

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Coeficiente de Retorno es la relación que existe entre el caudal medio de aguas residuales domésticas y el caudal medio de agua que consume la población, del total de agua consumida solo una parte contribuye al alcantarillado pues el saldo es utilizado para lavado de vehículos, lavado de aceras y calles, riego de jardines, riego de parques públicos, terrazas de residencias y otros. De esta manera el Coeficiente de Retorno depende de factores locales como la localización y tipo de vivienda, condición de las calles (pavimentadas o no) tipo de clima u otros factores.

En la actualidad no se ha determinado un Coeficiente de Retorno de aguas residuales que lleguen a la Planta de Tratamiento de San Luis de acuerdo a la realidad de la zona. por lo que la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija Ltda. (COSAALT LTDA.) ha empleado por el momento un Coeficiente de Retorno que ha sido estimado de fuentes bibliográficas. misma que no reflejan de manera adecuada la realidad que viene ocurriendo. y más considerando el aumento desmesurado de la población urbana.

La ubicación geográfica del presente trabajo de investigación se lo localiza en la provincia de Cercado. específicamente el área que comprende la margen izquierda de la ciudad.

La Planta de Tratamiento de aguas residuales depura las aguas servidas generadas por una población, un caudal de diseño promedio horario de 283 l/s; basado en una dotación neta de agua potable para consumo de 239 l/s.

Se debe destacar que COSAALT LTDA. garantiza la existencia de una cobertura completa de micro medición de agua potable.

Mapa 1. 1 Ubicación de la Planta de Tratamiento de aguas residuales Tarija.



Fuente: Google Earth (2019)

1.2 Justificación

Para la cuantificación de los caudales de aguas servidas se ha estado utilizando Coeficiente de Retorno de aguas residuales adoptado de referencias bibliográficas o normativas. Por esta razón se requiere una investigación que permita determinar el Coeficiente de Retorno Real de aguas residuales. este tiene una incidencia significativa en el dimensionamiento. y consecuentemente en el costo de un proyecto de saneamiento. pues influye en el caudal de diseño y utilizar un coeficiente bajo podría ocasionar un diseño ineficiente o adoptar uno alto originaría un sobre dimensionamiento y por ende un costo elevado del proyecto.

1.3 Planteamiento del problema

En la actualidad la ciudad de Tarija cuenta con una Planta de Tratamiento; la margen izquierda de la ciudad aporta sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de aguas residuales de San Luis, la margen derecha a pozos sépticos y se tiene en ejecución una la Planta de Tratamiento en San Blas. En efecto, no se determinó un Coeficiente de Retorno de aguas residuales que llegan a la Planta de Tratamiento de San Luis de acuerdo a la realidad de la zona.

El Coeficiente de Retorno es un parámetro esencial para el rediseño de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de San Luis, que se está realizando con el propósito de obtener un funcionamiento óptimo.

Un coeficiente simulado podría ocasionar un diseño ineficiente, sobredimensionamiento de la obra y por ende un costo elevado del proyecto.

1.4 Hipótesis del trabajo

Con el coeficiente de retorno de aguas residuales obtenido se diseñará obras eficientes, con un buen funcionamiento y dimensiones correctas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar el Coeficiente de Retorno Real para el área de aporte de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de San Luis. Distritos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Revisar los conceptos básicos sobre consumo de agua potable, producción de aguas residuales y factores de retorno.
- Delimitar el área de aporte del sistema de alcantarillado en el sector de la margen izquierda de la provincia Cercado que descarga sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis.

- Cuantificar los caudales de consumo de agua potable conforme a la información de la base de datos comerciales de la Cooperativa COSAALT LTDA.
- Determinar el caudal de producción de aguas residuales, mediante análisis de registros de COSAALT LTDA.
- Correlacionar el caudal de consumo de agua potable con el caudal de aguas residuales generado en el área de aporte de la Planta de Tratamiento de aguas residuales, para estimar el Coeficiente de Retorno.

1.6 Metodología

El estudio realizado consistió en definir el Coeficiente de Retorno para aguas residuales en el sector de los distritos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 de la ciudad de Tarija Provincia Cercado para la Planta de Tratamiento de San Luis, en función de la delimitación del área de aporte. La delimitación se ejecutó conforme a la información catastral entregada por la Cooperativa COSAALT LTDA.

Como primer paso se solicitó la información a COSAALT LTDA, planos de la red de distribución de agua potable, planos de la red de alcantarillado sanitario, caudal de llegada de aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis y caudal de consumo de agua potable.

Una vez efectuada la verificación del perímetro del área de aporte, este fue corregido con ayuda de información otorgada por la COSAALT LTDA con un software SIG plasmado en un plano, con la finalidad de poder visualizar los predios que conforman el área de aporte, para posteriormente, con los datos de consumo otorgados por parte del área comercial de COSAALT LTDA, determinar la cantidad de agua potable consumida de manera mensual.

Se seleccionó los datos de consumo de agua potable de acuerdo al área de aporte de aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis, para calcular el volumen total por mes de consumo.

El caudal de agua sanitaria se determinó por procesamiento de los registros disponibles por COSAALT LTDA, a la entrada de la Planta de Tratamiento de San Luis. Los datos sin

significancia fueron discriminados, ya que los aparatos están expuestos a errores en la medición.

El Coeficiente de Retorno se calcula de acuerdo con los caudales registrados en función de la relación entre el caudal de aguas residuales, con el de consumo de agua potable de la margen izquierda de la ciudad de Tarija, que descarga sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Coeficiente de Retorno

La cantidad de aguas residuales generada por una comunidad es menor a la cantidad de agua potable que se le suministra, debido a que existen pérdidas a través del riego de jardines, abrevado de animales, limpieza de viviendas y otros usos externos. El porcentaje de agua distribuida que se pierde y no ingresa a las redes de alcantarillado, depende de diversos factores, entre los cuales están: los hábitos y valores de la población, las características de la comunidad, la dotación de agua, y las variaciones del consumo según las estaciones climáticas de la población. En áreas áridas de Estados Unidos, por ejemplo, el factor de retorno es tan pequeño como 0,40, mientras que en las zonas peri urbanas de Brasil es igual 0,80; sin embargo, en varios proyectos se han empleado valores más bajos como 0,65. (UNATSABAR.2005)

Según la Norma Boliviana NB 688, para nuestro medio se deben utilizar valores entre el 60% al 80% de la dotación de agua potable. Valores menores y mayores a este rango deben ser justificados por el proyectista. (NB 688, 2077: 46)

2.1.1 Importancia del Coeficiente de Retorno

El Coeficiente de Retorno toma en cuenta el hecho de que no toda el agua consumida dentro del domicilio es devuelta al alcantarillado, por razones de sus múltiples usos. Se puede establecer, entonces, que solo un porcentaje del total del agua consumida es devuelto al alcantarillado. El mismo que se considera como un factor de cálculo de caudales medios diarios de aguas residuales de origen doméstico.

De mayor aporte a la red de alcantarillado sanitario son las aguas residuales domésticas que está afectado por el Coeficiente de Retorno de ahí la importancia de este valor para obtener un óptimo cálculo de caudal de diseño para obras sanitarias

A mayor Coeficiente de Retorno, mayor caudal medio de aguas residuales domésticas,

2.2 Contribuciones de aguas residuales

El volumen de aguas residuales aportadas a un sistema de recolección y evacuación, está integrado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Su estimación debe basarse, en lo posible, en información histórica de consumos, mediciones periódicas y evaluaciones regulares. Para su estimación deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones.

2.2.1 Domésticas (Q_{MD})

El Caudal medio diario doméstico (Q_{MD}), debe ser calculado utilizando las siguientes fórmulas:

$$Q_{MD} = \frac{C * P * \text{Dot}}{86400} \quad (2.1)$$

$$Q_{MD} = \frac{C * N * \text{to} * \text{Dot}}{86400} \quad (2.2)$$

$$Q_{MD} = \frac{C * a * d * \text{Dot}}{86400} \quad (2.3)$$

Donde:

Q_{MD} : Caudal medio diario doméstico, en L/s

C : Coeficiente de Retorno, adimensional

P : Población, en hab

Dot : Consumo de agua per cápita, en L/hab/d

N : Número de lotes, adimensional

to : Tasa de ocupación poblacional, en hab/lote

a : Área de contribución, en ha

d : Densidad poblacional, en hab/ha

El caudal de contribución doméstico (Q_{MD}) debe ser estimado para las condiciones iniciales y finales de operación del sistema.

El caudal de contribución doméstico, debe ser calculado en función del número de lotes N (Nº lotes) y la tasa de ocupación poblacional, to (hab/lote), o considerando el área de

contribución (ha) y la densidad poblacional (hab/ha), además del consumo de agua per cápita, D (L/hab/d) y el Coeficiente de Retorno (C).

2.2.2 Industriales (Q_I)

El caudal de contribución industrial es la cantidad de agua residual que proviene de una determinada industria.

Los consumos industriales deben ser establecidos en base a lo especificado en el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias.

El caudal de contribución industrial (Q_I) se debe evaluar en forma puntual y como descarga concentrada, de acuerdo al consumo y pérdidas de cada industria en sus diferentes operaciones de producción y debe estimarse para las condiciones iniciales y finales de operación del sistema.

2.2.3 Comerciales (Q_C)

El caudal de contribución comercial es la cantidad de agua residual que proviene de sectores comerciales.

Los consumos comerciales deben ser establecidos en base a lo especificado en el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias.

El caudal de contribución comercial (Q_C) se debe evaluar en forma puntual y como descarga concentrada, de acuerdo a las características de cada zona comercial y debe estimarse para las condiciones iniciales y finales de operación del sistema.

2.2.4 Instituciones públicas (Q_{IP})

Es la cantidad de agua residual que proviene de instituciones públicas.

Los consumos de instituciones públicas deben ser establecidos en base a lo especificado en el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias.

El caudal de contribución de instituciones públicas (Q_{IP}) se debe evaluar en forma puntual y como descarga concentrada, de acuerdo a las características de instituciones públicas como: Hospitales, hoteles, colegios, cuarteles y otros y debe estimarse para las condiciones iniciales y finales de operación del sistema.

2.2.5 Infiltración lineal (Q_{INF})

Las contribuciones indebidas en las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, pueden ser originarias del subsuelo - genéricamente designadas como infiltraciones - o pueden provenir del encauce accidental o clandestino de las aguas pluviales.

Las aguas del suelo penetran a través de los siguientes puntos:

- Por las juntas de las tuberías
- Por las paredes de las tuberías
- En las estructuras de las cámaras de inspección o pozos de visita, cajas de inspección, cajas de paso, tubos de inspección y limpieza y terminales de limpieza

El aporte del caudal por infiltración se debe establecer con base a los valores de la Tabla 2.1 (coeficientes de infiltración en tuberías).

El caudal de infiltración lineal es igual a (q_{inf}) por la longitud (L) del tramo del colector (m).

Tabla 2.1. Coeficientes de infiltración en tuberías - q_{inf} (L/s/m)

Nivel freático	Tubería de hormigón		Tuberías de material plástico	
	Tipo de unión			
	Hormigón	Anillo goma	Hormigón	Anillo goma
Bajo	0,0005	0,0002	0,0001	0,00005
Alto	0,0008	0,0002	0,00015	0,00005

Fuente: Manual para Cálculo. Diseño y Proyecto de Redes de Alcantarillado, Waldo Peñaranda.

