27
Julio	1158,88	202,46	691,05	1,68	0,29
Agosto	1017,07	244,26	646,9	1,57	0,38
Septiembre	1087,2	163,33	630,11	1,73	0,26
Octubre	1499,65	244,26	692,72	2,16	0,35
Noviembre	1087,2	223,02	624,21	1,74	0,36
Diciembre	1122,84	223,02	690,84	1,63	0,32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.5: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2007)

GESTION 2007					
Mes	Caudal máximo horario	Caudal mínimo horario	Caudal medio diario	Coef. Max horario	Coef. Min horario
	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)		
Enero	1122,84	202,46	670,49	1,67	0,30
Febrero	1122,84	223,02	718,09	1,56	0,31
Marzo	1195,24	288,61	809,04	1,48	0,36
Abril	1158,88	223,02	771,8	1,50	0,29
Mayo	1187,2	288,61	713,33	1,66	0,40
Junio	1187,2	202,46	717,73	1,65	0,28
Julio	1051,96	223,02	669,74	1,57	0,33
Agosto	1195,2	266,04	704,69	1,70	0,38
Septiembre	1195,27	266,11	716,77	1,67	0,37
Octubre	1232,06	244,26	669,33	1,84	0,36
Noviembre	1997,35	266,11	1003,92	1,99	0,27
Diciembre	1269,22	435,6	891,86	1,42	0,49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.6: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2008)

GESTION 2008					
Mes	Caudal máximo horario	Caudal mínimo horario	Caudal medio diario	Coef. Max horario	Coef. Min horario
	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)		
Enero	1306,72	435,6	932,27	1,40	0,47
Febrero	1306,72	435,6	936,19	1,40	0,47
Marzo	1232,06	288,61	895,91	1,38	0,32
Abril	1195,29	288,61	792,34	1,51	0,36
Mayo	1232,06	288,61	829,48	1,49	0,35
Junio	1195,29	266,13	791,95	1,51	0,34
Julio	1195,29	288,61	794,32	1,50	0,36
Agosto	1195,29	266,13	790,91	1,51	0,34
Septiembre	1158,88	288,61	769,61	1,51	0,38
Octubre	1232,06	288,61	799,01	1,54	0,36
Noviembre	1232,06	384,39	868,04	1,42	0,44
Diciembre	1742,56	288,61	1120,72	1,55	0,26

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.7: Estimación del coeficiente máximo y mínimo horario (2009)

GESTION 2009					
Mes	Caudal máximo horario	Caudal mínimo horario	Caudal medio diario	Coef. Max horario	Coef. Min horario
	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)		
Enero	1344,6	266,13	868,79	1,55	0,31
Febrero	1382,83	435,6	985,45	1,40	0,44
Marzo	1579,27	690,87	1149,96	1,37	0,60
Abril	1232,06	311,69	875,94	1,41	0,36
Mayo	1306,72	359,59	907	1,44	0,40
Junio	1306,72	244,26	817,64	1,60	0,30
Julio	1306,72	311,69	927,37	1,41	0,34
Agosto	1232,06	359,59	868,72	1,42	0,41
Septiembre	1306,72	288,61	857,19	1,52	0,34
Octubre	1232,06	335,36	856,64	1,44	0,39
Noviembre	1306,72	335,36	957,4	1,36	0,35
Diciembre	2129	435,6	1506,71	1,41	0,29

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculados los coeficientes máximos horarios para las gestiones 2005, 2006 2007, 2008, 2009. Se adoptará como coeficiente máximo horario el promedio de estas gestiones para tener un valor más representativo de estos

Coeficiente máximo horario = 1,55

De igual manera se adoptará como coeficiente mínimo horario el promedio de las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009.

Coeficiente mínimo horario = 0,36

6.2.2.3 Estimación de los coeficientes máximos y mínimos diarios

Para la estimación del coeficiente máximo y mínimo diarios se utilizarán los volúmenes producidos de agua de las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009. Siendo éstos la relación entre el promedio de cada mes entre el promedio total y se los presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6.8: Estimación del coeficiente máximo y mínimo diario

Mes	Volúmenes producidos (m3)					Promedio	Coeficiente
	Gestión						
	2005	2006	2007	2008	2009		
Enero	1248118,55	1271639,10	1274196,70	1243017,50	1231259,50	1253646,27	1,06
Febrero	1117049,40	1123477,80	1140594,90	1164762,00	1131023,90	1135381,60	0,96
Marzo	1242788,40	1241451,90	1235093,50	1211479,20	1247200,60	1235602,72	1,05
Abril	1198171,90	1165267,90	1178513,50	1177776,80	1188015,60	1181549,14	1,00
Mayo	1246911,50	1227864,00	1197857,70	1211329,90	1216104,70	1220013,56	1,03
Junio	1071108,70	1155771,80	1141875,00	1058186,10	1152631,80	1115914,68	0,95
Julio	1224866,60	1140517,80	1189133,20	1151112,80	1137098,10	1168545,70	0,99
Agosto	1194701,60	1157797,00	1156244,40	1125461,30	1107571,90	1148355,24	0,97
Septiembre	1200920,20	1089159,30	1085459,90	1072083,60	1081250,60	1105774,72	0,94
Octubre	1206237,40	1139760,90	1147316,50	1165899,80	1102109,70	1152264,86	0,98
Noviembre	1273336,50	1188455,20	1130776,10	1211317,60	1143688,10	1189514,70	1,01
Diciembre	1231288,80	1235867,90	1255837,40	1258780,40	1274591,10	1251273,12	1,06
Promedio	1204624,96	1178085,88	1177741,57	1170933,92	1167712,13	1179819,69	12,00

Siendo el coeficiente máximo y el mínimo los presentados en la siguiente tabla:

Coeficiente diario máximo =	1,06
Coeficiente diario mínimo =	0,94

6.3 Estimación del coeficiente de vuelco o de retorno

Para la estimación del coeficiente de retorno se determinará el consumo medio diario de abastecimiento, este será igual a la población del área de influencia del proyecto 160711 habitantes por la dotación de agua potable, para tener un valor más aproximado y real del coeficiente de retorno se trabajará con la dotación de agua potable estimada para la última gestión (2009), esto debido a que para la estimación de la dotación de agua potable se trabajó con la hipótesis de que las pérdidas de agua potable en la gestión 2009 son las mismas para las anteriores gestiones entonces tenemos.

Año	Dotación l/hab/día
2009	184

$$\text{Caudal medio diario} = (160711\text{hab} \cdot 184 \text{ l/hab/día}) / 1000 = 29571 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora el caudal medio de las muestras compuestas de agua residual para la gestión 2009 será igual

$$\text{Caudal medio muestras compuestas (2009)} = 23157,5 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Coeficiente de retorno} = \frac{23157,5 \text{ (m}^3/\text{día)}}{29571 \text{ (m}^3/\text{día)}} \cdot 100 = 78\%$$

Se puede observar que el valor obtenido se encuentra dentro del rango que recomienda la norma de alcantarillado sanitario NB688 que estadísticamente fluctúa entre 60 a 80% como coeficiente de retorno y significa que un 78% de agua de abastecimiento que ingresa a la ciudad retorna como agua residual a la planta de tratamiento.

7.1 Introducción

La mayoría de la materia orgánica que contamina el agua procede de desechos de alimentos, de aguas negras domésticas y de fábricas y es descompuesta por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores. Ese proceso de descomposición ocurre tanto en el agua como en la tierra y se lleva a cabo mediante reacciones químicas que requieren oxígeno para transformar sustancias ricas en energía en sustancias pobres en energía. El oxígeno disuelto en el agua puede ser consumido por la fauna acuática a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos acuáticos compitan por el oxígeno y en consecuencia se vea afectada la distribución de la vida acuática.

Una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica (sirve como nutriente y requiere oxígeno para su descomposición) es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica nutritiva consume oxígeno por la descomposición bacteriana y se la denomina demanda bioquímica de oxígeno.

7.2 Definición y composición

Los sólidos suspendidos de un agua residual pueden contener un 75% de materia orgánica; los sólidos disueltos un 40%. La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40 – 60%), los carbohidratos (25 – 50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes. Concentraciones grandes de materia orgánica, en aguas residuales, se miden mediante la DBO, la DQO y el COT. Concentraciones pequeñas de materia orgánica, del orden de trazas, 10^{-12} a 10^{-3} mg/l, se cuantifican por cromatografía de gases y espectroscopia de masa.

7.2.1 Proteínas

Compuesto de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno de estructura química compleja e inestable, sujetos a muchas formas de descomposición, constituyen un componente esencial del protoplasma celular y de la dieta de todo animal. La formación de proteínas supone el

enlace de un gran número de α -aminoácidos, los cuales son sintetizables por la mayoría de las plantas y de las bacterias; todas contienen un grupo amino adherido al carbón alfa del aminoácido y son, junto con la urea, la principal fuente de nitrógeno en aguas residuales.

Los residuos industriales más ricos en proteínas son los provenientes de procesadoras de carnes, quesos, huevos y ciertos vegetales.

7.2.2 Carbohidratos

Grupos de compuestos de carbono, hidrogeno y oxigeno, en los cuales el hidrogeno y el oxigeno están en la misma relación que en el agua; muy comunes en aguas residuales y en la industria de la madera, papel, textiles y alimentos. Incluye azucares, almidones, celulosa y hemicelulosa. Desde el punto de vista de tratabilidad el carbohidrato más importante es la celulosa, por ser el más resistente en procesos aerobios, aunque se destruye fácilmente en el suelo como resultado de la actividad de varios hongos.

7.2.3 Grasas y aceites

Se definen como sustancias solubles en hexano, cuando el ensayo se realiza por extracción con hexano. En la técnica actual el ensayo se realiza por extracción con freón. Se consideran grasas y aceites los compuestos de carbono, hidrogeno y oxigeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia y problemas de mantenimiento, e interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar. Generalmente provienen de la mantequilla, manteca, margarina, aceites y vegetales, hidrocarburos y carnes. Los aceites y grasas de origen vegetal son comúnmente biodegradables y aun en forma emulsificadas como las provenientes de mataderos, frigoríficos, lavanderías y otras industrias causan serios problemas de mantenimiento en las plantas de tratamiento.

Los aceites y grasas de origen mineral pueden ser o no biodegradables y requieren pretratamiento para ser removidos antes del tratamiento biológico. Sin embargo, no existe un método que permita distinguir las grasas y aceites vegetales o animales de las de origen

mineral, aunque existe el procedimiento para diferenciar entre grasas y aceites polares y no polares.

7.3 Determinación de parámetros

7.3.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias en el proceso de estabilización de la materia orgánica descomponible bajo condiciones aeróbicas. La materia orgánica sirve como alimento a las bacterias, las cuales derivan energía del proceso de descomposición u oxidación.

El ensayo de la demanda bioquímica de oxígeno es ampliamente usado para medir el grado de polución de una corriente de agua, así como para determinar la cantidad de oxígeno requerido para oxidar y estabilizar las aguas residuales por medio de un tratamiento biológico.

Como la demanda bioquímica de oxígeno es un ensayo de tipo biológico en donde se mide el oxígeno consumido por organismos vivos mientras oxidan la materia orgánica, es muy importante simular condiciones muy similares a las presentes en la naturaleza.

Estas condiciones son la ausencia de tóxicos, presencia de nutrientes (P, N), cultivos de bacterias fuertes y bien aclimatados, pH y temperaturas adecuadas, etc. Para que los resultados sean exactos no se debe permitir la entrada de aire a la muestra durante el ensayo siempre debe quedar oxígeno disuelto al final del periodo de incubación con el fin de poder determinar el oxígeno consumido. Por consiguiente, aquellas aguas residuales con contenido orgánico muy alto, deberán ser diluidas.

El periodo de incubación de la demanda bioquímica de oxígeno es generalmente de cinco días, representada como DBO_5 , en la que se mide el oxígeno disuelto requerido para la oxidación de un 65 a 75% de la materia orgánica carbonácea.

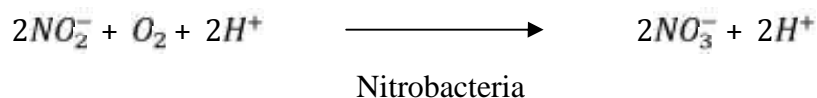
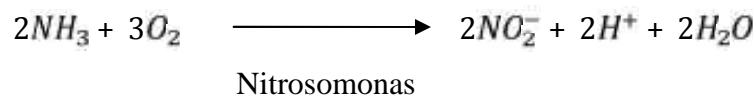
La velocidad a la cual se realizan las reacciones que toman lugar en el ensayo de la demanda bioquímica de oxígeno son reguladas por la población bacteriana y la

temperatura. Esta temperatura se mantiene constante durante el ensayo y universalmente se toma como 20°C, valor medio de las aguas naturales.

Teóricamente se necesita un tiempo infinito para la oxidación biológica completa de la materia orgánica, pero para propósitos prácticos se considera que un ensayo de demanda bioquímica de oxígeno termina a los 20 días. Esta DBO se conoce como DBO₂₀ y a menudo se la hace equivalente a la DBO última, DBO_U. Como 20 días son demasiado tiempo para esperar los resultados de un análisis, la DBO₅ se considera como el ensayo estándar.