La Paz. Bolivia. 1993

2.2.6 Conexiones erradas (Q_{CE})

Se deben considerar los aportes de aguas pluviales al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones (Q_{CE}) (de bajantes de tejados y patios). Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales.

El caudal por conexiones erradas debe ser del 5 % al 10 % del caudal máximo horario de aguas residuales domésticas. Valores mayores a este rango deben ser justificados por el proyectista.

Q_{CE} debe ser estimado para las condiciones iniciales y finales de operación del sistema.

2.2.7 Coeficientes de punta (M)

El coeficiente de punta “M” es la relación entre el caudal máximo horario y el caudal medio diario.

El coeficiente de punta sirve para estimar el caudal máximo horario con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones del consumo de agua.

La variación del coeficiente de punta “M” debe ser obtenido mediante las siguientes ecuaciones:

2.2.7.1 Coeficiente de Harmon

Válidas para poblaciones de 1.000 hab. a 1.000.000 hab.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{p}} \quad (2.4)$$

Donde:

M: Coeficiente de Harmon adimensional

P: Población, en miles de habitantes

Su alcance está recomendado en el rango: $2 \leq M \leq 3,8$

2.2.7.2 Coeficiente de Babbit

Válidas para poblaciones de 1.000 hab. a 1.000.000 hab.

$$M = \frac{5}{P^{0,20}} \quad (2.5)$$

Donde:

P: Población en miles de habitantes

2.2.7.3 Coeficiente de Flores

Se estima “M” en función del número de habitantes

$$M = \frac{3,5}{P^{0,10}} \quad (2.6)$$

Donde:

P: Número total de habitantes

2.2.7.4 Coeficiente de Pöpel

Para poblaciones que varían de 5.000 a 250.000 hab. y también se debe tomar en cuenta los coeficientes de variación de caudal k_1 y k_2 .

En la Tabla 2.2 se presentan los coeficientes de Pöpel, en función al tamaño de la población.

Tabla 2.2. Valores del coeficiente de Pöpel

Población en miles	Coeficiente M
menor a 5	2,40 a 2,00
5 a 10	2,00 a 1,85
10 a 50	1,85 a 1,60
50 a 250	1,60 a 1,33
Mayor a 250	1,33

Fuente: Norma Boliviana NB 689

2.2.7.5 Coeficientes de variación de caudal k_1 y k_2

El coeficiente de punta está dado por los coeficientes de variación de caudal k_1 y k_2 .

$$M = k_1 * k_2 \quad (2.7)$$

Donde:

k_1 : Coeficiente de máximo caudal diario, es la relación entre el mayor caudal diario verificado al año y el caudal medio diario anual. El coeficiente de máximo caudal diario k_1 , varía entre 1,20 a 1,50 según las características de la población. Los valores mayores de k_1 , corresponden a poblaciones menores, donde los hábitos y costumbres de la población son menores.

k_2 : Coeficiente de máximo caudal horario, es la relación entre el mayor caudal observado en una hora del día de mayor consumo y el caudal medio del mismo día. El coeficiente de máximo caudal horario k_2 , varía según el número de habitantes, como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Valores del coeficiente k_2

Población (hab.)	Coeficiente k_2
Hasta 2.000	2,20 a 2,00
De 2.001 a 10.000	2,00 a 1,80
De 10.000 a 100.000	1,80 a 1,50
Más de 100.000	1,5

Fuente: Norma Boliviana NB 689

2.3 Caudal máximo horario doméstico (Q_{MH})

El caudal máximo horario es la base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El caudal máximo horario del día máximo se debe estimar a partir del caudal medio diario, mediante el uso del coeficiente de punta “M” y para las condiciones inicial y final del proyecto. El caudal máximo horario está dado por:

$$Q_{MH} = M * Q_{MD} \quad (2.8)$$

Donde:

Q_{MH} : Caudal máximo horario doméstico, en L/s

M: Coeficiente de punta adimensional

Q_{MD} : Caudal medio diario doméstico, en L/s

2.4 Caudal de diseño (Q_{DT})

El caudal de diseño (Q_{DT}) de cada tramo de la red de colectores se obtiene sumando al caudal máximo horario doméstico del día máximo, Q_{MH} , los aportes por infiltraciones lineales y conexiones erradas y de los caudales de descarga concentrada. El caudal de diseño está dado por la ecuación:

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE} + \Sigma Q_{DC} \quad (2.9)$$

Donde:

Q_{DT} : Caudal de diseño, en L/s

Q_{MH} : Caudal máximo horario doméstico, en L/s

Q_{INF} : Caudal por infiltración, en L/s

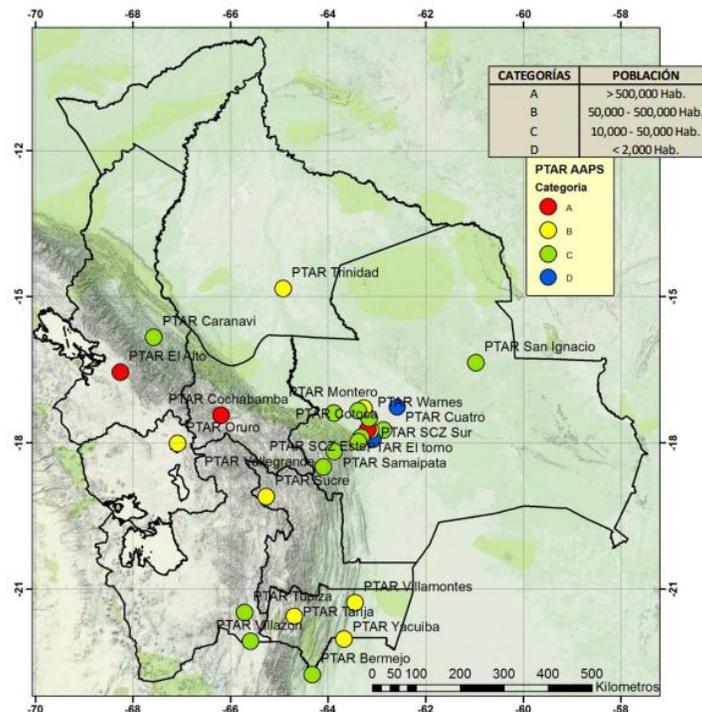
Q_{CE} : Caudal por conexiones erradas, en L/s

Q_{DC} : Caudal de descarga concentrada, en L/s

2.5 Plantas de Tratamiento de aguas residuales (PTAR) en Bolivia

Dentro de EPSA (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario) con seguimiento regulatorio por parte de la AAPS (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico), se tienen 26 Plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel Nacional, de las cuales se cuentan con datos técnicos reportados el año 2.015 por 23 de éstas.

Mapa 2. 1. Ubicación de PTAR en Bolivia y categorización de las EPSA



Fuente: AAPS. 2.017 con datos de los indicadores de desempeño AAPS 2.015

2.6 Fuentes de agua

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 90 l/s, con caudal promedio de 230 l/s; tiene como obras de captación una presa de derivación del año 1.989 y una galería filtrante de 1.600 m debajo de la presa de derivación del año 1.939, mediante una aducción desde la presa superior del Rincón de la Victoria hasta la Planta de Tratamiento de la Tabladita que tiene una capacidad de almacenamiento de 160 l/s, donde es tratada con los siguientes procesos: floculación, sedimentación, filtración y cloración. Almacenada en tanques después de tratamiento para su distribución directa a la red de agua domiciliaria Tarija a través de medidores de consumo administrados por COSAALT LTDA.

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 transportada mediante bombeo y tuberías de aducción hasta la planta de tratamiento de Tabladita. Las características técnicas del sistema de bombeo Las Tipas son:

- Caudal de bombeo 80l/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 1.670
- Desnivel de 98m

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.

4. Lago San Jacinto

La fuente de captación del lago San Jacinto se encuentra fuera de funcionamiento, consta de 500 ha. de espejo de agua con un volumen de embalse de 56 Hm³, ha sido construido para dotar de agua para riego a 3.000 ha en el valle central de Tarija, también consta de un sistema de generación hidroeléctrica de 8 megavatios. En el año 1.994 se ha adicionado un volumen de 6 Hm³ para agua potable. También se ha construido un sistema de aducción de bombeo con una planta de tratamiento de 160 l/s de capacidad llamada de San Jacinto, de características similares a la planta de Tabladita. Este sistema solo 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 Lindado, Heptacloro y Metoxicloro, en concentraciones mayores a las permitidas en la Norma Boliviana NB 512.

5. Pozos (Sistemas independientes)

En las zonas donde el agua del Rincón de la Victoria no puede llegar, se ha 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 solo en 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 2.4. Volúmenes diarios de producción en los diferentes sistemas de agua mmm

Nro.	Denominativo del pozo	Coordenadas de ubicación UTM PSAD 56		Horas de bombeo	Caudal real bombeo	Volumen producido
		X	Y	(h)	(m ³ /h)	(m ³ /mes)
1	Circunvalación A	318.991,63	7.620.301	0	0	0
2	Circunvalación B	318.968,78	7.620.296,84	0	0	0
3	Daniel Campos	320.961,16	7.619.054,44	0	0	0
4	Villa Busch	320.344,05	7.616.470,36	0	0	0
5	Stadium	321.402,14	7.617.806,33	0	0	0
6	Guadalquivir	319.217,78	7.619.071,70	676,5	61,92	41.888,88
7	Avit Pozo A	321.035	7.620.850	534,73	65,16	34.843,22
8	Avit Pozo B	320.840,32	7.620.439,66	450,67	20,45	9.215,23
9	Albat	320.768,15	7.619.703,28	416,3	32,22	13.413,19
10	San Bernardo A	321.725,86	7.618.900,31	708	14,76	10.450,08
11	San Bernardo B	321.760,04	7.619.033,62	523	14,94	7.813,62
12	Vela	321.155	7.619.485	493,33	7,67	3.782,88
13	El Constructor A	322.583,60	7.619.098,05	713	16,2	11.550,60
14	El Constructor B	322.575,80	7.619.097,21	546	7,74	4.226,04
15	Luis Espinal A	323.124,04	7.618.507,12	744	27,36	20.355,84
16	Luis Espinal B	323.683,95	7.618.820,70	448	34,92	15.644,16
17	Narcizo Campero	322.595,01	7.617.928,86	16	11,52	184,32
18	Morros Blancos A	323.338,81	7.617.564,32	498,67	25,63	12.781,82
19	Morros Blancos B	323.345,69	7.617.601,71	277	39,06	10.819,62
20	Aeropuerto A	323.338,81	7.617.564,32	696	5,04	3.507,84
21	Aeropuerto B	323.338,23	7.616.090,62	696	20,88	14.532,48
22	Cárcel Publica	323.799,16	7.616.205,84	285	11,16	3.180,60
23	San Jorge II	324.551,64	7.615.445,49	532,33	12,96	6.899,04
24	San Luis	324.237,37	7.613.758,30	415,82	40,68	16.915,42
25	Base Aérea	322.891,74	7.615.738,47	0	13,32	0
26	Valle Hermoso	320.500	7.616.865	279,13	11,88	3.316,10
27	Villa Fátima Pozo A	321.537,45	7.617.399,85	376	65,16	24.500,16
28	Villa Fátima Pozo B	321.532,30	7.617.386,16	0	42,12	0
29	Simón Bolívar	323.787,56	7.616.733,01	321	40,14	12.884,94
30	Oscar Zamora M.	320.031,44	7.621.140,15	600,33	53,46	32.093,82
31	Tomatas C	317.545	7.622.830	509,08	17,64	8.980,23
32	3 de mayo	320.390,21	7.620.205,91	501,5	14,11	7.077,17

Nro.	Denominativo del pozo	Coordenadas de ubicación UTM PSAD 56		Horas de bombeo	Caudal real bombeo	Volumen producido
		X	Y	(h)	(m ³ /h)	(m ³ /mes)
33	Pedro Antonio Flores	321.775,63	7.618.460,83	698	29,52	20.604,96
34	Lourdes	321.369,48	7.620.240,29	663,33	33,12	21.969,60
35	Anaspugio A	323.809,49	7.617.642,77	696	27,29	18.992,45
36	Anaspugio B	323.833,60	7.618.142,75	696	44,64	31.069,44
37	Iro de Mayo	322.296,99	7.620.602,96	653	8,6	5.618,41
38	San Jacinto B1	320.256,63	7.616.126,51	484,33	19,01	9.206,21
39	San Jacinto B2	320.161,09	7.616.098,17	483	25,56	12.345,48
40	San Salvador	325.742,90	7.614.909,12	483	19,37	9.354,74
41	Los Álamos	318.287,51	7.621.558,92	503	22,32	11.226,96
42	19 de Marzo	320.952,89	7.620.963,84	714	38,52	27.503,28
43	Las Barrancas	320.954	7.621.913	567	15,55	8.817,98
44	27 de Mayo	323.063	7.619.947	158	13,46	2.127,31

Fuente: Información COSAALT LTDA.