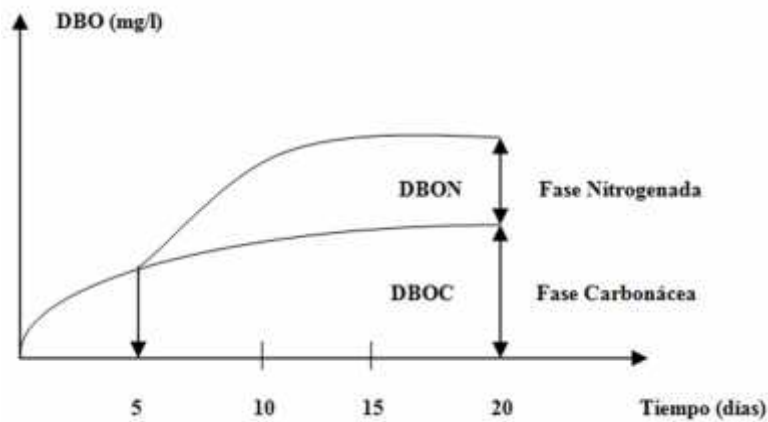
Después del quinto día aproximadamente, los compuestos nitrogenados presentes, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal, empiezan a ser oxidados por las bacterias nitrificantes o del nitrógeno. Las bacterias nitrificantes están generalmente en pequeña cantidad en las aguas residuales domesticas sin tratar y su velocidad de reproducción a 20°C es tal, que su población no llega a ser lo suficientemente grande para ejercer una DBO apreciable en los primeros días de incubación, aunque hay autores que afirman que su acción empieza desde el primer día.

La oxidación de los compuestos nitrogenados se lleva a cabo en dos etapas: En la primera las bacterias formadoras del nitrito o nitrosomonas, convierten el nitrógeno amoniacal a nitrito y luego las bacterias formadoras del nitrato o nitrobacterias lo convierten a nitrato.



Son entonces dos fases las que se presentan durante el proceso de oxidación de la materia orgánica; la primera se conoce como DBO carbonácea (DBOC) y la segunda como DBO nitrogenada (DBON). Se asume que ambas fases siguen una reacción de primer orden y poseen tendencias muy definidas según se representa

Figura 7.1- Comportamiento de la DBO en sus fases Carbonácea y Nitrogenada



Fuente: Tratamiento biológico de las aguas residuales. Universidad de Antioquia

7.3.1.1 Cálculo y medida de la DBO

El cálculo se efectúa determinando el contenido de oxígeno de una muestra de agua y lo que queda después de un tiempo determinado (se toman 5 días como medida estándar) de otra muestra semejante conservada durante este período a una temperatura dada (20° C) en un recipiente cerrado, fuera del contacto del aire y en la oscuridad, en orden a evitar el aporte de oxígeno por fotosíntesis. La diferencia entre los dos contenidos representa la D. B. O. en 5 días (D. B. O. 5.) La prueba de la D. B. O. presenta algunas limitaciones: no señala la presencia de sustancias orgánicas difícilmente biodegradables (aceites, ciertos tipos de detergentes, etc.) En 5 días, el proceso de degradación de la materia orgánica no está concluido (por ejemplo, son necesarios 20 días, en el caso de las aguas residuales domésticas, para lograr una oxidación biológica óptima.) Los valores de la D. B. O., por tanto, son inferiores a los de la D. B. O. última. Además la presencia de ciertas sustancias Tóxicas para los microorganismos responsables de la demanda de oxígeno en las aguas, hace que los valores de la D. B. O. hallados sean menores de los que teóricamente corresponderían. Todo lo anterior indica que la D. B. O. proporciona una medida sólo aproximada de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales.

Las unidades en las que se miden son gramos de oxígeno / metros cúbicos de agua o en el equivalente miligramos de oxígeno / litros de agua. Por lo que sus dimensiones físicas son masa/volumen = m/v.

7.3.1.2 Utilidad y aplicaciones de la DBO en el tratamiento de aguas residuales

Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales algunos sistemas pueden ser descritos a continuación:

Lodos activados

El proceso de los lodos activados es un tratamiento biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos es devuelto al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento. A medida que los microorganismos crecen y son mezclados en el tanque de aireación, se aglutinan y forman una masa activa de microorganismos llamada lodo activado. La mezcla de lodo activado y aguas residuales en el tanque de aireación es llamada licor de mezclado, la cual fluye a un tanque de sedimentación secundario en donde sedimentan los lodos activados. Los efluentes del sedimentador secundario pueden ser descargados a una corriente receptora o ser sometidos a tratamientos adicionales según las normas sobre calidad de efluentes. Parte de los lodos son retornados al tanque de aireación con el fin de mantener una población bacteriana alta que permita una oxidación rápida de la materia orgánica y el resto es sometido a tratamientos más avanzados para lograr una disposición final adecuada.

Filtros percoladores

Los filtros percoladores tuvieron su origen en Inglaterra y consisten de un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de piedras o materiales sintéticos de diversas formas, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medios de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho fijo se encuentra adherida una población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que estas percolan hacia el fondo del tanque. Después de cierto tiempo, la capa de material adquiere un gran espesor y se desprende hidráulicamente del lecho de piedras para pasar luego a un clarificador secundario en donde se efectúa la separación de los lodos formados.

Los filtros percoladores han sido utilizados ampliamente en el tratamiento de las aguas residuales, su operación es muy sencilla y pueden ser utilizados en casos donde no se necesite una eficiencia muy alta en la remoción de la DBO.

Entre las limitaciones de un filtro percolador tenemos su poca efectividad para tratar cargas orgánicas demasiado elevadas, las cuales producen un atascamiento de los espacios libres del lecho por el exceso de crecimiento bacteriano. Esta situación puede llevar a inundaciones y fallas en los sistemas.

Entre las ventajas del filtro percolador podemos citar su fácil operación y flexibilidad para recibir cargas orgánicas variables durante el día.

Lagunas de estabilización

Son estanques grandes de poca profundidad, diseñados para tratar las aguas residuales a través de una relación entre la luz del sol, algas oxígeno y bacterias.

Las lagunas de estabilización poco profundas (0.6 a 1.5m) son casi totalmente aeróbicas con una pequeña fracción anaeróbica cerca al fondo, en donde hay formaciones de lodos. Lagunas con profundidades de 3 a 6m tienen una capa superior aeróbica y una inferior anaeróbica, denominándose en este caso lagunas facultativas. Profundidades mayores convierten la laguna en completamente anaeróbica. Estas últimas lagunas son las generadoras de malos olores.

En la capa superior de una laguna se forma una gran población alga que toma la luz del sol, el dióxido de carbono y otros compuestos inorgánicos liberados por acción bacteriana en la laguna para producir el oxígeno necesario para que las bacterias efectúen la

descomposición de la materia orgánica, estableciéndose como se dijo inicialmente un ciclo de energía solar, dióxido de carbono, algas, oxígeno y bacterias.

Las lagunas de estabilización son diseñadas frecuentemente con varias celdas en serie para lograr mejores eficiencias de tratamiento, principalmente en el caso de aguas residuales con una DBO muy alta. En esta situación, la última sirve para refinar la calidad de los efluentes. Una laguna de estabilización es recomendada para pequeñas comunidades con poblaciones de 10000 a 20000 habitantes o para ciertas industrias.

Entre las ventajas de una laguna de estabilización podemos citar su fácil operación y construcción y ausencia de equipos mecánicos complejos para mantener.

Como desventaja podemos citar las grandes extensiones de tierra requerida que pueden hacer este sistema prohibitivo en ciudades en donde el valor de la tierra es muy alto. También podemos citar entre las desventajas la falta de mantenimiento que se da a las lagunas, precisamente por su facilidad de operación lo que las convierte en meros estanques cubiertos de maleza.

Lagunas aireadas

Una laguna aireada es un sistema en el cual se efectúa el tratamiento de las aguas residuales como en el proceso de lodos activados, pero sin retorno, es decir, el agua residual pasa solamente una vez. Aunque se derivan fundamentalmente de las lagunas de estabilización, su funcionamiento difiere en el hecho de que el aire se suministra artificialmente, mediante aireadores mecánicos, por lo cual las algas no representan una parte sustancial del proceso biológico.

Las lagunas aireadas son en definitiva un sistema intermedio entre los lodos activados y las lagunas de estabilización. Tienen dimensiones grandes y tiempos de detención que fluctúan entre 3 y 20 días y pueden operar en forma aerobia o en forma facultativa.

Los valores típicos de la DBO_5 para aguas residuales domésticas se sitúan entre los 250 – 350 g/m³, mientras que ciertas aguas residuales industriales pueden alcanzar cifras de hasta varios miles de gramos de oxígeno por metro cúbico de agua. Por comparación, los valores de la D. B. O. en un río no contaminado no han de superar los 3 g/m³, mientras que uno muy contaminado podría tener valores aproximados a 10 g/m³.

7.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de las aguas residuales.

El origen de la demanda química de oxígeno se basa en el hecho de que existen agentes químicos oxidantes por medio de los cuales se puede medir la demanda de oxígeno de las aguas residuales. El permanganato de potasio fue quizás el primer compuesto utilizado en la determinación de lo que en ese entonces se llamaba oxígeno consumido del permanganato. El uso del permanganato de potasio cayó en desuso después de comprobarse que los resultados del ensayo variaban según el tipo de compuesto y concentración del reactivo.

El dicromato de potasio constituye, hasta el momento, el mejor agente oxidante para la determinación de la demanda química de oxígeno. Una de sus ventajas es la capacidad de oxidar gran variedad de compuestos orgánicos. Otra de sus ventajas es la determinación de su concentración, antes y después de la prueba de la demanda química de oxígeno, para encontrar la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica del desecho.

Una de las ventajas de la demanda química de oxígeno es el poco tiempo que tarda su realización debido a que un análisis de la demanda bioquímica de oxígeno tarda cinco días y uno de la demanda química de oxígeno tarda tres horas. Otra de las ventajas de un ensayo de la demanda química de oxígeno es la de poder oxidar casi todos los compuestos orgánicos, en consecuencia los valores de la demanda química de oxígeno son mayores que los de la demanda bioquímica de oxígeno y la diferencia aumenta con la presencia de materia orgánica biológicamente resistente. Una de las desventajas de este método es la imposibilidad de hacer por este método una diferenciación entre la materia orgánica biológicamente oxidable y la materia orgánica no biodegradable.

Las unidades en las que se miden son gramos de oxígeno / metros cúbicos de agua o en el equivalente miligramos de oxígeno / litros de agua. Por lo que sus dimensiones físicas son $\text{masa/volumen} = m/v$.

7.3.2.1 Utilidad y aplicaciones de la DQO

Principalmente se utiliza este parámetro para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales que, o no son biodegradables, o contienen componentes que inhiben la actividad de los microorganismos que degradan la materia orgánica.

El método de la demanda química de oxígeno se usa a menudo para medir los contaminantes en las aguas naturales y residuales y para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas residuales municipales e industriales, también se usa también en aplicaciones en centrales eléctricas, industria química, industria papelera, lavanderías, estudios medioambientales y educación general.

7.3.3 Carbono orgánico total

Especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica, y se basan en la oxidación del carbono existente en la materia orgánica, la cual da como resultado dióxido de carbono. La determinación del dióxido de carbono se obtiene por medio de la absorción en hidróxido de potasio, o de análisis instrumentales, como la utilización del analizador de infrarrojo.

7.3.4 Relación entre la DBO5 y DQO

Para diseñar una planta de tratamiento, es necesario saber cuánta materia orgánica biodegradable está presente en el efluente de aguas residuales, por consiguiente se necesita determinar la DBO5, sin embargo es aconsejable medir también en paralelo la demanda química de oxígeno DQO, de esta forma se obtiene información acerca de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos presentes.

La relación DBO5 /DQO indica la fracción biodegradable de los compuestos oxidables al bicromato. Esta relación es < 1 . Entonces:

- ❖ un valor elevado es un índice de biodegradabilidad y por consiguiente de una buena tratabilidad por métodos biológicos.

- ❖ si el agua servida contiene solo compuestos orgánicos biodegradables no tóxicos o tóxicos solamente a altas concentraciones, las relaciones DBO₅ / DQO se encuentran en el intervalo de 0,7 - 0,55.
- ❖ la relación DBO/DQO, es un buen indicador de la posibilidad del tratamiento biológico de una agua servida dada; mientras más baja sea esta relación, mayor será la proporción de compuestos no degradables en el AS.
- ❖ alrededor de 0,5 a 0,3, el resultado es dudoso y los microorganismos requieren de una aclimatación.
- ❖ por debajo de 0,3 se debe considerar procesos fisicoquímicos como método de tratamiento; la purificación biológica sola ya no es suficiente.
- ❖ si la relación es 0,2, se está ante una AS constituida fundamentalmente por compuestos no degradables por medios biológicos.

7.3.4.1 Ventajas de la DQO respecto de la DBO

La demanda bioquímica de oxígeno DBO presenta las siguientes desventajas:

- ❖ Necesita de personal capacitado.
- ❖ Procedimiento costoso.
- ❖ Lento en dar los resultados.
- ❖ Más propensa a errores del operario.

La demanda química de oxígeno DQO presenta las siguientes ventajas:

- ❖ Los resultados se obtienen en menor tiempo (aprox. 4 horas) en comparación con la DBO₅ que normalmente requiere de un periodo de incubación de 5 a 7 días.
- ❖ Es fácil de realizar tanto por personal técnico como no técnico.
- ❖ Permite tomar medidas correctivas a tiempo, evitando errores, reprocesos y multas.

7.4 Metodología de muestreo y conservación de muestras

El objetivo de un muestreo en aguas servidas es el de recoger una cierta cantidad de muestras de tal manera que su volumen sea el mínimo posible pero que sí sean representativas de la concentración real de la sustancia o material por analizar. Esa cantidad de muestra no debe ofrecer problema en el transporte ni en la manipulación.

Debe asegurarse que la muestra no sufra cambios significativos en su composición en el período de tiempo que transcurre entre el momento de la toma y el momento del ensayo respectivo, esto es responsabilidad de la persona que realiza el muestreo.

La selección de los sitios de toma de las muestras así como la definición de la cantidad y el volumen de las muestras, son igualmente tarea y responsabilidad del personal del laboratorio que realiza los análisis.

7.4.1 Toma de muestras

No se puede indicar un solo procedimiento para la toma de las muestras, por la gran variedad de fines o propósitos del análisis y por la diversidad de determinaciones analíticas. Para determinados componentes es muy importante el sitio o punto en el que se recoge la muestra. En general, la toma se hará bajo la superficie en áreas tranquilas. Hay que evitar las áreas de turbulencia excesiva, a causa de la posible pérdida de componentes volátiles y presencia de vapores tóxicos.

Por otro lado, se debe evitar la toma de muestras en zonas muertas en la planta, tales como canaletas auxiliares de desagüe, secados etc. Tampoco tomar la muestra junto a las paredes o el fondo del canal, sino buscar el sitio de toma en la zona más representativa que se encuentra en el centro geométrico del canal, normalmente a una profundidad mínima de 15 cm.

Hay que definir exactamente los puntos estándar de toma mediante una descripción detallada, con mapas o utilizando postes, boyas o mojones y codificarlos correspondientemente, de tal manera que sea fácil su identificación por otras personas sin que éstas tengan que recurrir a la memoria de quien realizó la toma o que tengan que ser guiadas al sitio.

La cantidad y el volumen de las muestras por tomar se define de acuerdo a un aforo del sitio de muestreo, contando con datos de área, profundidad y velocidad de flujo.

Para tomar una muestra compuesta hay que combinar varias muestras puntuales tomadas a diferentes horas del día, mezclándolas en proporción directa al caudal que representan. Por ejemplo, para tomar muestras compuestas a la entrada de la planta habría que tomar muestras puntuales de agua residual a intervalos regulares de una–dos horas, y medir simultáneamente con cada toma de muestra puntual el caudal de entrada a la planta.

Previamente a una toma, toda persona encargada del muestreo debe tener en cuenta las siguientes normas generales de prevención:

- ❖ **Prevención personal.-** El encargado de muestreo debe estar provisto de guantes de goma de manga larga (de tipo clínico), para evitar contaminación tanto en su persona como en la muestra a tomar. Una vez realizado el muestreo, debe sumergir los guantes por media hora en una solución de cloro al 0,5% (diluir 50 ml de hipoclorito de sodio al 10% en 1 l de agua).

- ❖ **Prevención de materiales.-** Todo material usado para hacer un muestreo debe estar totalmente limpio y exento de residuos sólidos o líquidos. Debe lavarse previamente con abundante agua y si es necesario con detergentes apropiado y posterior enjuague y lavado con agua fresca, hasta asegurar la total higiene del recipiente muestreador.

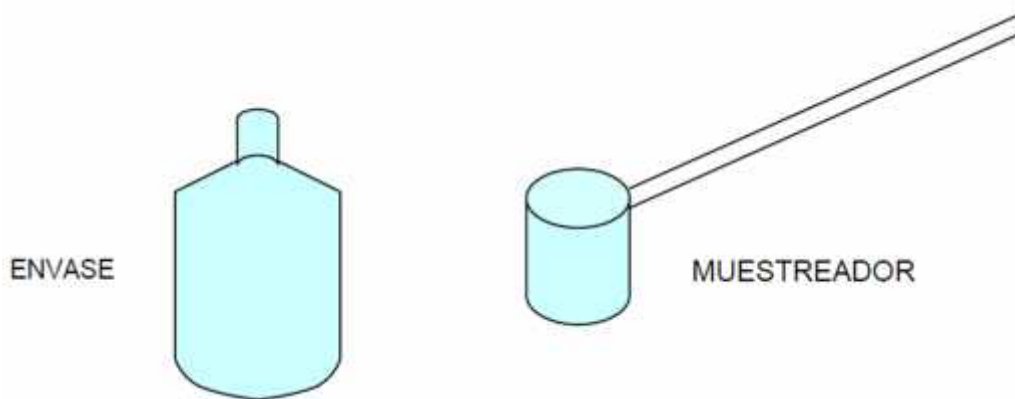
Dependiendo de la finalidad del ensayo en laboratorio, se emplea diferentes tipos de recipientes o envases muestreadores. Para muestreos de tipo físico-químico (sólidos en todas sus formas, DBO etc.), se usan normalmente bidones plásticos de polietileno, inertes, de aprox. 5 l de capacidad, provistos de tapa plástica atornillable. Se sugiere que sean de un color uniforme y debidamente identificados mediante números. A la hora de tomar una muestra agarrar el mango del muestreador propiamente dicho, enjuagar tres veces con el agua que se desea muestrear, luego proceder al enjuague del bidón tres veces y luego obtener la muestra en el bidón.

Para muestreos de tipo bacteriológico (coliformes totales y fecales), se usa frascos de vidrio neutro, de 120 ml de capacidad, con tapa esmerilada cubierta con doble envoltura: una de papel aluminio y otra de papel café. Esterilizado previamente en laboratorio, para abrir el frasco en el momento de la toma de una muestra, se gira previamente su tapa para asegurarse que no esté pegada; luego se la desprende con sus envolturas sosteniéndola en la mano, se llena el frasco dejando un espacio de aproximadamente un dedo debajo del cuello y se lo cierra.

7.4.2 Procedimiento de toma

Al iniciar la toma, se debe enjuagar el muestreador tres veces con el agua a muestrear. Antes de llenar el envase con la muestra hay que lavarlo dos o tres veces con el agua que se va a recoger, a menos que el envase contenga un conservante o un decolorante.

Figura 7.2- Limpieza del muestreador



Fuente: Control de calidad de aguas residuales. ANESAPA (La Paz – Bolivia).2004

Coloque la boca del muestreador en sentido contrario al flujo del AS. Así se evita la aireación excesiva de la muestra en el momento de la colecta, en especial si la muestra está destinada a ensayo de OD y DBO.

Según los análisis que deban realizarse, hay que llenar el envase:

- ❖ Por completo (en la mayoría de los análisis orgánicos)
- ❖ Dejar un espacio vacío para aireación, mezclas etc. (análisis microbiológicos).

En el caso de muestras que han de ser transportadas, lo mejor es dejar un espacio de alrededor del 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica.

Para concluir la toma se tiene que:

- ❖ Identificar cada envase, preferiblemente pegando una marca o etiqueta autoadhesiva de papel debidamente llenada.
- ❖ Anotar la muestra en un registro de todas las muestras recogidas.

Hay que registrar una información suficiente de manera que se pueda realizar una identificación positiva de la muestra en fechas posteriores, y en esta información debe constar el nombre de la persona que ha hecho la toma, la fecha, la hora y la localización exacta, la temperatura del agua y cualquier otro dato que pueda resultar necesario para establecer una correlación, como son las condiciones meteorológicas, el nivel del agua, la velocidad de la corriente, la manipulación posterior a la toma (preservación), etc.

7.4.3 Tipos de muestras

7.4.3.1 Muestras puntuales

Las muestras puntuales son muestras instantáneas o simples que han sido tomadas en un solo sitio y en un solo momento particular. las muestras puntuales que se tomen deben ser en los sitios más apropiados.

7.4.3.2 Muestras compuestas

En algunos casos, sólo puede obtenerse muestras representativas si se hacen mezclas de varias tomas obtenidas en diferentes momentos a lo largo de un determinado período y/o en varios puntos distintos de colecta.

Como regla general, la muestra compuesta estándar es a cada hora durante 24 horas. Cuando, debido a limitaciones en tiempo o mano de obra, no es posible la toma de muestra durante períodos de 24 horas a intervalos de 1 o 2 horas, hay que intentar la colecta por lo menos durante las horas de luz en intervalos de no más de 3 horas. Existen también muestras compuestas representativas de un turno o de un ciclo completo de una operación, que permitirían evaluar los efectos de las descargas o de operaciones especiales.

7.4.3.3 Muestras promedio en profundidad

Algunos de los parámetros más importantes en las plantas y aun más en lagunas de estabilización (oxígeno disuelto, algas), presentan cambios muy importantes de concentración en función de la profundidad del estanque al que se toma la muestra. En estos casos, una estimación adecuada de la variable en cuestión tiene que ir acompañada del dato de la profundidad a la que se tomó la muestra.

De igual forma, para el conjunto del estanque hay que suministrar un valor medio que represente el parámetro para la totalidad de la columna de agua. Esto se consigue tomando muestras a varias profundidades y calculando el promedio de los resultados obtenidos. En esto se debe tener en cuenta que el perfil de un estanque no suele ser uniforme, o sea que el volumen de agua a cada nivel de profundidad (isobata) varía en función del talud de la pared del estanque, siendo máximo en la superficie y mínimo en el fondo.

7.4.3.4 Muestras integradas

Estas muestras son la combinación de muestras puntuales recogidas en diferentes sitios y en forma simultánea. Este es un tipo de muestra que suministra suficiente información para aguas cambiantes como las de río, AS domésticas e industriales.

7.4.4 Técnicas de preservación

Una adecuada preservación en la toma, transporte y almacenaje garantiza la representatividad de la muestra y es una condición irrenunciable del correcto análisis posterior. Difícilmente se puede conseguir la preservación completa de una muestra.

Los cambios que pueden ocurrir en una muestra pueden ser químicos o biológicos. En el primer caso ocurren ciertas alteraciones en la estructura química de los constituyentes que son una función de las condiciones físicas. Los cationes metálicos pueden precipitarse como hidróxidos o formar complejos con otros constituyentes; los cationes y/o aniones pueden cambiar su estado de valencia bajo ciertas condiciones de reducción u oxidación; otros constituyentes pueden disolverse o volatilizarse con el transcurso del tiempo.

Los cationes metálicos tales como hierro y plomo, pueden ser absorbidos en superficies (vidrios, plástico, cuarzo etc.).

Los cambios biológicos sucedidos en una muestra pueden transformar la valencia de un elemento o radical en otra valencia distinta. Los constituyentes solubles pueden convertirse en materiales ligados orgánicamente en estructuras celulares, o la destrucción de células por lisis puede resultar en la descarga de materia celular en una solución. Los muy bien conocidos ciclos de nitrógeno y fósforo son ejemplos de la influencia biológica en la composición de las muestras.

Los métodos de preservación se hallan dirigidos en general a:

- ❖ Retardar la acción biológica.
- ❖ retardar la hidrólisis de compuestos y complejos químicos, y reducir la volatilidad de los constituyentes.

Los métodos de preservación se limitan usualmente a:

- ❖ Control de pH.
- ❖ La refrigeración.
- ❖ La congelación.
- ❖ La adición de químicos preservantes.
- ❖ La fijación de la muestra.

7.5 Estimación per cápita

7.5.1 Confiabilidad, análisis y selección de la información

La confiabilidad de los resultados de cualquier análisis, desde el más simple al más complejo, tanto físico-químicos como bacteriológicos, depende en gran medida del correcto procedimiento por la persona encargada de la toma de muestras así como también del trabajo analítico que se realiza en el laboratorio. La toma es delicada y crítica, por cuanto más de un resultado dudoso se debe a una mala técnica en la obtención de la muestra, a la falta de precaución en la limpieza de los elementos muestreadores o a un mal criterio en la colecta de las muestras. Por muy eficiente que sea el trabajo analítico en el laboratorio, de nada vale si el personal responsable del muestreo no toma en cuenta las normas esenciales al respecto y viceversa. La confiabilidad y el grado de la información para el presente proyecto se encuentra sujeta y limitada por datos de COSAALT de muestras compuestas y puntuales tomadas a la entrada de la planta de tratamiento de San Luís y de cámaras sépticas de diferentes barrios de la ciudad, el laboratorio de COSAALT ubicado en la planta de tratamiento de San Luís cuenta con la certificación y acreditación de pruebas de comparación interlaboratorios en agua otorgada por el instituto boliviano de metrología (IBMETRO), con el que se realizan mediciones de pruebas paralelas para comprobar la calidad de sus resultados.