2.7 Dotación de agua potable Tarija

La dotación debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de consumo doméstico, comercial, industrial y público, considerando las pérdidas en la red de distribución.

La dotación de agua depende de los siguientes factores:

- Oferta de agua de acuerdo a la capacidad de la fuente
- Clima
- Aspectos económicos y socio-culturales
- Opción técnica y nivel de servicio (piletas públicas, conexiones domiciliarias)
- Condiciones de operación y mantenimiento

La dotación media diaria de agua debe ser obtenida sobre la base de la población y zona geográfica dada según lo especificado en la Tabla 2.5

Tabla 2.5. Dotación media (l/hab/d)

Zona	Población (hab)					
	Hasta 500	De 501 a 2.000	De 2.001 a 5.000	De 5.001 a 20.000	De 20.001 a 100.000	Más a 100.000
Del Altiplano	30 a 50	30 a 70	50 a 80	80 a 100	100 a 150	150 a 200
De los Valles	50 a 70	50 a 90	70 a 100	100 a 140	150 a 200	200 a 250
De los Llanos	70 a 90	70 a 110	90 a 120	120 a 180	200 a 250	250 a 350
NOTAS	(1)			(2)		

Fuente: Norma Boliviana NB 689

La ciudad de Tarija la dotación varía con los años de acuerdo al crecimiento de la población como se muestra en la Tabla 2.6

Tabla 2.6. Dotación de la ciudad de Tarija

Gestión	Dotación (l/hab/d)
2014	207,04
2015	232,65
2016	222,06
2017	223,63
2018	239,16

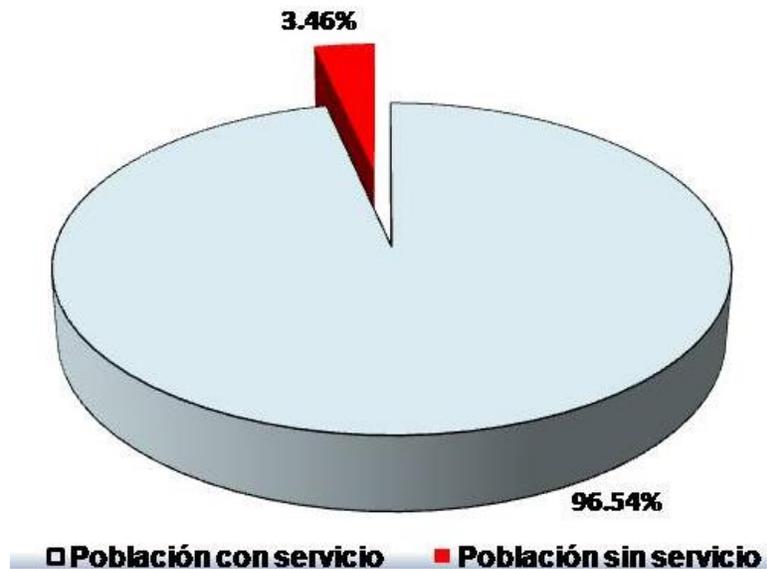
Fuente: COSAALT LTDA.

2.8 Consumo de agua potable

Este componente busca asegurar la disponibilidad de agua para toda la población tarijeña con relación a su calidad, cantidad y acceso suficientes para cubrir las necesidades humanas de subsistencia, aseo y desarrollo con calidad para el vivir bien.

Los proyectos de agua para consumo, indican una cobertura actual del 96,54% (44.599 familias). quedando 258 familias sin cobertura de agua, que con los proyectos programados permitirán alcanzar el 99% de cobertura.

Figura 2. 1 Cobertura de agua – gestión 2018

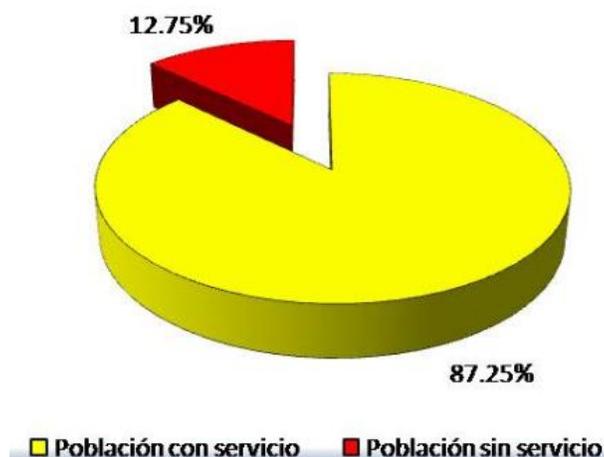


Fuente: www.anesapa.org/empresas-socias/cosaalt

2.9 Cobertura de sistema de alcantarillado

El sistema de drenaje de Tarija se ha dividido en dos grandes sectores, debido a que el río Guadalquivir atraviesa la ciudad. El flujo se da por gravedad, es de tipo separativo, es decir, las aguas residuales van teóricamente en conductos diferentes al de las aguas de lluvia. Tomando como referencia la vista en el río hacia aguas abajo, en el sector izquierdo se encuentra los distritos municipales del 1 al 11 que incluye el casco viejo de la ciudad. El sector derecho, constituido por los distritos 12 y 13, son sistemas independientes que descargan las aguas residuales directamente al río Guadalquivir sin ningún tipo de tratamiento. La red de alcantarillado sanitario en Tarija cubre los 13 distritos urbanos en que se divide, de los cuales solamente 11 distritos descargan las aguas residuales hacia la Planta de Tratamiento (Lagunas de San Luis). Los distritos que tienen 100% de cobertura en cuanto a drenaje sanitario son los distritos 1 al 10 de la zona central. Los distritos 11 y 12 son los que tienen menos cobertura. Aproximadamente el 75% de los efluentes sanitarios generados en la ciudad de Tarija son conducidos mediante la red de alcantarillado hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis, cuya descarga es vertida a la Quebrada Torrecillas.

Figura 2. 2 Cobertura de alcantarillado – gestión 2018



Fuente: www.anesapa.org/empresas-socias/cosaalt

2.10 Planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis

Según información de la Cooperativa COSAALT LTDA, la Planta de Tratamiento de aguas residuales de San Luis habría sido construida entre los años 1.988 y 1.989, entrando en operación a partir de 1.990. La Planta de Tratamiento se ubica entre las coordenadas 324.232 E y 7.613.779 S, en el barrio de San Luis. El caudal de diseño es de 210 l/s, pero en la actualidad y en base a registros efectuados por COSAALT LTDA correspondientes al año 2.018, el caudal medio que ingresa en planta es de 283 l/s. El afluente mayoritario proviene de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Tarija, sin embargo, también recibe el aporte autorizado, pero no monitoreado de aguas industriales, entre los que destacan por el volumen de sus descargas, los siguientes 5 establecimientos principales: Cervecería ASTRA, Productos lácteos PIL, Vitivinícola Aranjuez, Embotelladora Coca Cola y Embotelladora La Cascada.

La Planta de Tratamiento de aguas residuales de San Luis utiliza el proceso de lagunas de estabilización (anaeróbicas, facultativa y de acabado o maduración). Está conformada por un canal Parshall, una estructura partidora de caudal que alimenta a 2 lagunas anaeróbicas que operan en paralelo, los efluentes de ambas son conducidos a una laguna facultativa que conecta con una laguna de acabado que mediante un canal con escalones conduce las aguas tratadas para su descarga final a la Quebrada Torrecillas. Las características de cada una de las unidades mencionadas es la siguiente:

- Canal Aforador Parshall de 0,445 m de garganta, construido en hormigón armado y emplazado a una profundidad aproximada de 2,30 m debajo de la superficie del terreno.

Fotografía 2.1. Canal Parshall en la entrada a la Planta de Tratamiento de San Luis



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 3. 1 Estructura partidora de caudal a las lagunas



Fuente: Elaboración propia

- **Laguna Anaeróbica N°1.** Excavada en el terreno y con diques de tierra. con 3,50 m de ancho de coronamiento. Esta laguna está impermeabilizada con arcilla, el agua ingresa mediante una estructura de hormigón armado que protege al canal conductor del agua residual y además sirve de plataforma de acceso.

El área de esta laguna es de 29.662,29 m² con una profundidad de 4,00 m

Fotografía 2.2. Laguna Anaeróbica N°1 con algas



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 2.3. Laguna Anaeróbica N°1 entrada de aguas residuales



Fuente: Elaboración Propia

- **Laguna Anaeróbica N° 2.** De similares características constructivas a la Laguna N°1, pero con un área de 24.244,06 m² con una profundidad de 4,00 m

Fotografía 2.4. Laguna Anaeróbica N°2



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 2.5. Laguna Anaeróbica N°2 entrada de aguas residuales



Fuente: Elaboración Propia

- **Laguna Facultativa.** De similares características constructivas a las lagunas anaeróbicas. La interconexión de ingreso y salida están protegidos mediante canales de hormigón armado, en esta última el agua es recogida por un vertedero rectangular. El área de esta laguna es de 53.343,25 con una profundidad de 3,00 m
- **Laguna de Acabado o maduración.** Excavada en el terreno con diques de tierra, coronamiento de 3,50 m e impermeabilizada con arcilla. Las estructuras de ingreso y salida son similares a la anterior. El área de esta laguna es de 43.641,66 m² con una profundidad de 3,00 m. La superficie de la planta cubre una superficie de 52 ha protegidas con enmallado en todo su perímetro. Las lagunas de estabilización cubren una superficie aproximada de 15 Ha. ⁽¹⁾ (Plano ver anexos V)

Mapa 2. 2. Lagunas de oxidación Planta de Tratamiento de aguas residuales San Luis.



Fuente: Google Earth (2019)

2.11 Canal Parshall

2.11.1 Características del canal Parshall

El canal Parshall o también llamado medidor Parshall, es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado. Es un medidor de régimen crítico, siendo idealizado por Ralph L. Parshall, ingeniero del servicio de irrigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Los medidores Parshall son identificados nominalmente por el ancho de su garganta, por ejemplo: un medidor Parshall de 9 pulg mide 0,23 m.