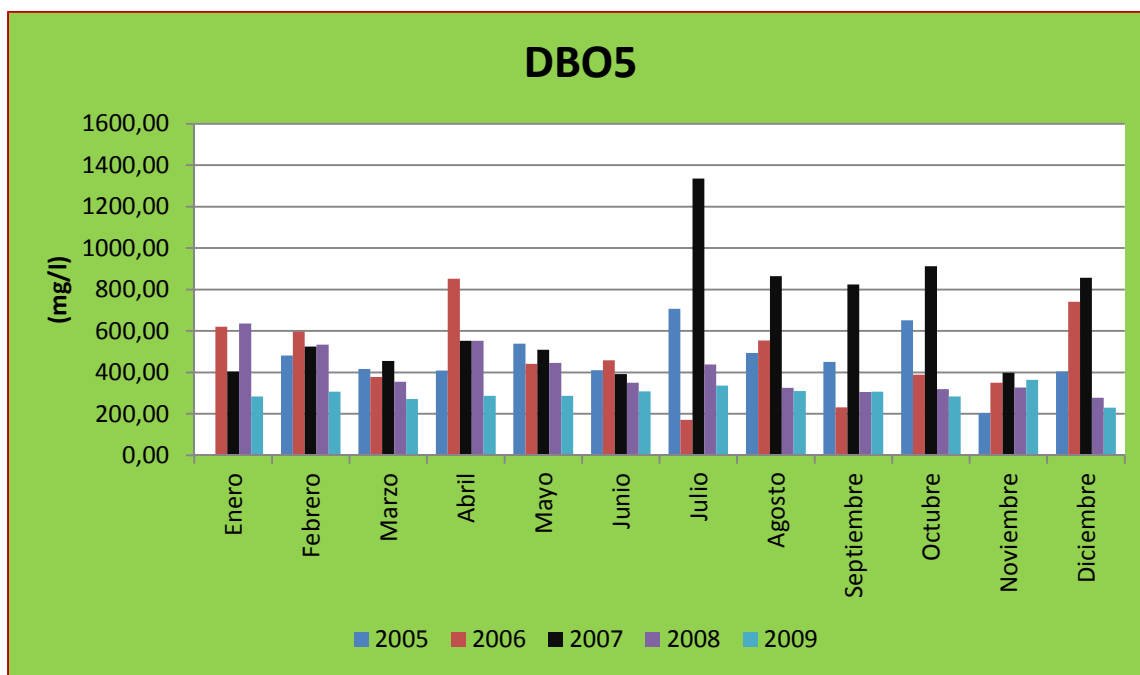
Para la estimación de la carga orgánica per cápita se cuenta con datos de análisis de muestras compuestas de agua residual, tomadas a la entrada de las lagunas de oxidación en la planta de tratamiento de San Luis las cuales cuentan con mediciones de caudal y de la demanda bioquímica y química de oxígeno, los valores medios de la DBO_5 y DQO de las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, se presentan a continuación en las siguientes tablas y graficas:

Tabla 7.1: Valores promedio mensuales y anuales de DBO5

DBO5 (mg/l)						
Mes	Gestión					Promedio
	2005	2006	2007	2008	2009	
Enero		620,42	404,75	636,62	283,36	486,29
Febrero	481,94	597,52	524,12	533,41	306,35	488,67
Marzo	416,96	378,13	455,91	355,42	271,23	375,53
Abril	408,91	851,49	552,21	553,09	287,13	530,56
Mayo	538,83	441,38	509,71	446,35	287,13	444,68
Junio	410,63	458,75	392,38	350,63	308,50	384,18
Julio	707,50	171,46	1335,00	438,94	336,38	597,85
Agosto	493,29	553,88	863,75	325,29	310,29	509,30
Septiembre	450,88	231,67	824,42	305,49	306,54	423,80
Octubre	650,67	388,75	911,83	320,06	284,50	511,16
Noviembre	203,17	350,00	397,38	326,65	363,50	328,14
Diciembre	403,63	741,38	856,42	277,98	229,13	501,70
Promedio	469,67	482,07	668,99	405,83	297,84	465,16

Datos: COSAALT

Figura 7.3.- Valores promedio mensuales y anuales de DBO5



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la figura anterior que los valores de DBO5 pertenecientes a la gestión 2007 de varios meses del año se encuentran elevados en comparación de las demás

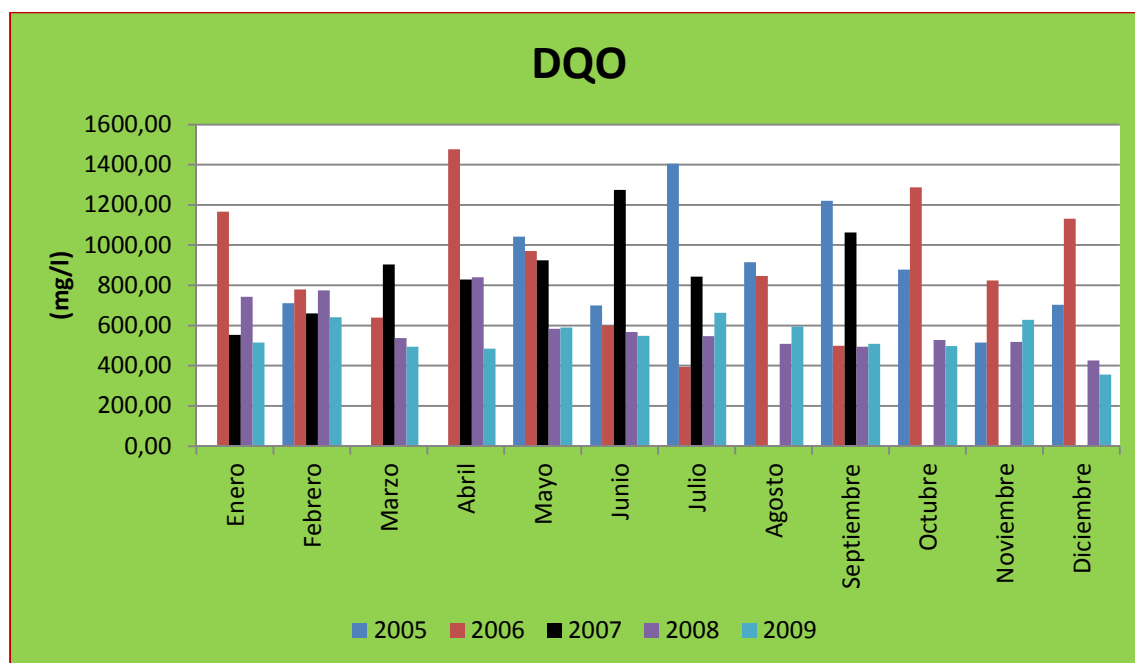
gestiones, por lo mismo solo se trabajara con datos de las gestiones 2005, 2006, 2008 y 2009.

Tabla 7.2: Valores promedio mensuales y anuales de DQO

DQO (mg/l)						
Mes	Gestión					Promedio
	2005	2006	2007	2008	2009	
Enero		1166,67	553,33	742,79	514,85	744,41
Febrero	711,56	780,00	660,00	774,01	640,27	713,17
Marzo		640,00	903,33	537,99	495,05	644,09
Abril		1476,67	828,25	839,83	484,39	907,28
Mayo	1042,88	970,29	923,71	584,16	589,48	822,10
Junio	699,54	598,92	1274,96	568,21	547,96	737,92
Julio	1405,96	394,38	843,17	547,62	663,41	770,90
Agosto	914,21	846,67		508,30	595,10	716,07
Septiembre	1221,08	500,00	1063,63	494,23	508,86	757,56
Octubre	877,88	1287,25		528,54	497,59	797,81
Noviembre	514,75	824,04		517,61	628,03	621,11
Diciembre	702,96	1132,13		426,06	356,44	654,39
Promedio	898,98	884,75	881,30	589,11	543,45	759,52

Datos: COSAALT

Figura 7.4.- Valores promedio mensuales y anuales de DQO

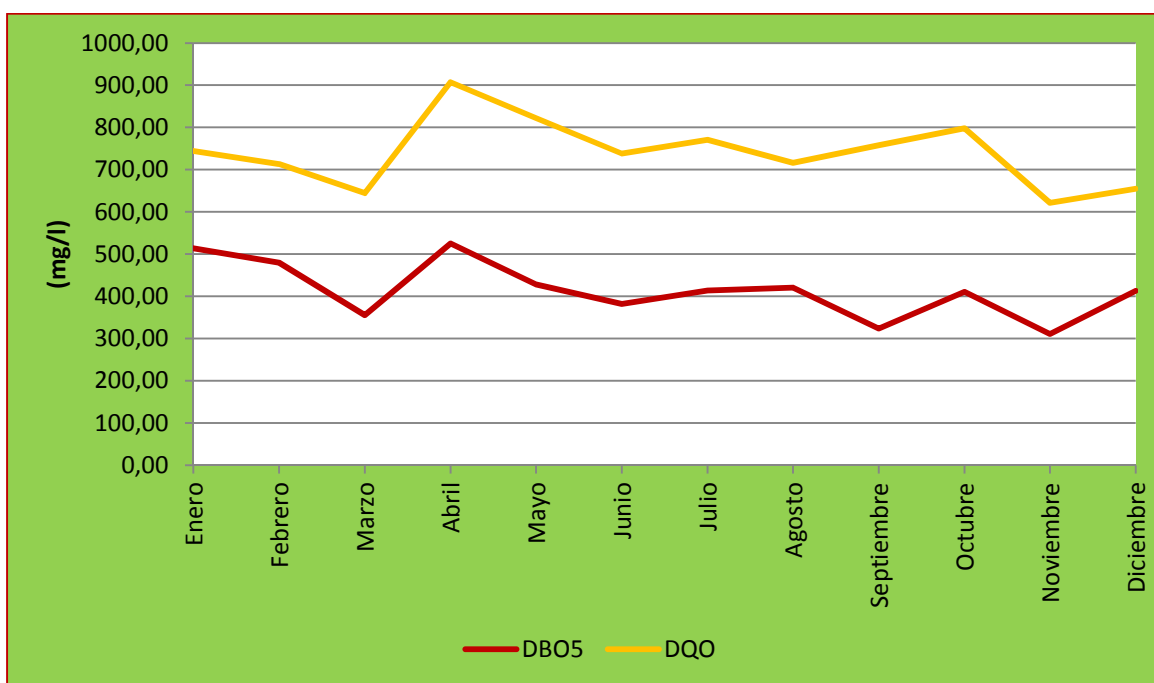


Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que tanto los valores de la DBO5, como la DQO varían para cada mes en las diferentes gestiones, esto debido a que estos valores son dependientes en gran parte de las actividades que desarrolla la población tanto en el lavado de vehículos, comercios, industrias, etc. Así también dependiente del día que se realice la muestra.

A continuación se presenta una grafica con los valores promedios mensuales de la DBO5 y DQO de las gestiones 2005, 2006, 2007, 2008, 2009.

Figura 7.5.- Valores promedios mensuales de la DBO5 y DQO



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que normalmente el valor de la DQO es mayor que el valor de la DBO5, esto debido a que la DQO mide el contenido de materia orgánica e inorgánica, mientras que la DBO5 mide solo el contenido de materia orgánica.

7.5.1.1 Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal

Para tener una mejor apreciación de la variación de la demanda bioquímica y química de oxígeno así como del caudal horario, se presentan los siguientes datos y graficas de muestras compuestas de la gestión 2009 por ser los datos más completos y actuales.

Tabla 7.3: Valores de la DBO5, DQO y caudal de muestras compuestas (2009)

Gestión 2009													
Hora	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6:00 hrs	DBO5 (mg/l)	99	103,5	75	122	77	66	150	273	99	88	100	98
	DQO (mg/l)	119	158,42	158,42	158	118	78	234	624	155	116	155	119
	Caudal (l/s)	80,17	128,33	191,91	86,58	99,89	67,85	86,58	99,89	80,17	93,15	93,15	121
7:00 hrs	DBO5 (mg/l)	61	109,5	79,5	164	131	72	165	189	146	97	101	174
	DQO (mg/l)	119	158,42	158,42	197	158	117	234	234	232	155	155	277
	Caudal (l/s)	121	200,44	244,89	135,81	183,5	121	159,06	151,17	121	151,17	159,06	217,86
8:00 hrs	DBO5 (mg/l)	182	177	298,5	137	195	84	308	199	270	203	214	284
	DQO (mg/l)	356	316,83	633,66	158	276	117	468	234	541	386	386	515
	Caudal (l/s)	209,09	292,21	321,91	200,44	244,89	200,44	200,44	209,09	175,23	209,09	272,95	244,89
9:00 hrs	DBO5 (mg/l)	243	396	315	387	360	345	512	443	377	390	473	363
	DQO (mg/l)	634	712,87	475,25	631	828	624	1015	702	541	618	773	594
	Caudal (l/s)	254,13	384,12	394,84	342,24	321,91	292,21	272,95	282,52	235,76	311,9	282,52	292,21
10:00 hrs	DBO5 (mg/l)	394	408	418,5	434	404	405	339	447	389	390	411	470
	DQO (mg/l)	634	792,08	792,08	788	828	780	546	780	696	773	618	752
	Caudal (l/s)	292,21	384,12	438,69	342,24	321,91	311,9	321,91	342,24	392,21	332,02	311,9	332,02
11:00 hrs	DBO5 (mg/l)	394	405	289,5	614	330	420	543	383	383	375	738	479
	DQO (mg/l)	634	792,08	554,46	1103	749	859	1249	780	696	696	1237	673
	Caudal (l/s)	321,91	352,56	427,58	342,24	321,91	321,91	342,24	342,24	311,9	342,24	311,9	332,02
12:00 hrs	DBO5 (mg/l)	394	400,5	319	387	348	383	308	363	398	312	407	378
	DQO (mg/l)	634	712,87	673,27	552	828	624	702	546	541	541	773	594
	Caudal (l/s)	321,91	342,24	416,57	311,9	321,91	332,02	342,24	342,24	342,24	342,24	332,02	342,24
13:00 hrs	DBO5 (mg/l)	334	384	390	461	314	455	491	374	396	327	545	366
	DQO (mg/l)	554	633,66	712,87	946	670	937	937	859	541	541	1237	594
	Caudal (l/s)	342,24	342,24	394,84	311,9	302	332,02	321,91	321,91	342,24	332,02	332,02	342,24
14:00 hrs	DBO5 (mg/l)	303	393	414	390	341	399	407	318	339	261	354	393
	DQO (mg/l)	634	633,66	950,5	631	749	780	702	624	618	580	541	594
	Caudal (l/s)	373,5	342,24	342,24	282,52	302	332,02	342,24	321,91	362,98	332,02	352,56	332,02
15:00 hrs	DBO5 (mg/l)	243	418,5	367,5	387	339	942	455	316	390	325	389	364
	DQO (mg/l)	634	871,29	712,87	631	670	2185	1015	624	657	618	618	594
	Caudal (l/s)	373,5	352,56	342,24	332,02	302	362,98	342,24	342,24	362,98	321,91	362,98	332,02
16:00 hrs	DBO5 (mg/l)	394	400,5	466,5	461	911	438	362	390	467	371	384	173
	DQO (mg/l)	634	792,08	752,48	946	1970	780	859	859	773	618	696	277
	Caudal (l/s)	342,24	352,56	342,24	311,9	362,98	362,98	362,98	342,24	353,56	302	362,98	566,92
17:00 hrs	DBO5 (mg/l)	334	460,5	405	390	405	395	402	383	366	383	395	177
	DQO (mg/l)	634	1188,12	633,66	631	985	507	780	780	696	696	696	277
	Caudal (l/s)	332,02	342,24	332,02	282,52	321,91	321,91	362,98	342,24	332,02	302	342,24	566,92
18:00 hrs	DBO5 (mg/l)	425	411	364,5	380	336	443	425	357	387	365	428	257
	DQO (mg/l)	951	950,5	237,62	631	828	780	702	780	696	618	657	356
	Caudal (l/s)	332,02	302	321,91	282,52	321,91	292,21	342,24	321,91	332,02	282,52	342,24	542,8
19:00 hrs	DBO5 (mg/l)	303	391,5	210	266	303	276	332	303	401	431	362	192
	DQO (mg/l)	634	792,08	396,04	473	631	546	624	702	773	773	696	356
	Caudal (l/s)	311,9	292,21	321,91	272,95	302	272,95	332,02	302	311,9	263,48	321,91	384,12
20:00 hrs	DBO5 (mg/l)	334	388,5	285	342	231	341	312	363	321	386	365	305
	DQO (mg/l)	396	792,08	475,25	788	433	546	702	702	618	618	850	436
	Caudal (l/s)	321,91	292,21	302	272,95	302	244,89	272,95	272,95	292,21	263,48	302	342,24
21:00 hrs	DBO5 (mg/l)	362	357	255	293	260	332	329	314	350	315	407	239
	DQO (mg/l)	792	792,08	554,46	473	355	468	702	624	541	464	618	356
	Caudal (l/s)	321,91	272,95	302	244,89	200,44	200,44	272,95	226,75	244,89	244,89	302	332,02
22:00 hrs	DBO5 (mg/l)	392	301,5	255	270	264	303	516	312	326	323	357	117
	DQO (mg/l)	475	633,66	554,46	473	355	468	1093	546	386	464	618	119
	Caudal (l/s)	292,21	263,48	292,21	235,76	263,48	183,5	244,89	209,09	226,75	235,76	272,95	427,58

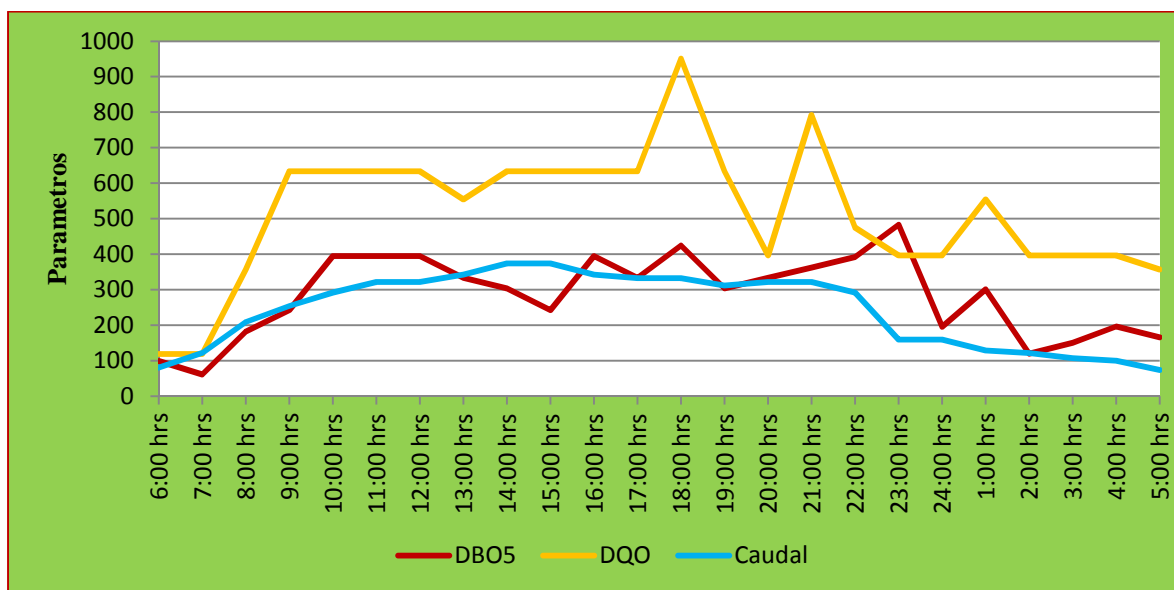
23:00 hrs	DBO5 (mg/l)	483	297	214,5	227	257	279	380	333	245	258	345	98
	DQO (mg/l)	396	673,27	396,04	236	512	312	780	624	464	464	386	198
	Caudal (l/s)	159,06	244,89	292,21	217,86	226,75	159,06	226,75	191,91	200,44	226,75	272,95	591,39
00:00 hrs	DBO5 (mg/l)	195	244,5	180	173	209	284	317	227	278	263	336	90
	DQO (mg/l)	396	594,06	316,83	79	355	390	702	390	425	464	580	119
	Caudal (l/s)	159,06	226,75	226,75	200,44	200,44	159,06	226,75	175,23	159,06	200,44	244,89	591,39
1:00 hrs	DBO5 (mg/l)	301	187,5	132	98	173	204	204	350	185	210	374	107
	DQO (mg/l)	554	396,04	237,62	158	355	312	468	624	309	464	618	198
	Caudal (l/s)	128,33	226,75	226,75	183,5	183,5	135,81	226,75	159,06	142,42	159,06	200,44	591,39
2:00 hrs	DBO5 (mg/l)	119	223,5	187,5	198	197	150	192	224	239	180	425	92
	DQO (mg/l)	396	475,25	396,04	473	355	234	390	468	386	309	541	119
	Caudal (l/s)	121	209,09	244,89	183,5	159,06	135,81	159,06	143,42	143,42	128,33	159,06	566,92
3:00 hrs	DBO5 (mg/l)	151	22	186	156	200	135	192	238	215	164	227	95
	DQO (mg/l)	396	396,04	316,83	236	433	234	312	468	309	232	541	119
	Caudal (l/s)	99,89	159,06	302	159,6	143,42	106,77	159,06	128,33	128,33	113,81	159,06	566,92
4:00 hrs	DBO5 (mg/l)	196	270	207	186	195	132	254	184	217	221	325	111
	DQO (mg/l)	396	554,46	396,04	236	433	234	390	390	386	386	541	198
	Caudal (l/s)	99,89	143,42	321,91	143,42	121	106,77	121	121	121	113,81	143,42	542,8
5:00 hrs	DBO5 (mg/l)	166	202,5	195	132	117	125	185	168	179	195	268	80
	DQO (mg/l)	356	554,46	396,04	394	276	234	312	312	232	348	541	119
	Caudal (l/s)	73,92	121	321,91	121	113,81	80,17	121	99,89	99,89	106,77	121	542,8

Datos: COSAALT

A continuación se muestran las gráficas de la variación horaria de la DBO5, DQO y caudal para los diferentes meses de la gestión 2009

Mes de Enero

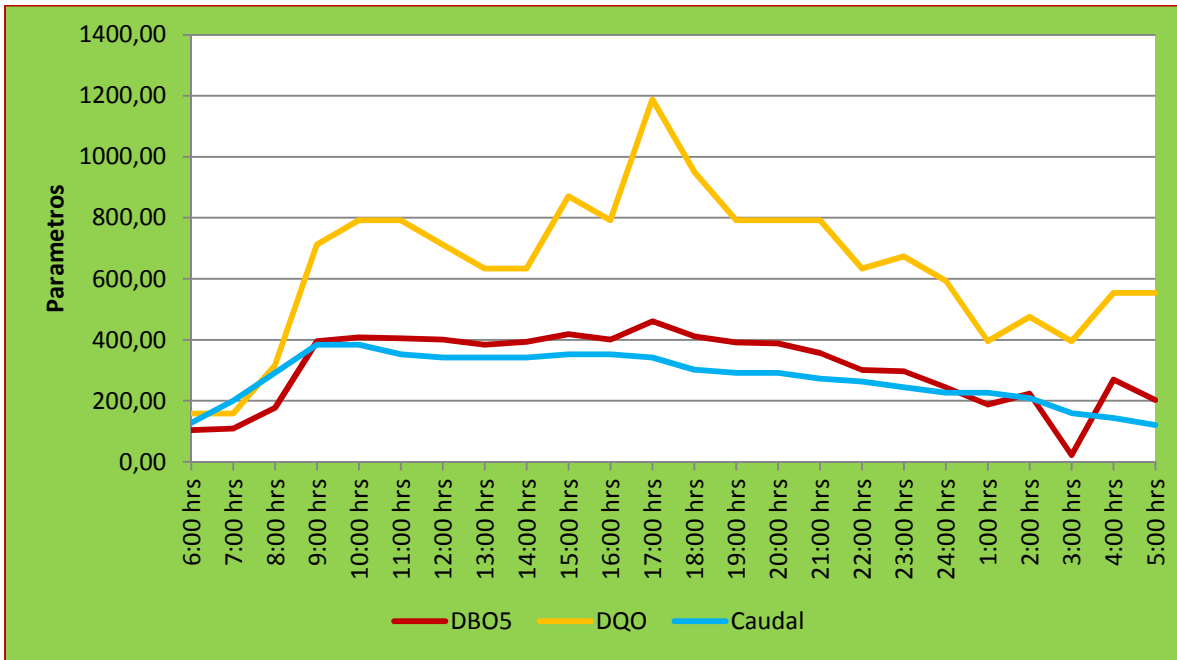
Figura 7.6.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de enero



Fuente: Elaboración propia

Mes de Febrero

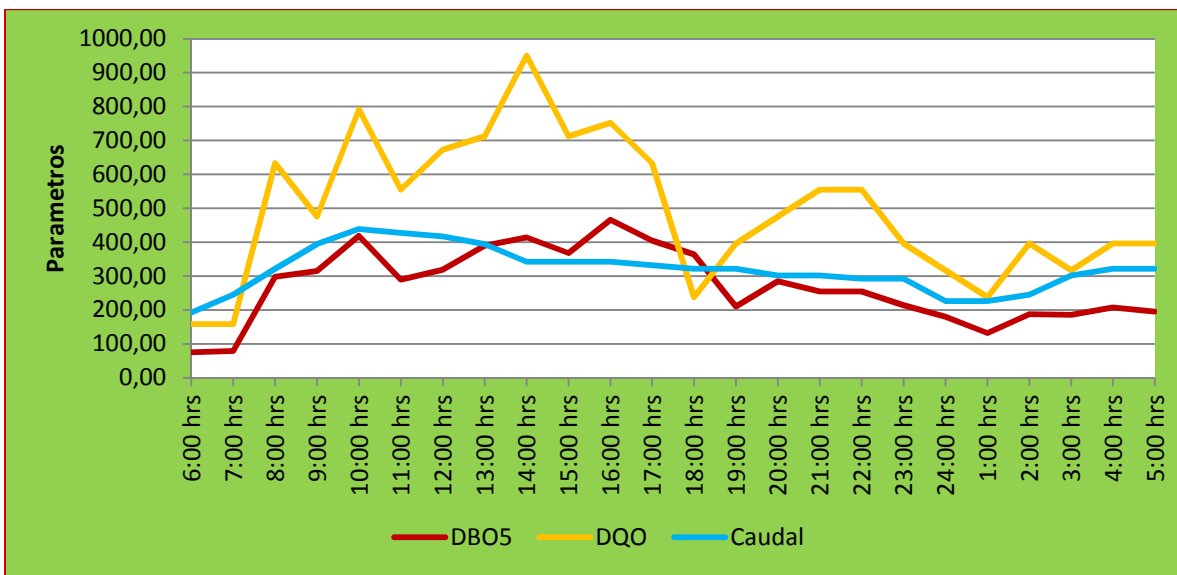
Figura 7.7.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de febrero