Figura 2. 3. Ralph Parshall tomando medidas de flujo (1946)



Fuente: www.lib.colostate.edu

Para su fabricación, en los medidores Parshall se han utilizado muy diversos materiales, pudiéndose fabricar de láminas de metal o madera y recientemente de fibra de vidrio. También se pueden construir directamente sobre el terreno con el uso de elementos de mampostería como ladrillos y bloques de concreto y en algunos casos fundidos con concreto reforzado para mayor durabilidad.

Partes del medidor Parshall

Consta de cuatro partes principales:

1. Transición de entrada
2. Sección convergente
3. Garganta
4. Sección divergente

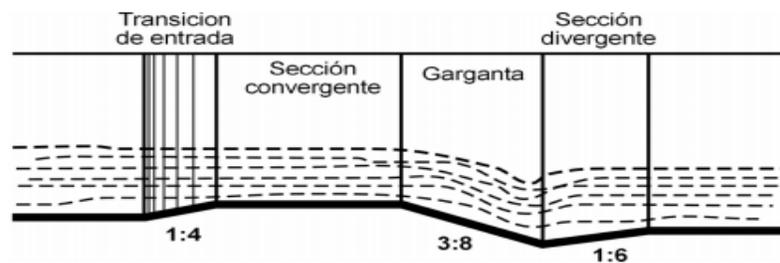
En la transición de entrada es conveniente elevar el piso sobre el fondo original del canal, con una pendiente ascendente de 1:4 (1 vertical y 4 horizontal), hasta comenzar la sección convergente, con paredes que se van cerrando en línea recta o circular de radio (R), debido a que el aforador Parshall es una reducción de la sección del canal, que obliga al agua a elevarse o a remansarse para luego volver a descender hasta el nivel inicial sin el aforador. En este proceso se presenta una aceleración del flujo que permite establecer una relación matemática entre la altura de carga o elevación que alcanza el agua y el caudal que circula a través del dispositivo.

Para medidores menores a 1 pie o 30 cm (ancho de garganta) $R = 0,41$ m

Para medidores de 1 a 3 pies. $R = 0,51$ m

Para medidores de 4 a 8 pies. $R = 0,61$ m

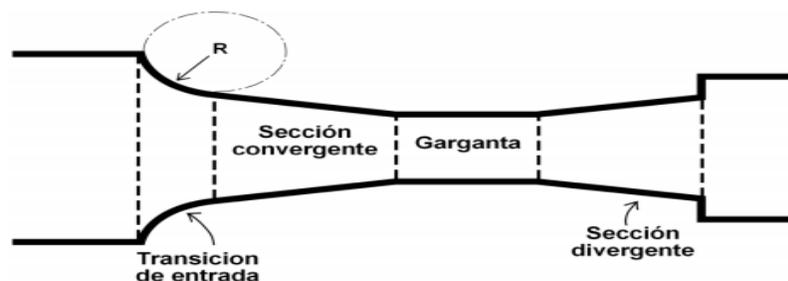
Figura 2. 4 Partes del medidor Parshall (perfil)



Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 477

En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el piso vuelve a bajar con una pendiente de 3:8 (3 vertical y 8 horizontal). En la sección divergente el piso sube nuevamente con pendiente de 1:6 (1 vertical y 6 horizontal).

Figura 2. 5 Partes del medidor Parshall (planta)



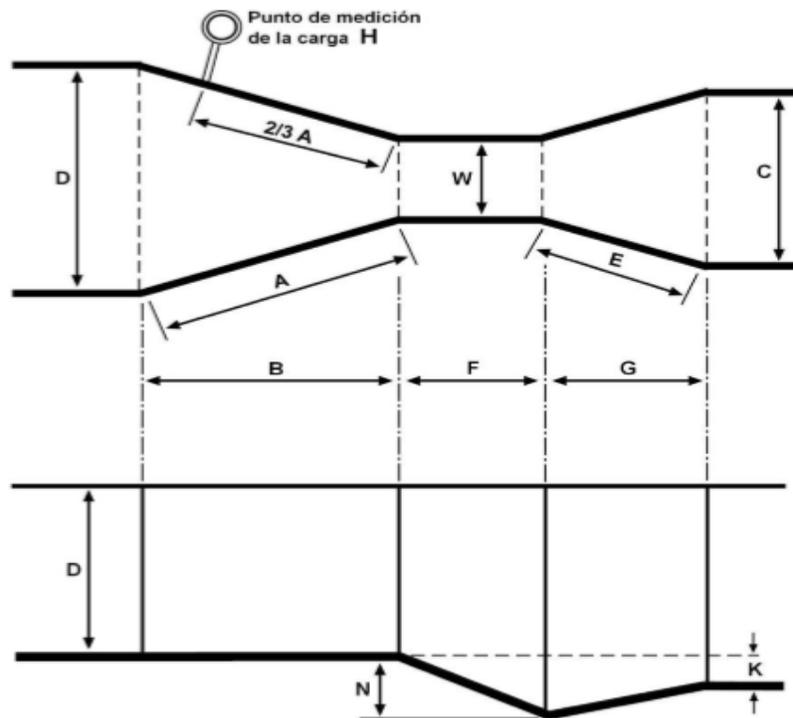
Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 477

En cualquier parte del medidor Parshall, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el medidor tiene una sección rectangular.

2.11.2 Dimensiones del medidor Parshall

Los medidores menos empleados son los de 1 pulg (2,54 cm) de ancho de garganta y el mayor construido hasta hoy mide 50 pies (15,24 m) y tiene una capacidad para 85,00 l/s.

Figura 2. 6 Dimensiones del medidor Parshall



Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 47

La tabla 2.7 incluye las dimensiones típicas para los medidores hasta de 10 pies (3,05 m).

Tabla 2.7. Dimensiones típicas de medidores Parshall en cm

	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4
9"	22,9	88	86,4	38,0	57,5	61,0	30,5	45,7	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1½'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3

Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 472

2.11.3 Usos del medidor Parshall

El medidor Parshall fue creado teniendo como objetivo principal la irrigación. Los de menor tamaño se usan para regular la descarga de agua distribuida a propiedades agrícolas y los de mayor tamaño se utilizan en grandes canales de riego.

Los medidores Parshall también se utilizan en estaciones de tratamiento para la inyección de sustancias químicas, aprovechando el resalto hidráulico.

La medición del caudal, tan necesaria en servicios de abastecimiento de agua, puede ser realizada fácilmente y con pequeño gasto económico si se utilizan los medidores de forma conveniente.

Su uso es remendado en canales principales, estaciones de tratamiento, entradas en depósitos, etc.

A continuación, se presenta una tabla con los rangos de caudales en los que se recomienda operen de forma eficiente los canales Parshall, trabajando a descarga libre.

Tabla 2.8. Rango de Caudales de operación en canales Parshall

Ancho de Garganta W		Caudal Q (l/s)	
pulg	Cm	Mínimo	Máximo
3"	7,6	0,85	53,8
6"	15,2	1,52	110,4
9"	22,9	2,55	251,9
1´	30,5	3,11	455,6
1½´	45,7	4,25	696,2
2´	61,0	11,89	936,7
3´	91,5	17,26	1426,3
4´	122,0	36,79	1921,5
5´	152,5	62,8	2422,0
6´	183,0	74,4	2929,0
7´	213,5	115,4	3440,0
8´	244,0	130,7	3950,0
10´	305,0	200,0	5660,0

Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 474

2.11.4 Puntos de medición

La única medida de carga H necesaria para conocer el caudal, se hace en la sección convergente, en un punto que se localiza a 2/3 de la dimensión B o a 2/3 de A.

En este punto se mide el tirante de agua con una regla o se instala junto a la pared una escala para lecturas. También se puede colocar un tubo o manguera comunicando el nivel del agua a un pozo lateral de medición, en donde se puede colocar una boya adherida a una varilla metálica que indique la altura o sirva como transmisión de un sistema eléctrico a distancia.

Los pozos laterales de medición pueden ser de sección circular con un diámetro igual a:

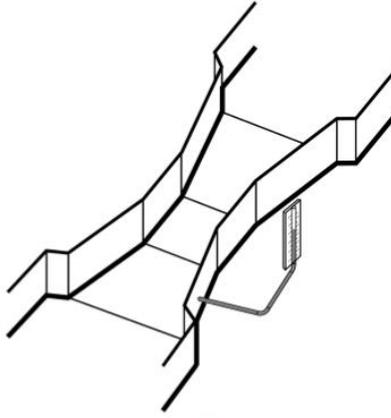
$$D = W + 0,15 \text{ (m)} \quad (2.10)$$

Teoría de los medidores de régimen crítico

Los medidores de régimen crítico pueden consistir en un simple estrechamiento adecuado de sección, en el rebajamiento o en la elevación del fondo o en una combinación de éstas, capaz de ocasionar el régimen crítico.

Existe una gran variedad de medidores de este tipo, siendo más conocidos los medidores Parshall. Los cuales son construidos por una sección convergente, una sección estrecha y una sección divergente.

Figura 2. 7 Medidor Parshall



Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 49

Como ya se indicó con anterioridad los medidores Parshall son muy utilizados en la medición de caudales en canales de riego y en algunos casos de aguas residuales. Esto por no presentar aristas u obstáculos que impidan el paso de la corriente líquida como los vertederos. Y por tener una pérdida de carga relativamente pequeña, su uso tiende a generalizarse.

Al estudiar de forma generalizada los canales, se comprueba que para determinadas condiciones existe en un canal un tirante límite estrechamente relacionado a los dos regímenes de flujo: el lento y el rápido, es el tirante crítico.

Ventajas

- Permite medir con precisión tanto caudales pequeños como grandes, para tal fin se construyen de diversos materiales.
- Soluciona el problema de azolve muy comprometido y notorio en los vertederos, por mantenerse libre de obstrucciones gracias a su geometría y la velocidad en la garganta.
- El caudal no está influenciado por la velocidad de llegada.
- Las pérdidas de carga son insignificantes frente a otras estructuras.

- Su uso está recomendado tanto para el aforo de canales de riego, canales de drenaje, así como de ríos pequeños.
- La velocidad de aproximación no afecta las medidas de caudal cuando el aforador es construido de acuerdo a las dimensiones dadas y son usadas cuando el ingreso de flujo es uniformemente distribuido y libre de turbulencia.

Desventajas:

- Son generalmente más caros en su construcción que los vertederos.
- No pueden ser usados en lugares cercanos a las derivaciones.
- El flujo de entrada debe ser uniforme y la superficie del agua relativamente suave.
- Sus mediciones son satisfactorias solo si la construcción es cuidadosa y exacta.
- Si no se construye con las dimensiones exactas la tabla de magnitudes no es confiable.
- Los pequeños aforadores requieren una pequeña pérdida de carga para la medición de flujo modular; aunque las calibraciones de flujo sumergido son confiables no es recomendable diseñar aforadores para flujo no modular porque el manejo de las dos cargas consume tiempo y da como resultado mediciones de baja exactitud.
- Este aforador tiene el grave inconveniente de no poder adaptarse a nuestras condiciones topográficas accidentadas, como lo que es más insalvable aún, el hecho de tener que afrontar la gran dificultad de su construcción con los siguientes problemas de calibración y de poca adaptación a la forma de canales de riego; razón por la cual su empleo se hace cada vez más restringido.
- Más caros debido a la fabricación requerida.
- La fabricación e instalación es crítica para que funcionen como se debe.

2.11.5 Fórmulas y tablas para el cálculo del caudal en un medidor Parshall

Según experimentos y ensayos realizados utilizando canales Parshall se han obtenido ecuaciones para calcular el caudal de tipo potencial:

$$Q = K H^n \quad (2.11)$$

Y siendo el valor de "n" según ensayos, muy cercano a 3/2.

En la Tabla 2.9 se presentan los valores del coeficiente "K" para los sistemas métrico e inglés, así como los del exponente "n".

Por ejemplo, para canal Parshall en estudio tiene una garganta de ancho igual 0,445m, la ecuación de caudal para el sistema métrico (interpolando) queda de la siguiente forma:

$$Q = 1,025 H^{1,537} \quad (2.12)$$

Dónde: Q = m³/s

H = m

Tabla 2.9. Valores de exponente "n" y coeficiente "K"

W		n	k	
S.I.	m		unidades métricas	unidades inglesas
3"	0,076	1,547	0,176	0,992
6"	0,152	1,580	0,381	2,06
9"	0,229	1,530	0,535	3,07
1'	0,305	1,522	0,690	4,00
1½'	0,457	1,538	1,054	6,00
2'	0,610	1,550	1,426	8,00
3'	0,915	1,566	2,182	12,00
4'	1,220	1,578	2,935	16,00
5'	1,525	1,587	3,728	20,00
6'	1,830	1,595	4,515	24,00
7'	2,135	1,601	5,306	28,00
8'	2,440	1,606	6,101	32,00

Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 476

En la Tabla 2.10 se puede ver los caudales ya calculados para los medidores Parshall de dimensiones más utilizadas.

Tabla 2.10. Caudales en medidores Parshall en l/s

H (cm)	Ancho de Garganta W (pulg)							
	3"	6"	9"	1'	1½'	2'	3'	4'
3	0,8	1,4	2,5	3,1	4,2	---	---	---
4	1,2	2,3	4,0	4,6	6,9	---	---	---
5	1,5	3,2	5,5	7,0	10,0	13,8	20	---
6	2,3	4,5	7,3	9,9	14,4	18,7	27	35
7	2,9	5,7	9,1	12,5	17,8	23,2	34	45
8	3,5	7,1	11,1	14,5	21,6	28,0	42	55
9	4,3	8,5	13,5	17,7	26,0	34,2	50	66
10	5,0	10,3	15,8	20,9	30,8	40,6	60	78
11	5,8	11,6	18,1	23,8	35,4	46,5	69	90
12	6,7	13,4	24,0	27,4	40,5	53,5	79	105
13	7,5	15,2	23,8	31,0	45,6	60,3	93	119
14	8,5	17,3	26,6	34,8	51,5	68,0	101	133
15	9,4	19,1	29,2	38,4	57,0	75,5	112	149
16	10,8	21,1	32,4	42,5	63,0	83,5	124	165
17	11,4	23,2	35,6	46,8	69,0	92,0	137	182
18	12,4	25,2	38,8	51,0	75,4	100,0	148	198
19	13,5	27,7	42,3	55,2	82,2	109,0	163	216
20	14,6	30,0	45,7	59,8	89,0	118,0	177	235
25	20,6	42,5	64,2	83,8	125,0	167,0	248	331
30	27,4	57,0	85,0	111,0	166,0	221,0	334	446
35	34,4	72,2	106,8	139,0	209,0	280,0	422	562
40	42,5	59,5	131,0	170,0	257,0	345,0	525	700
45	51,0	107,0	157,0	203,0	306,0	414,0	629	840
50	---	---	185,0	240,0	362,0	486,0	736	990
55	---	---	214,0	277,0	418,8	563,0	852	1144
60	---	---	243,0	314,0	478,3	642,0	971	1308
65	---	---	---	356,0	543,4	730,0	1110	1490
70	---	---	---	402,0	611,3	821,0	1249	1684

Fuente: J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica pág. 476

2.12 Población

De acuerdo al Censo Nacional y Vivienda el 2.012, Bolivia cuenta con una población de 10.059.856 habitantes. El departamento de Tarija con una población de 482.196 habitantes, representa alrededor del 4,79% del total nacional y el municipio de Tarija cuenta con 254.048 habitantes, según INE 2018.

Con relación al total de la población departamental, la provincia Cercado contiene el 28% de habitantes los cuales el 25% se radican en el área urbana o ciudad Tarija y el restante 3% en las diferentes comunidades rurales de la provincia y el 87,25% cuenta con alcantarillado; la demás población de la ciudad tiene como efluente de sus aguas residuales cámaras sépticas propias.

La ciudad de Tarija en la actualidad se encuentra dividida en 31 zonas según la cooperativa COSAALT LTDA que incluye a diferentes barrios.

Las zonas que aportan sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis se encuentran a continuación.

Tabla 2.11. Zonas de la ciudad de Tarija que aportan sus aguas a la Planta de Tratamiento de San Luis

Zona	Barrio
1	Villa Abaroa, San Marcos, 12 de octubre
2	Zona cementerio, Parte San Roque, 14 Viviendas, La pampa
3	San Roque, Zona Central, parte de La Pampa
4	La Barranca-Pert, Francisco de Uriondo, mercado Campesino, La Loma de San Juan, El Carmen, 4 de Julio, Bien te Fue, Defensores del Chanco IV Centenario
5	El Molino, Parte Zona Central
6	Zona Central, Las Panosas
7	Villa Fátima, barrio Minero
8	La Terminal, El Tejar
10	San Gerónimo, Loa cuarteles, Petrolero, San Luis
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
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

Zona	Barrio
22	Simón Bolívar, Morros Blancos
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 Barracas
27	Tomatitas

Fuente: COSAALT LTDA

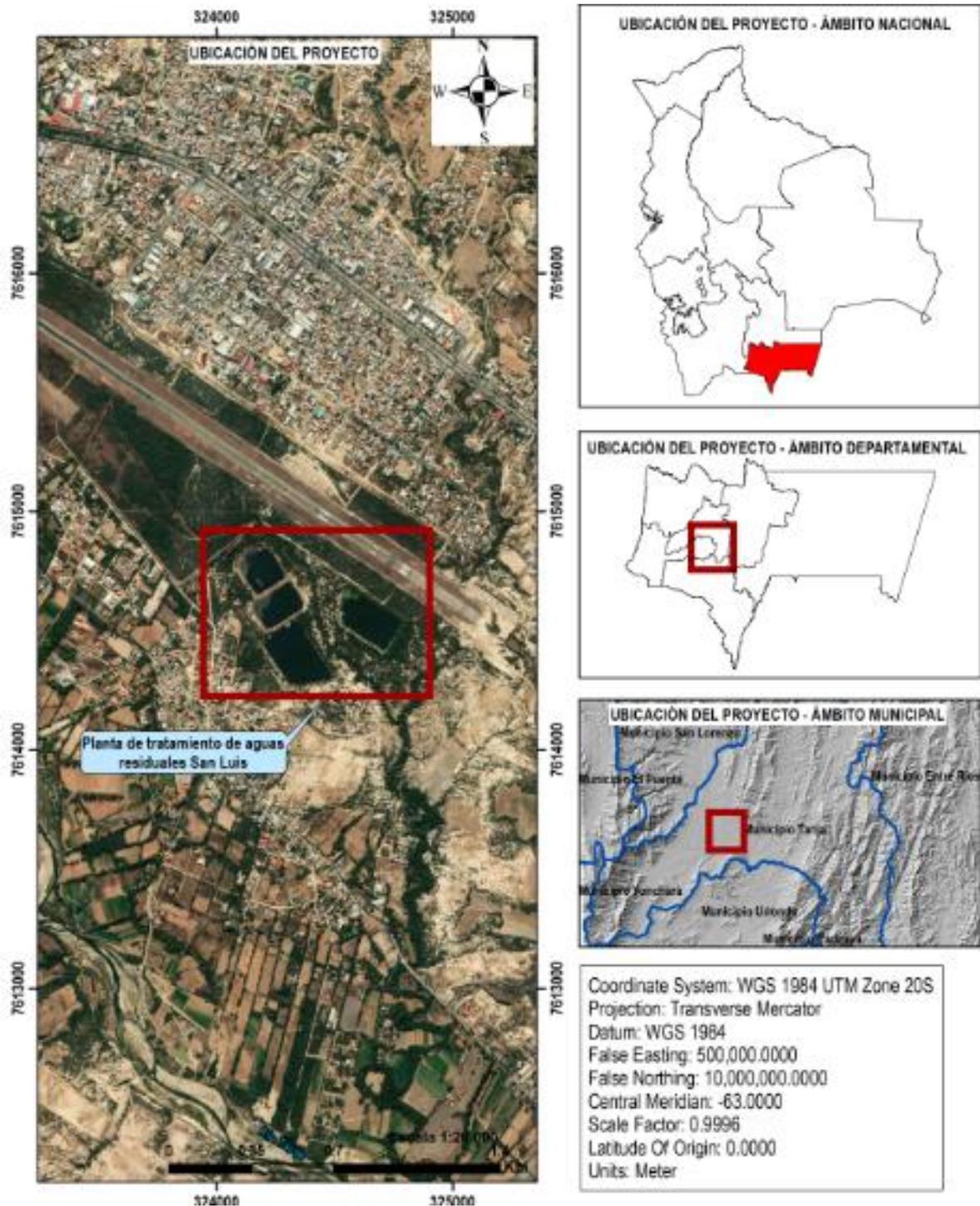
Existen 12 cámaras sépticas en la ciudad de los cuales 9 están en el margen izquierdo que son:

- En el barrio San Luis de Fuentes – Viviendas de COSAALT
- Barrio Luis de Fuentes – Cancha de futbol
- Barrio el Tejar – detrás del puesto policial
- Barrio San Gerónimo – Quebrada EL Monte
- Barrio San Gerónimo – Quebrada San Pedro
- Barrio 7 de septiembre – Quebrada El Gringo
- Barrio Petrolero – Cancha de futbol
- Barrio San Jorge II - Quebrada Torrecillas
- Barrio San Luis – Río Guadalquivir

CAPÍTULO III: DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE APOORTE DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO EN EL DISTRITO 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11

3.1 Localización

Mapa 3.1 Ubicación del proyecto



Fuente: Google Earth (2019), GeoBolivia (2019).