Fuente: Elaboración propia

Mes de Marzo

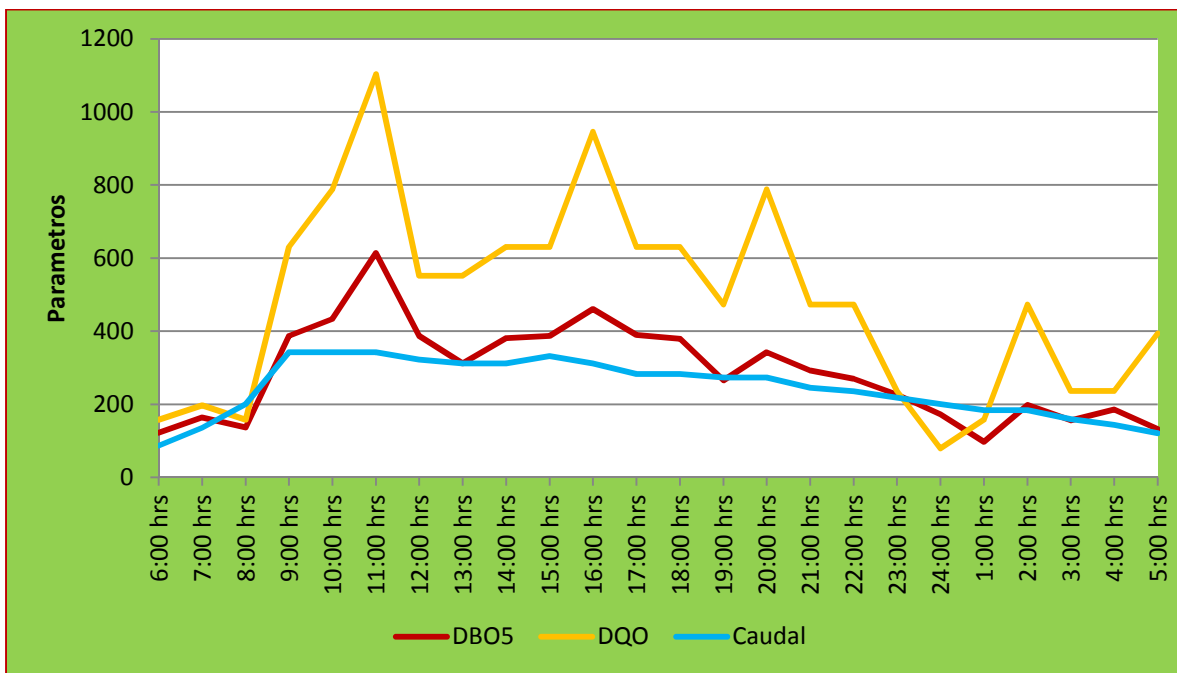
Figura 7.8.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de marzo



Fuente: Elaboración propia

Mes de Abril

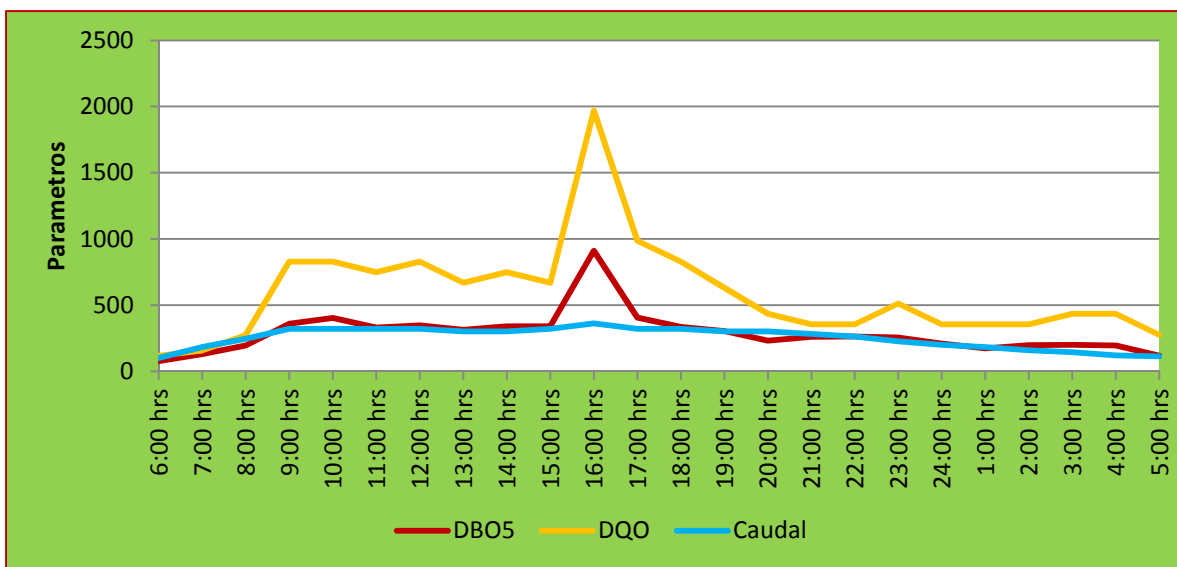
Figura 7.9.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de abril



Fuente: Elaboración propia

Mes de Mayo

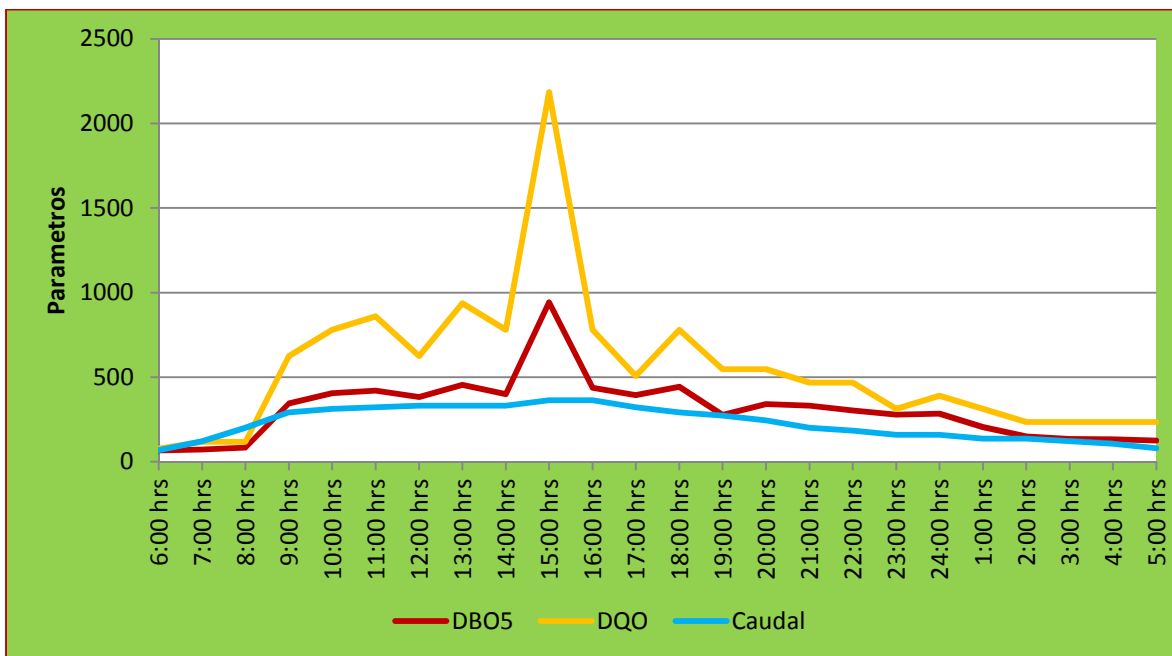
Figura 7.10.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de mayo



Fuente: Elaboración propia

Mes de Junio

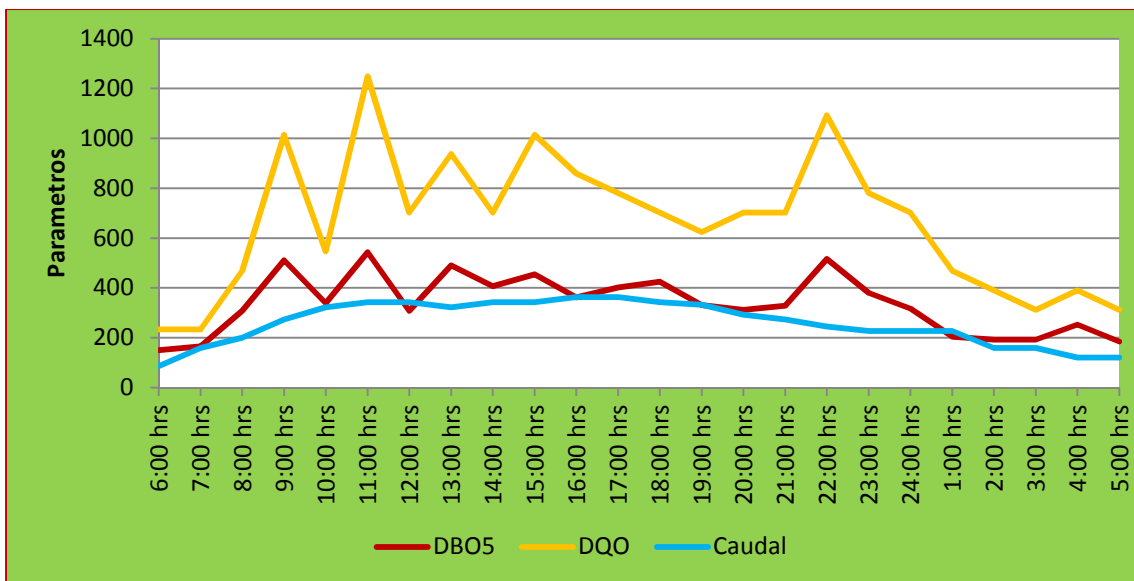
Figura 7.11.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de junio



Fuente: Elaboración propia

Mes de Julio

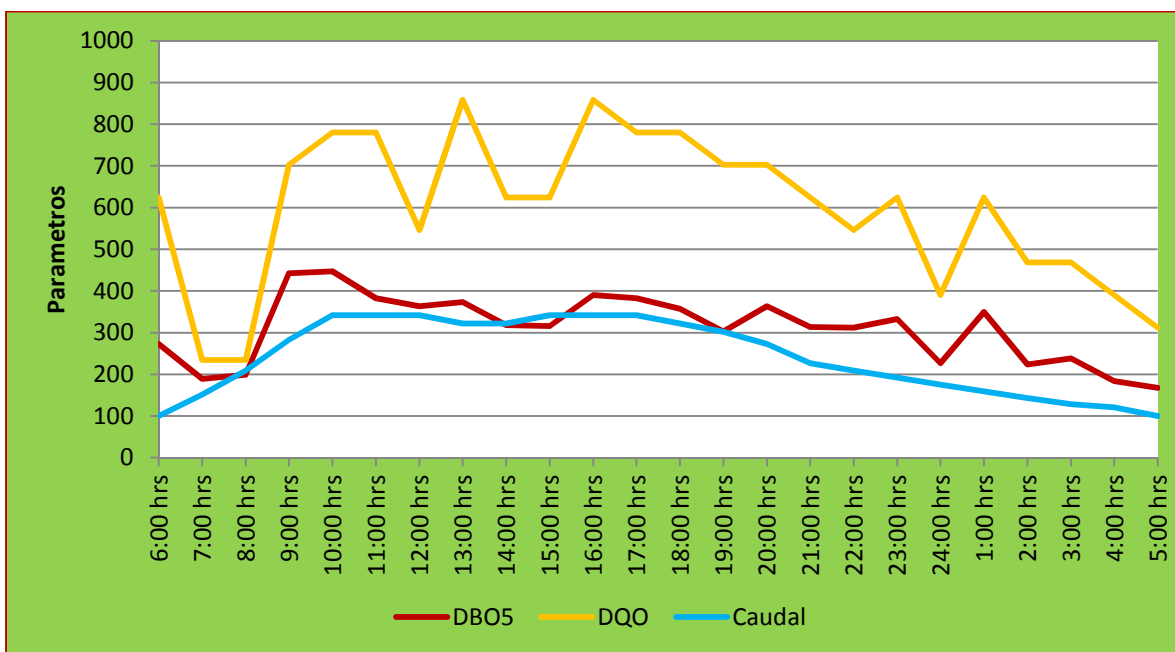
Figura 7.12.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de julio



Fuente: Elaboración propia

Mes de Agosto

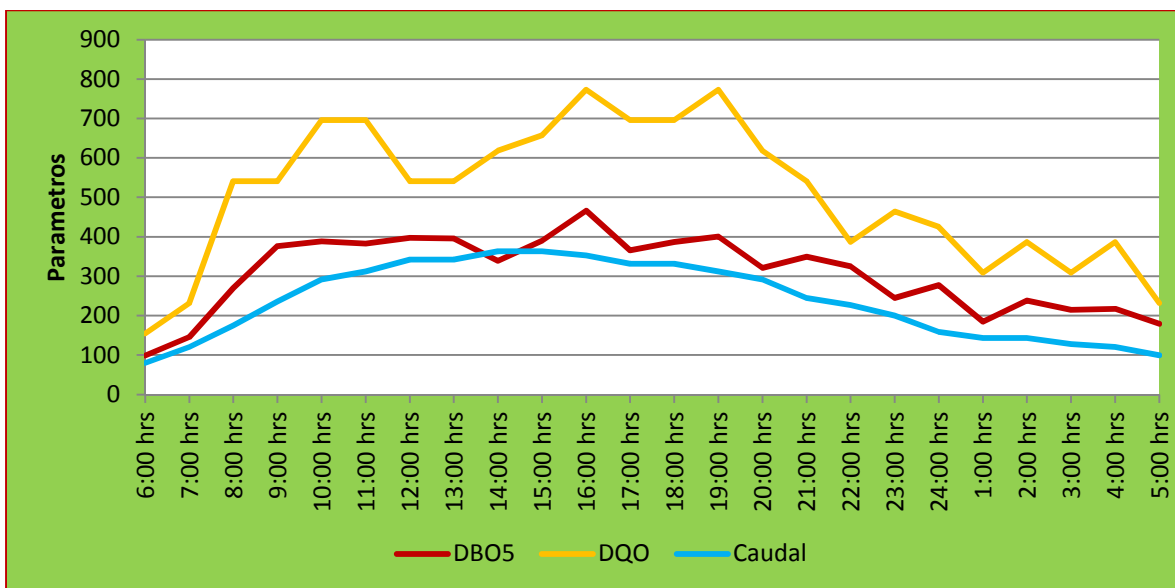
Figura 7.13.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de agosto