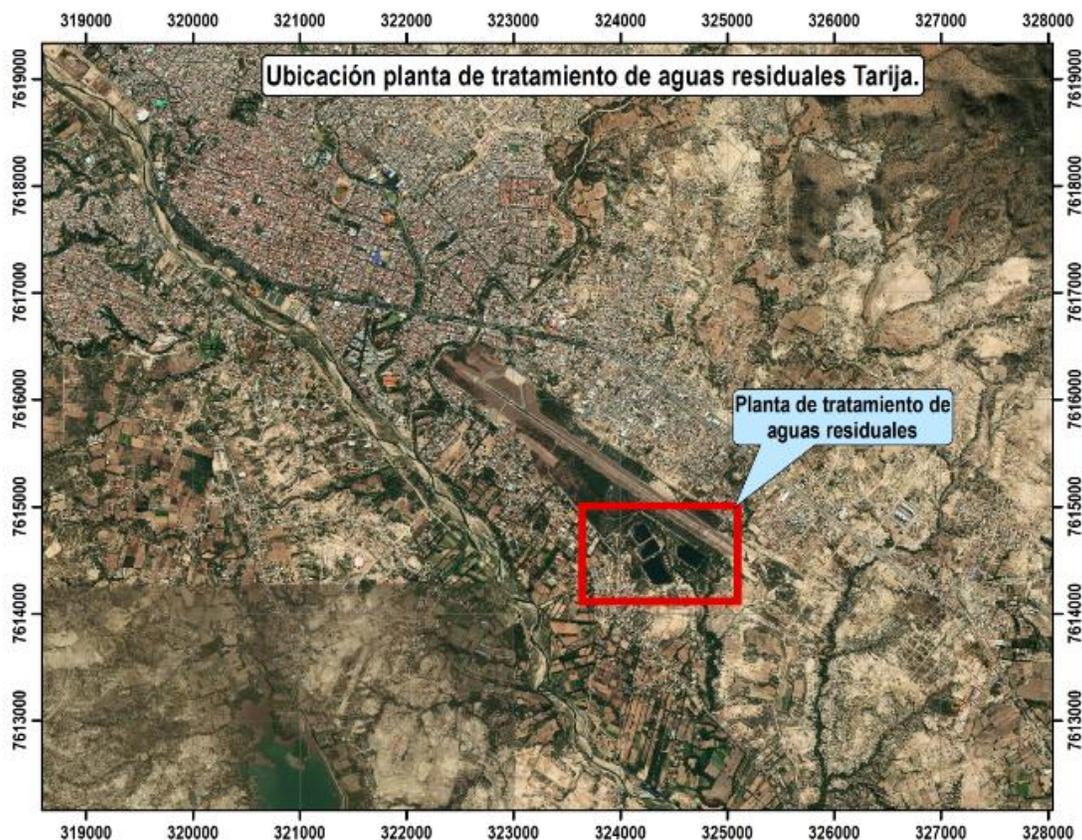
El proyecto está localizado en el departamento de Tarija ubicado al Sur de Bolivia, limita al Norte con el departamento de Chuquisaca. al sur con la República Argentina, al este con la República del Paraguay y al oeste con los departamentos de Chuquisaca y Potosí.

Geográficamente se encuentra entre los paralelos $20^{\circ}53'00''$ y $22^{\circ}52'30''$ de Latitud Sur y los meridianos $65^{\circ}25'48''$ y $62^{\circ}15'34''$ de Longitud Oeste. Tiene una extensión territorial de 37.623 km^2 que representa 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 300 m.s.n.m.

3.2 Micro localización

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia Cercado, tiene una extensión de 2.074 km^2 de superficie. La provincia de cercado está ubicada en el Centro-Oeste del departamento. Limita al Noroeste con Méndez, al Este con Burdet O'Connor, al sur con Arce y al Suroeste con Aviles. Su capital es Tarija.

Mapa 3.2 Ubicación general de las lagunas de oxidación.



Fuente: Google Earth (2019)

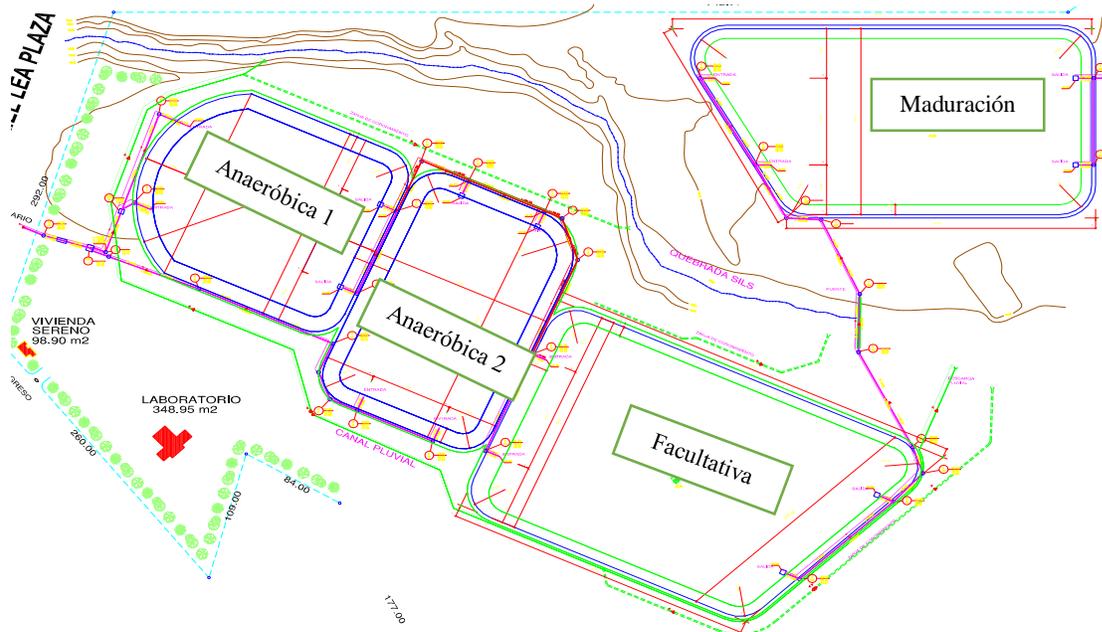
La Planta de Tratamiento se ubica entre las coordenadas 324.232 E y 7.613.779 S. en el barrio de San Luis del distrito 11 a una altura de 1.847 m.s.n.m., a 20 min del centro de la ciudad.

Las lagunas de oxidación son un sistema que comprende en la entrada a la planta un aforador tipo canal Parshall, luego se conduce el flujo a una Cámara Repartidora, que distribuye el caudal a las lagunas primarias del tratamiento que son 2 lagunas Anaerobias, estas lagunas funcionan en forma paralela, las cuales ambas conectan a una laguna Facultativa y esta a su vez se conecta a una laguna de Maduración formando un sistema seriado (Anaerobias, Facultativa y Maduración), descargando el efluente final de la Planta de Tratamiento a la quebrada Torrecillas que es un afluente del Río Guadalquivir.

El nombre que lleva cada laguna está de acuerdo con el oxígeno que poseen en su masa líquida.

Las lagunas Anaerobias son las Primarias ya que reciben y depuran directamente el líquido cloacal a un cierto grado o nivel, y no existe ningún tratamiento previo, en cambio la laguna Facultativa viene a ser una laguna Secundaria, puesto que recibe los efluentes de las lagunas Anaerobias que ya han pasado por un proceso de depuración; se tiene una mejor visualización en plano 3.

Mapa 3. 3 Lagunas de oxidación



Fuente: COSAALT LTDA

3.3 Análisis de la información disponible por COSAALT LTDA

La delimitación del área de aporte del sistema de alcantarillado en los distritos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 se realizó en base a la información disponible en COSAALT LTDA.

Dentro del estudio de la Planta de Tratamiento de San Luis se determinó un área de influencia directa conformada por los siguientes barrios: Villa Abaroa, San Marcos, 12 de Octubre, Zona cementerio, San Roque, 14 Viviendas, La pampa, Zona Central, La Pampa, mercado Campesino, La Loma de San Juan, El Carmen, 4 de Julio, Bien te Fue, Defensores del Chanco, IV Centenario, San Jorge, Aeropuerto, Pedro Antonio Flores, San Bernardo, Las Panosas, El Molino, Eduardo Avaroa, Morros Blancos, B. Attard, Moto Méndez, Rosedal, Narciso Campero, San José, 6 de Agosto, 12 de Octubre, La Florida, Libertad, 12 de Noviembre, Juan Pablo II, Juan XXIII, Palmarcito, Lourdes, 3 de Mayo, Las Pascuas, 101 familias, 15 de Junio, Los Chapacos, Defensores del Chaco, Libertad, Aranjuez, Obrajes, Panamericano, La Unión, Los Olivos, Paraíso, Carlos Wagner.

La información proporcionada se encuentra disponible para el software Excel, herramienta con la cual se continuó con el análisis y verificación del área de aporte en gabinete, posteriormente corroborada en campo.

Como parte de la información entregada por la empresa para la delimitación del área de aporte a la Planta de Tratamiento de aguas residuales de San Luis se dispuso de los archivos:

- Área de aporte de la Planta de Tratamiento de San Luis
- Ubicación de la Planta de Tratamiento de San Luis
- Delimitación por zonas de la ciudad de Tarija
- Ubicación de cámaras sépticas
- Redes de alcantarillado
- Conexiones domiciliarias de agua potable
- Catastro de clientes COSAALT LTDA

3.4 Catastro de la red de alcantarillado

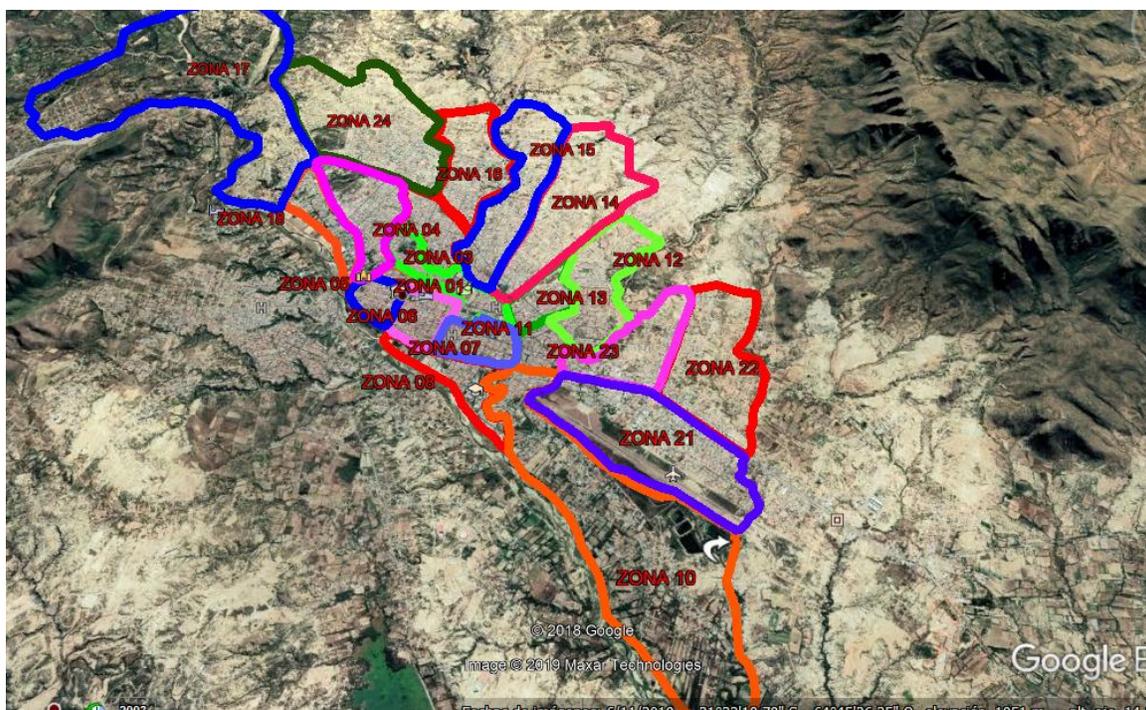
El inventario de la red de alcantarillado que se detalla a continuación consta de cámaras y redes que conforman el área de aporte corregida de la Planta de Tratamiento de San Luis, que

para su identificación y clasificación han sido registrados con la caracterización vigente en el catastro de redes de saneamiento en los distritos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

3.4.1 Mapa de delimitación

La información del área de aporte para la Planta de Tratamiento de San Luis fue realizada por COSAALT LTDA sin contar con una verificación de la red de cámaras sépticas. Conforme a la delimitación inicial el área de aporte estaba dividida en 22 zonas de aportación, para diversos estudios de la Planta de Tratamiento de San Luis.

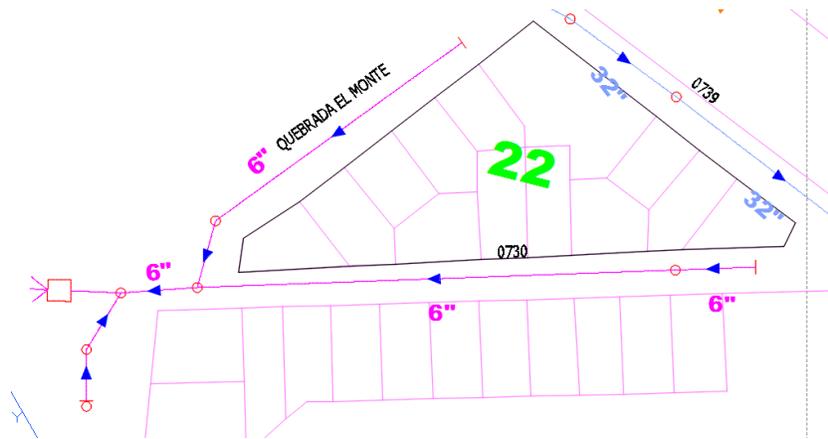
Ilustración 3.1 Información del área de aporte a la Planta de Tratamiento de San Luis



Fuente: COSAALT LTDA

Las cámaras sépticas fueron seleccionadas dado que presentan sus propias redes, como se muestra en la ilustración 3.2, se identifica la conexión de la red de alcantarillado sanitario que aporta sus aguas residuales a las cámaras sépticas para depurar en los cálculos mediante el número de medidor los consumos de agua potable de estas áreas, que no aportan a la Planta de Tratamiento de San Luis.

Ilustración 3.2 Delimitación de la red de la cámara sépticas



Fuente: COSSALT LTDA

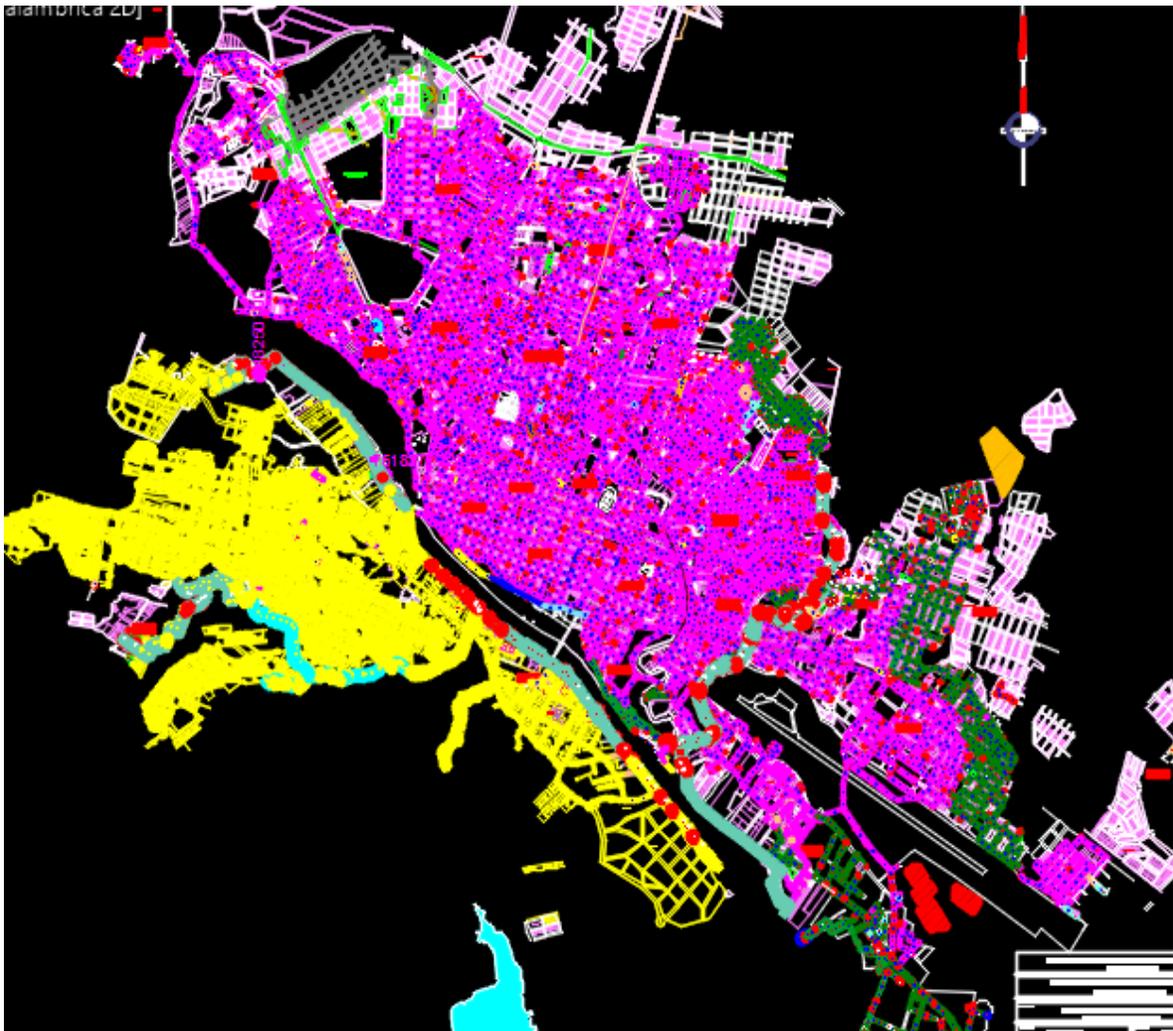
3.4.2 Determinación actualizada del área de aporte del sistema de alcantarillado que aportan sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis

En base a la información efectuada por la COSAALT LTDA, se realizó una primera modificación del mapa, separando en colores la red de colectores de las cámaras sépticas en color verde y de la red de alcantarillado que aporta sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis en color fucsia.

Esta delimitación se realizó a simple inspección, tomando en cuenta la dirección del flujo (ver plano 2 anexo III), y las áreas que aportan sus aguas residuales a 9 cámaras sépticas que existen en diferentes barrios de la ciudad.

Adicionalmente, con la verificación en campo y según la dirección del flujo se corrigió el área de aporte y como resultado del análisis se obtuvo la siguiente delimitación:

Ilustración 3.3 Delimitación del área de aporte a la Planta de Tratamiento de San Luis



Fuente: COSAALT LTDA

La información proporcionada por la Cooperativa COSAALT LTDA, los caudales de aguas residuales de llegada a la Planta de Tratamiento están aforados mediante un canal Parshall, donde se lectura un tirante cada hora de 5:00 a 20:00, de estas lecturas se calcula un promedio por día y posteriormente un promedio mensual (datos y cálculos en ANEXOS II).

Fotografía 3.2 Canal Parshall al ingreso a la Planta de Tratamiento



Fuente: Elaboración propia

La ecuación para el cálculo de caudales de los tirantes medidos en el canal Parshall se calibra de acuerdo a las dimensiones de dicho aforador.

El canal Parshall de estudio tiene una garganta de 0,445 m y según la bibliografía la ecuación es la siguiente:

$$Q = K H^n \quad (3.1)$$

Y siendo el valor de "n" y "K" de la Tabla 2.9 se presentan los valores del coeficiente "K" para los sistemas métrico e inglés, así como los del exponente "n", el ancho del aforador de estudio no se encuentra en tablas, por lo tanto, se interpola los valores para obtener la siguiente ecuación:

$$Q = 1,025 H^{1,537} \quad (3.2)$$

Dónde: $Q = \text{l/s}$
 $H = \text{cm}$

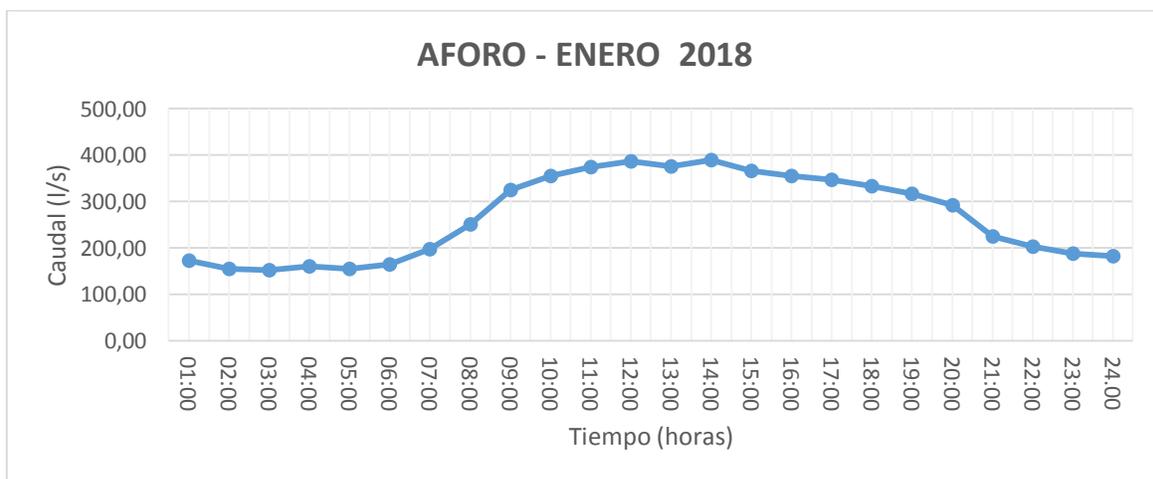
En los siguientes gráficos se muestra los caudales de aforo promedio por hora de todo un mes de lectura. (Cálculos en Anexo II)

Tabla 3.1 Aforos - Enero 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	172,58
02:00	154,13
03:00	151,59
04:00	160,57
05:00	155,24
06:00	164,09
07:00	197,26
08:00	250,35
09:00	324,15
10:00	355,25
11:00	374,28
12:00	386,89
14:00	389,67
15:00	366,08
16:00	355,25
17:00	346,05
18:00	332,40
19:00	315,97
20:00	292,21
21:00	224,04
22:00	202,04
23:00	187,97
24:00	182,30
Máximo	389,67
Mínimo	155,24

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.1 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Enero 2018



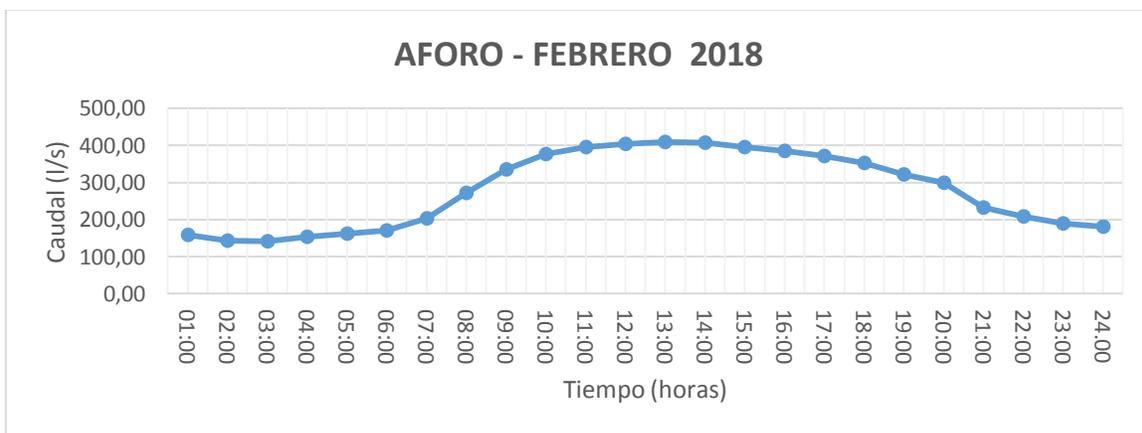
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.2 Aforos - Febrero 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	159,19
02:00	142,90
03:00	142,01
04:00	153,47
05:00	162,77
06:00	170,55
07:00	202,28
08:00	272,27
09:00	334,93
10:00	376,90
11:00	394,45
12:00	404,10
13:00	409,54
14:00	407,60
15:00	395,99
16:00	384,88
17:00	371,61
18:00	352,93
19:00	321,91
20:00	298,49
21:00	232,99
22:00	207,49
23:00	189,33
24:00	181,22
Máximo	409,54
Mínimo	142,01