Fuente: Elaboración propia

Mes de Septiembre

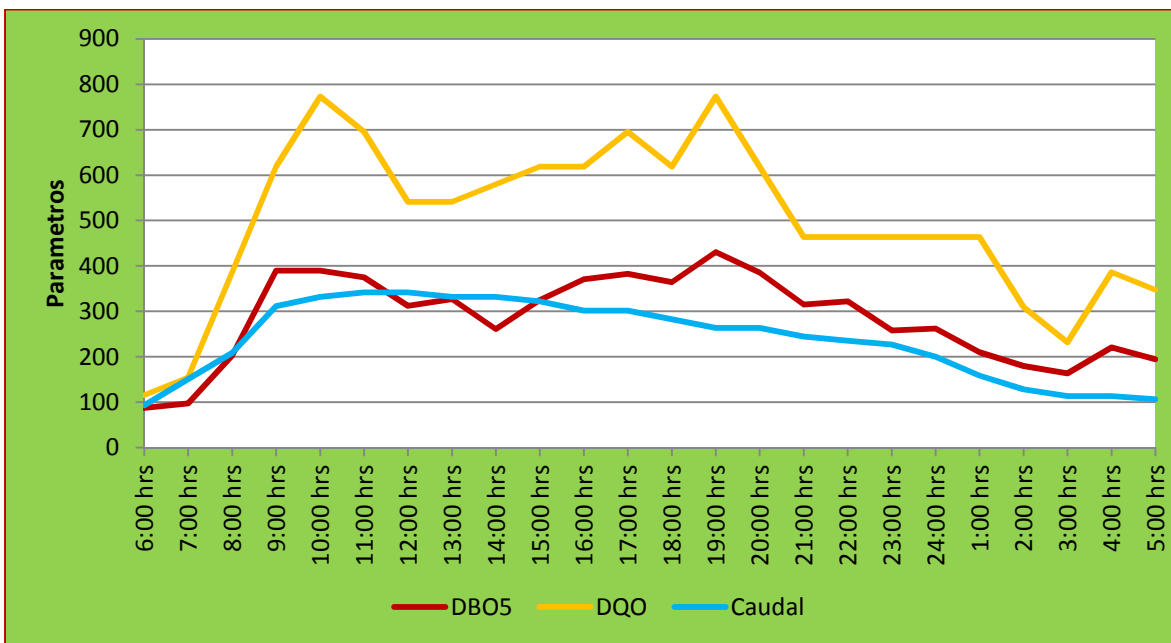
Figura 7.14.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de septiembre



Fuente: Elaboración propia

Mes de Octubre

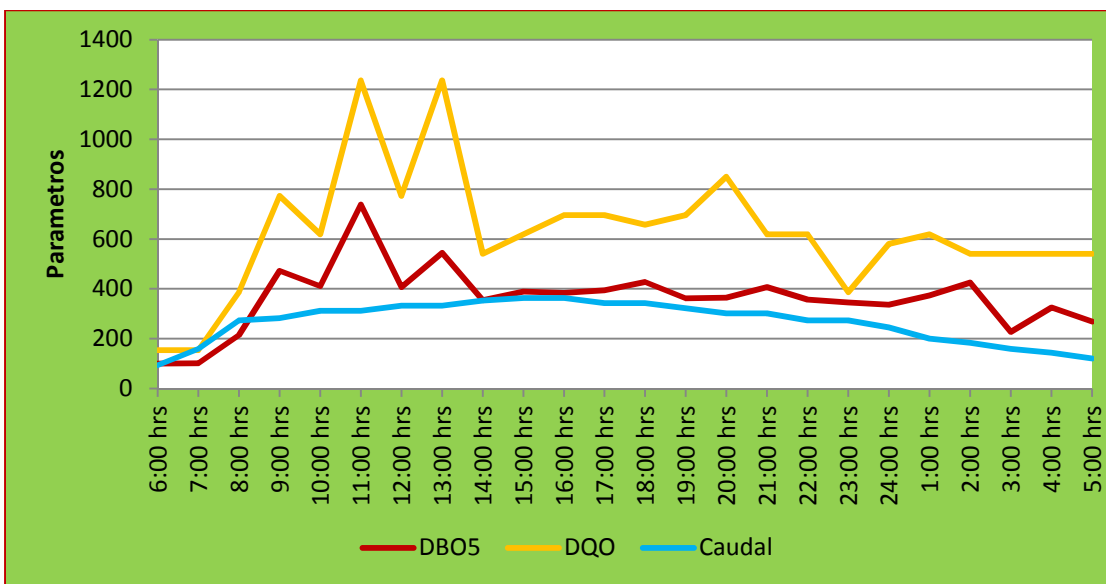
Figura 7.15.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de octubre



Fuente: Elaboración propia

Mes de Noviembre

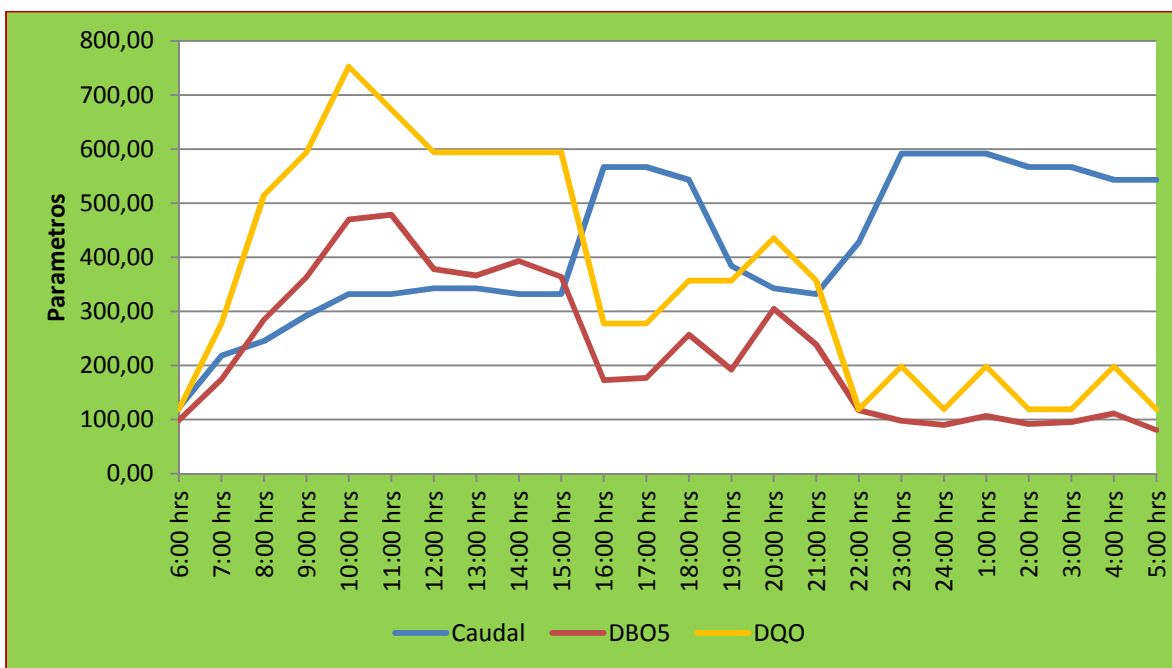
Figura 7.16.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de noviembre



Fuente: Elaboración propia

Mes de Diciembre

Figura 7.17.- Variación horaria de la DBO5, DQO y caudal mes de diciembre



Fuente: Elaboración propia

7.4.2 Estimación y resultados

Para la estimación per cápita de carga orgánica se utilizará el caudal de retorno a la planta de tratamiento de San Luis, el cual es igual al producto de la dotación per cápita de agua potable estimada para la ciudad de Tarija con el coeficiente de vuelco o retorno.

Caudal de retorno =	220 l/hab/día * 0.78	=	172 l/hab/día
---------------------	----------------------	---	---------------

Se utilizarán los valores promedios de DBO5 de las muestras compuestas de cada mes para cada gestión y al multiplicarlos por el caudal de retorno se obtendrá la carga orgánica per cápita los cuales se resumen a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 7.4: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2005)

Gestión 2005			
Mes	Caudal l/hab/día	DBO5 mg/l	DBO gr/hab /día
Enero			
Febrero	172	481,94	82,89
Marzo	172	416,96	71,72
Abril	172	408,91	70,33
Mayo	172	538,83	92,68
Junio	172	410,63	70,63
Julio	172	707,50	121,69
Agosto	172	493,29	84,85
Septiembre	172	450,88	77,55
Octubre	172	650,67	111,91
Noviembre	172	203,17	34,94
Diciembre	172	403,63	69,42
Promedio	172	469,67	80,78

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.5: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2006)

Gestión 2006			
Mes	Caudal l/hab/día	DBO5 mg/l	DBO gr/hab /día
Enero	172	620,42	106,71
Febrero	172	597,52	102,77
Marzo	172	378,13	65,04
Abril	172	851,49	146,46
Mayo	172	441,38	75,92
Junio	172	458,75	78,91
Julio	172	171,46	29,49
Agosto	172	553,88	95,27
Septiembre	172	231,67	39,85
Octubre	172	388,75	66,87
Noviembre	172	350,00	60,20
Diciembre	172	741,38	127,52
Promedio	172	482,07	82,92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.6: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2008)

Gestión 2008			
Mes	Caudal l/hab/día	DBO5 mg/l	DBO gr/hab /día
Enero	172	636,62	109,50
Febrero	172	533,41	91,75
Marzo	172	355,42	61,13
Abril	172	553,09	95,13
Mayo	172	446,35	76,77
Junio	172	350,63	60,31
Julio	172	438,94	75,50
Agosto	172	325,29	55,95
Septiembre	172	305,49	52,54
Octubre	172	320,06	55,05
Noviembre	172	326,65	56,18
Diciembre	172	277,98	47,81
Promedio	172	405,83	69,80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.7: Estimación de la carga orgánica per cápita (Datos 2009)

Gestión 2009			
Mes	Caudal l/hab/día	DBO5 mg/l	DBO gr/hab /día
Enero	172	283,36	48,74
Febrero	172	306,35	52,69
Marzo	172	271,23	46,65
Abril	172	287,13	49,39
Mayo	172	287,13	49,39
Junio	172	308,50	53,06
Julio	172	336,38	57,86
Agosto	172	310,29	53,37
Septiembre	172	306,54	52,73
Octubre	172	284,50	48,93
Noviembre	172	363,50	62,52
Diciembre	172	229,13	39,41
Promedio	172	297,84	51,23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.8: Estimación de la carga orgánica per cápita promedio muestras compuestas (2005 – 2009)

Gestión	Caudal l/hab/día	DBO5 mg/l	DBO gr/hab día
2005	172	469,67	80,78
2006	172	482,07	82,92
2008	172	405,83	69,80
2009	172	297,84	51,23
Promedio	172	413,85	71,18

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los valores obtenidos son elevados debido a que los valores de DBO5 son altos, esto porque el agua residual que ingresa a las lagunas no solamente es de origen doméstico, sino que también están afectadas por diferentes industrias, comercios que influyen en el promedio final, por lo que no se puede considerar como un parámetro per cápita.

Para tener una mayor aproximación del valor real de la carga orgánica per cápita, se utilizarán datos de muestras puntuales obtenidas de COSAALT para la gestión 2009 por ser las más completas y actuales, tomadas a diferentes horas en cámaras sépticas de tres barrios diferentes las cuales se presentan a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 7.9: Muestras puntuales cámara séptica barrio catedral

Lugar	Descripción	N° Muestras	Fecha	Hora h	DBO5 mg/l
Barrio Catedral	Cámara Séptica	1	05/02/2009	10:00	455
		2	02/03/2009	9:35	225
		3	07/04/2009	17:10	207
		4	05/05/2009	9:45	219
		5	20/05/2009	10:25	328,5
		6	06/07/2009	9:45	255
		7	05/08/2009	10:10	256,5
		8	22/08/2009	10:15	420
		9	21/09/2009	9:20	258
		10	04/11/2009	9:00	388,5
		11	24/11/2009	9:00	313,5
		12	18/12/2009	15:25	233
Promedio					296,58

Datos: COSAALT

Tabla 7.10: Muestras puntuales cámara séptica barrio San Jorge II

Lugar	Descripción	Nº Muestras	Fecha	Hora h	DBO5 mg/l
Barrio San Jorge II	Cámara Séptica	1	05/02/2009	8:45	486
		2	02/03/2009	9:00	334,5
		3	07/04/2009	11:30	295,5
		4	05/05/2009	11:00	274,5
		5	20/05/2009	9:00	306
		6	06/07/2009	16:30	240
		7	05/08/2009	9:00	379,5
		8	22/08/2009	15:40	258
		9	21/09/2009	11:00	174
		10	04/11/2009	11:00	348
		11	24/11/2009	10:30	223,5
		12	18/12/2009	17:00	186
Promedio					292,13

Datos: COSAALT

Tabla 7.11: Muestras puntuales cámara séptica barrio Senac

Lugar	Descripción	Nº Muestras	Fecha	Hora h	DBO5 mg/l
Barrio Senac	Cámara Séptica	1	05/02/2009	10:30	334
		2	02/03/2009	10:00	288
		3	07/04/2009	17:40	162
		4	05/05/2009	10:15	285
		5	20/05/2009	10:55	390
		6	06/07/2009	10:15	210
		7	05/08/2009	10:50	175,5
		8	22/08/2009	10:45	327
		9	21/09/2009	9:40	319,5
		10	04/11/2009	9:35	297
		11	24/11/2009	9:10	288
		12	18/12/2009	15:46	290
Promedio					280,50

Datos: COSAALT

Una vez obtenidos los valores promedio de DBO5 para las diferentes cámaras sépticas se procede a multiplicarlos por el caudal de retorno para obtener el valor de la carga orgánica per cápita y se los presenta a continuación

Tabla 7.12: Estimación de la carga orgánica per cápita promedio muestras puntuales

Barrio	DBO5 mg/l	Caudal l/hab/día	DBO gr/hab/día
Catedral	296,58	172	51,01
San Jorge II	292,13	172	50,25
Senac	280,5	172	48,25

Entonces se tiene como el valor estimado para la carga orgánica per cápita el promedio de los valores obtenidos en los diferentes barrios

Carga orgánica per cápita =	50 gr/hab/día
------------------------------------	----------------------

Y los cuales oscilan entre los siguientes valores:

DBO gr/hab/día
48 - 51

Valores que se encuentran cercanos al recomendado por la norma boliviana de instalaciones sanitarias y alcantarillado NB688 (54 gr/hab/día) y por diversa bibliografía. Por lo que se consideran como aceptables.

7.5 Comparación y análisis de resultados

Los valores obtenidos en la estimación de la carga orgánica per cápita presentan resultados diferentes al utilizar las muestras compuestas de agua residual de las lagunas de oxidación en comparación al valor obtenido con el de las muestras puntuales de las cámaras sépticas, esto debido a que a la planta de tratamiento de la zona de San Luís ingresan valores elevados de DBO, que puede estar afectado por descargas de industrias, comercios que vierten sus efluentes a los sistemas de alcantarillado sanitario y que incrementan considerablemente el valor de la DBO. Además de contar con establecimientos dedicados

al lavado y cambio de lubricantes de automóviles que incluyen aceites minerales y una importante cantidad de sólidos suspendidos, las descargas de los establecimientos hoteleros y educativos que tienen características similares a las descargas domésticas pero con volúmenes de evacuación de aguas residuales elevados y carga muy diluida que pueden afectar negativamente a la eficiencia del tratamiento, descargas contaminantes de centros de salud que también tienen características domésticas, pero con la particularidad que suman otros contaminantes provenientes del lavado de ropa y de ambientes que pueden incluir contaminantes tóxicos o infecciosos. Mientras que en las cámaras sépticas de los diferentes barrios de la ciudad los efluentes de agua residual pertenecen más a un uso doméstico del agua por lo que se presentan valores normales de DBO que se encuentran dentro del rango para aguas residuales domésticas de DBO.

A continuación se presentan diferentes establecimientos industriales de la ciudad de Tarija, los cuales son principales fuentes contaminantes atribuibles al sector industrial organizados por rubro y registrados como consumidores en la categoría industrial por COSAALT:

Tabla 7.13: Número de establecimientos industriales según rubro de producción

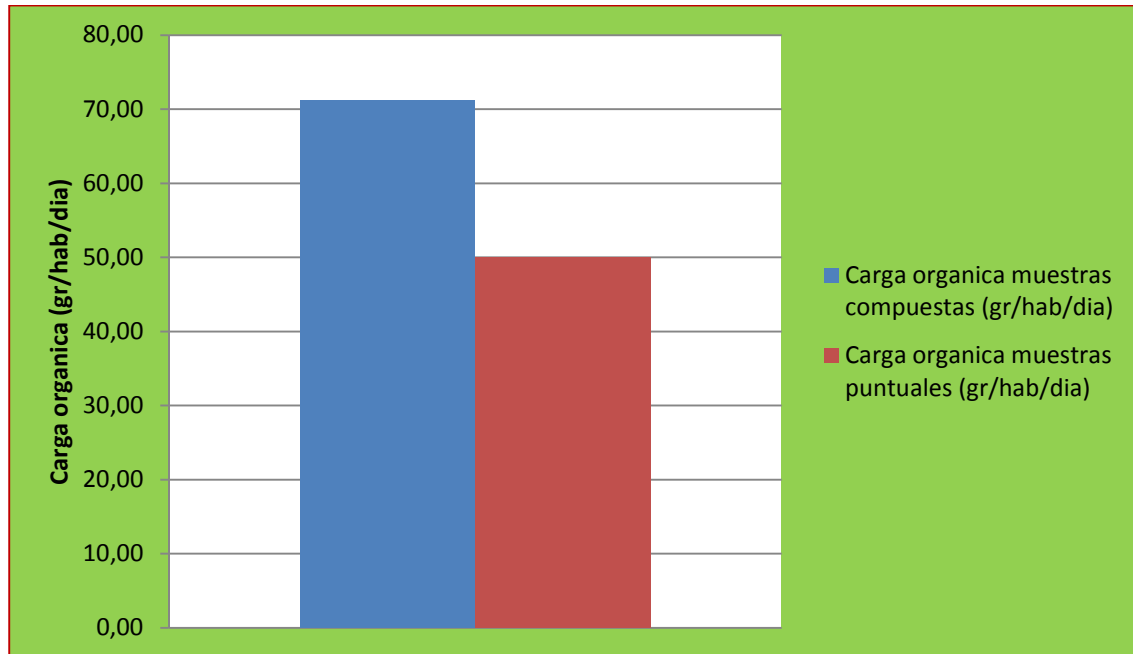
Rubro industrial	Nº Establecimientos
Aserraderos/carpinterías	30
Metal/mecánica	22
Cerámica/Mat. Const. Calcinados	21
Alimentos y bebidas	20
Mosaicos/mármol/prefabricados	10
Harinas/masas/pastas	7
Curtiembres/mataderos	6
Confecciones cuero/textiles	5
Fabricación de hielo	3
Inyección de plásticos	3
Jabones/velas/detergentes	3
Gases industriales	2
Energía	1
Impresos	1
Reciclaje/orgánicos	1
TOTAL	135

Fuente: Registro ambiental industrial, Lista de usuarios industriales de COSAALT. Registro industrial de FUNDEMPRESA 2009

Se puede observar en la tabla anterior los diferentes tipos de industrias de la ciudad de Tarija, las cuales pueden aumentar el contenido de materia orgánica de las aguas residuales, pero no se cuenta con información de la magnitud de sus descargas contaminantes y que porción de estas son recogidas al alcantarillado sanitario.

La variación de los resultados obtenidos con datos de DBO de muestras compuestas tomadas en la planta de tratamiento con los resultados obtenidos con datos de DBO de muestras puntuales se presenta a continuación en la siguiente gráfica:

Figura 7.18.- Variación de la carga orgánica



Fuente: Elaboración propia

Algunos valores de carga orgánica per cápita para diferentes países se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 7.14: Valores típicos de DBO per cápita para diferentes países

País	DBO gr/hab × día
Brasil	55 - 68
Dinamarca	55 - 68
Egipto	27 - 41
Alemania	55 - 68
Grecia	55 - 60
India	27 - 41
Italia	49 - 60
Japón	40 - 45
Palestina	32 - 68
Suiza	68 - 82
Turquía	27 - 50
Uganda	55 - 68
Estados Unidos	50 - 120

Fuente: Ingeniería de aguas Residuales. Metcalf y Eddy

Se puede apreciar en la tabla anterior que los valores de DBO per cápita varían para los diferentes países según los hábitos, dietas, estación, etc. De población, para cada país y región.

- ❖ Al obtener el número de conexiones por zonas proporcionados por la COSAALT, se obtuvo mediante su adición el número de conexiones totales de población que vierte sus efluentes de aguas residuales a la planta de tratamiento de San Luis, al multiplicarlo por el módulo habitacional por conexión, se obtuvo la población aproximada del área de influencia del proyecto, para esto se planteo la hipótesis de que todos los usuarios que cuentan con conexiones de agua potable también cuentan con conexiones de alcantarillado sanitario, ésto debido a que sólo se cuenta con datos de conexiones por zonas de agua potable y no de alcantarillado sanitario.

- ❖ Se pudo observar que los volúmenes anuales producidos y facturados son diferentes, siendo mayor el volumen de agua producido esto debido a que existen pérdidas en el sistema de agua potable por diferentes factores las cuales fueron consideradas para la estimación de la dotación per cápita de agua potable.

- ❖ Para la estimación per cápita de agua potable se incluyeron las pérdidas en el sistema de agua potable, las cuales se obtuvieron mediante la relación de los volumen de agua potable producido y facturado de la gestión 2009 y como se trabajó con datos desde la gestión 2005 se tuvo que trabajar con la hipótesis de que las pérdidas en el sistema de agua potable para la gestión 2009 son las mismas que para las anteriores gestiones, esto debido a que no se obtuvieron los datos de volúmenes facturados para las anteriores gestiones.

- ❖ Para la estimación per cápita real de agua potable se realizó un análisis de los usuarios que cuentan con medidor y de los usuarios que no cuentan con medidor, afectando el valor de la dotación promedio efectiva por estos porcentajes de los cuales el 66.6% de la población cuenta con medidor y el 33.3% carecen de este dispositivo, a los cuales se le incrementó en 15% mas, esto debido a que la población que carece de medidor, puede tener un consumo mayor al normal que se le cobra.

- ❖ Para la estimación del coeficiente de retorno se estimó el caudal medio diario de abastecimiento, el cual es igual al producto de la dotación efectiva de agua potable obtenida para la gestión 2009 por la población de área de influencia del proyecto, esto debido a que para la estimación de la dotación de agua potable se trabajó con la hipótesis de que las pérdidas de agua potable en la gestión 2009 son las mismas para las anteriores gestiones lo que nos da un caudal medio diario de abastecimiento más aproximado para la obtención del coeficiente de retorno.

- ❖ El coeficiente de retorno nos indica la fracción de agua que regresa luego de ser utilizada para diferentes usos el valor obtenido nos indica que aproximadamente el 78% del agua que ingresa al sistema de agua potable regresa como agua residual a la planta de tratamiento de aguas residuales.

- ❖ En los valores promedios mensuales de DBO5 y DQO de las muestras compuestas para las diferentes meses del año, se pudo observar que los valores de la DQO son superiores a los de la DBO5, esto debido a que la DQO oxida el contenido de materia orgánica e inorgánica y la DBO5 sólo la materia orgánica por lo que su valor es más elevado.

- ❖ Los valores de DBO5 de las muestras compuestas a la entrada de la planta de tratamiento son elevados, superiores a los normales para aguas residuales domesticas, debido a que a la planta de tratamiento ingresan no sólo aguas residuales de origen doméstico, sino de origen industrial, comercial lo que hacen que estos valores se incrementen considerablemente.

- ❖ El valor obtenido en la estimación de la carga orgánica per cápita con la utilización de las muestras compuestas a la entrada de la planta de tratamiento, presenta un resultado elevado, debido a que los valores de las pruebas de DBO5 son también

elevados, no siendo así muy representativo de la cantidad de materia orgánica per cápita de la ciudad de Tarija.

- ❖ El valor obtenido en la estimación de la carga orgánica per cápita con la utilización de muestras puntuales tomadas a la entrada de cámaras sépticas de 3 barrios diferentes, presenta un resultado más real, debido a que los valores de DBO5 pertenecen a aguas residuales que son más de origen doméstico, lo cual lo hace este resultado más aceptable, recomendable y representativo de carga orgánica per cápita de la ciudad de Tarija.

- ❖ En la elaboración del presente trabajo se pudo observar algunas dificultades sobre todo en la etapa de obtención de la información, debido a que la información disponible se encuentra un poco desorganizada y en algunos casos ausente, por lo que se sugiere tener una mejor organización y sistematización de datos en COSSALT, debido a que éstos son importantes para realizar diferentes estudios que se quieran implementar en el futuro ya sean de investigación o de diseño de diferentes sistemas que pueden ser de alcantarillados, agua potable así como también de sistemas de tratamiento de aguas residuales, los cuales utilizan esta información como principal fuente para sus diseños.

- ❖ Los resultados obtenidos en la estimación de la materia orgánica per cápita varían al utilizar datos de mediciones de DBO al ingreso de la planta de tratamiento y de cámaras sépticas, obteniendo un resultado más representativo de carga orgánica per cápita de la ciudad de Tarija el obtenido con datos de cámaras sépticas, esto debido a que estas aguas residuales son provenientes de barrios los cuales presentan un uso más doméstico del agua, se recomienda tomar en cuenta este valor para futuros diseños e investigaciones que se relacionen con el tema, pudiendo ser ajustado con futura información disponible que garantice una mejor aproximación del valor real y un mejor aprovechamiento del mismo.