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.2 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Febrero 2018



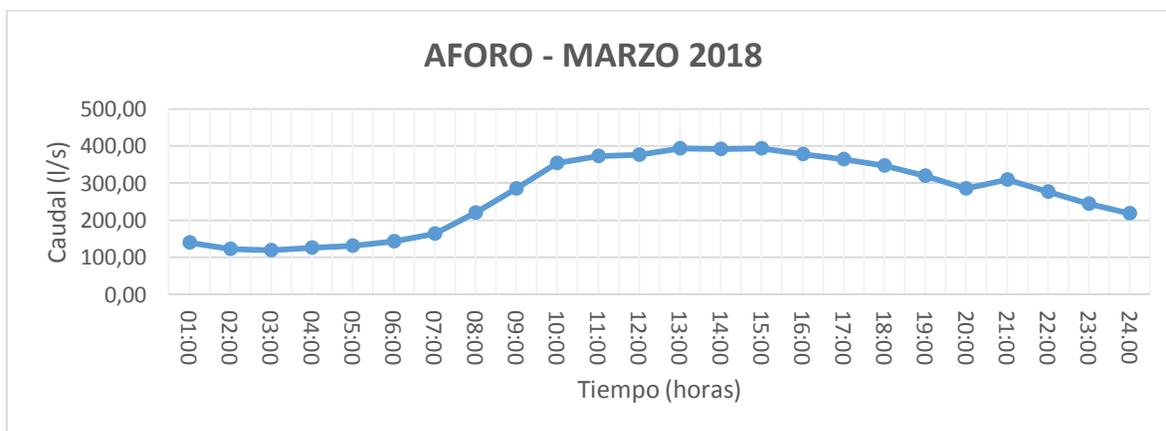
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.3 Aforos - Marzo 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	138,56
02:00	121,20
03:00	119,24
04:00	125,86
05:00	130,01
06:00	142,18
07:00	163,44
08:00	220,43
09:00	284,39
10:00	352,89
11:00	373,16
12:00	375,21
13:00	393,80
14:00	391,37
15:00	392,41
16:00	377,94
17:00	364,67
18:00	345,89
19:00	319,00
20:00	284,39
21:00	308,19
22:00	275,68
23:00	244,31
24:00	217,74
Máximo	393,80
Mínimo	130,01

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.3 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Marzo 2018



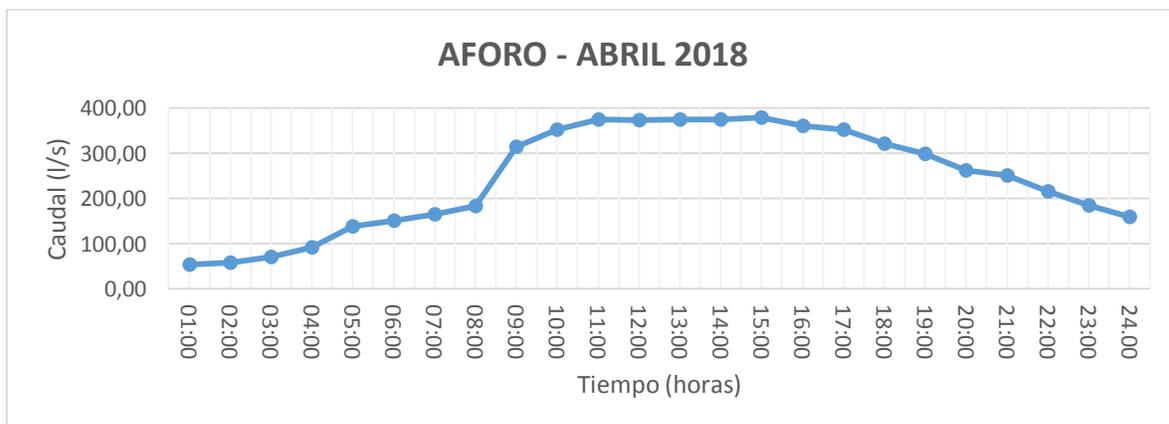
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.4 Aforos - Abril 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	54,43
02:00	58,45
03:00	71,33
04:00	92,44
05:00	138,33
06:00	150,65
07:00	164,93
08:00	183,23
09:00	314,56
10:00	351,87
11:00	374,56
12:00	373,85
13:00	374,56
14:00	374,56
15:00	378,44
16:00	361,23
17:00	352,56
18:00	320,57
19:00	299,38
20:00	262,54
21:00	250,75
22:00	215,88
23:00	184,98
24:00	159,46
Máximo	378,44
Mínimo	138,33

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.4 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Abril 2018



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.5 Aforos - Mayo 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	54,05
02:00	57,69
03:00	68,56
04:00	85,93
05:00	108,58
06:00	119,60
07:00	136,78
08:00	174,17
09:00	239,87
10:00	295,67
11:00	298,83
12:00	308,38
13:00	295,36
14:00	296,30
15:00	279,11
16:00	276,95
17:00	241,93
18:00	239,87
19:00	207,96
20:00	188,37
21:00	182,66
22:00	160,44
23:00	143,10
24:00	131,81
Máximo	308,38
Mínimo	108,58

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.5 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Mayo 2018



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.6 Aforos – Junio 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	58,38
02:00	58,02
03:00	64,78
04:00	77,92
05:00	91,17
06:00	100,11
07:00	130,81
08:00	167,89
09:00	220,52
10:00	256,30
11:00	283,81
12:00	289,29
13:00	307,93
14:00	309,92
15:00	315,23
16:00	314,56
17:00	307,93
18:00	292,86
19:00	279,32
20:00	249,49
21:00	133,17
22:00	88,65
23:00	47,26
24:00	13,53
Máximo	315,23
Mínimo	13,53

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.6 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Junio 2018



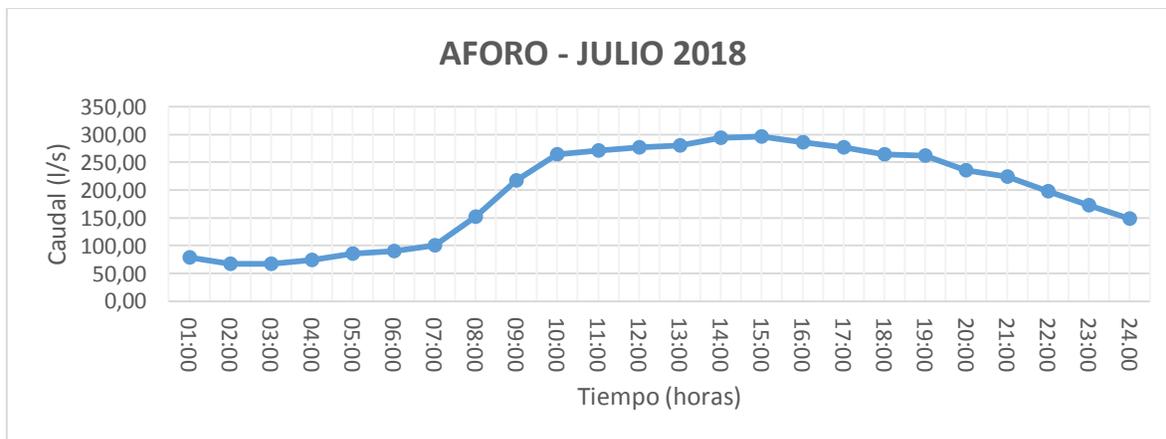
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.7 Aforos - Julio 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	78,62
02:00	67,62
03:00	66,84
04:00	74,23
05:00	85,12
06:00	90,59
07:00	100,11
08:00	152,18
09:00	217,01
10:00	264,39
11:00	270,80
12:00	276,02
13:00	280,04
14:00	293,78
15:00	296,62
16:00	285,64
17:00	276,02
18:00	264,39
19:00	261,36
20:00	235,76
21:00	224,44
22:00	197,61
23:00	172,15
24:00	148,95
Máximo	296,62
Mínimo	66,84

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.7 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Julio 2018



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.8 Aforos - Agosto 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	82,56
02:00	75,63
03:00	78,28
04:00	88,49
05:00	96,39
06:00	109,71
07:00	125,00
08:00	174,17
09:00	237,23
10:00	270,19
11:00	290,33
12:00	296,94
13:00	313,83
14:00	316,41
15:00	298,83
16:00	285,64
17:00	274,79
18:00	261,66
19:00	252,63
20:00	237,81
21:00	283,72
22:00	267,18
23:00	253,30
24:00	243,47
Máximo	316,41
Mínimo	75,63

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.8 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Agosto 2018



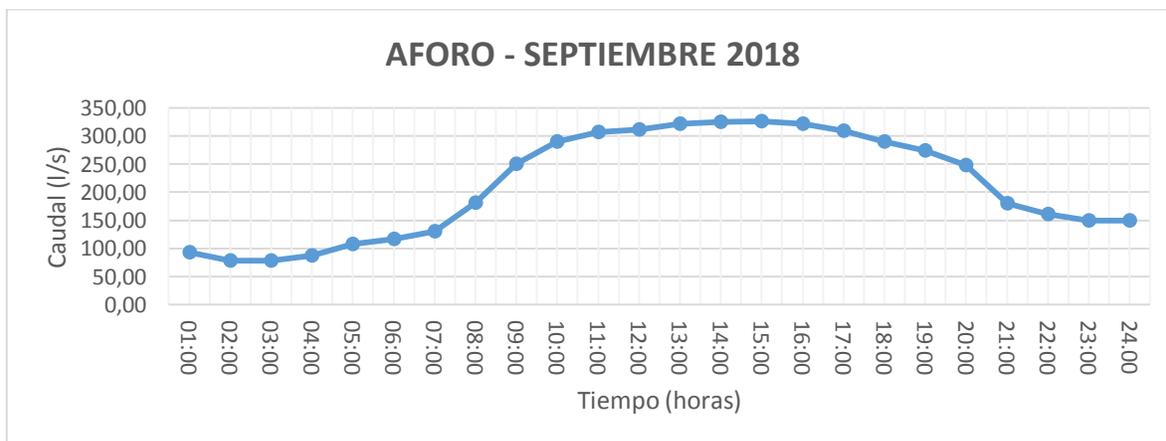
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.9 Aforos - Septiembre 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	92,69
02:00	78,33
03:00	77,72
04:00	87,24
05:00	107,50
06:00	117,02
07:00	129,87
08:00	181,21
09:00	250,61
10:00	290,20
11:00	306,77
12:00	311,56
13:00	321,22
14:00	324,69
15:00	325,39
16:00	321,57
17:00	308,48
18:00	290,20
19:00	273,60
20:00	248,38
21:00	179,75
22:00	160,77
23:00	149,69
24:00	149,41
Máximo	325,39
Mínimo	77,72

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.9 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Septiembre 2018



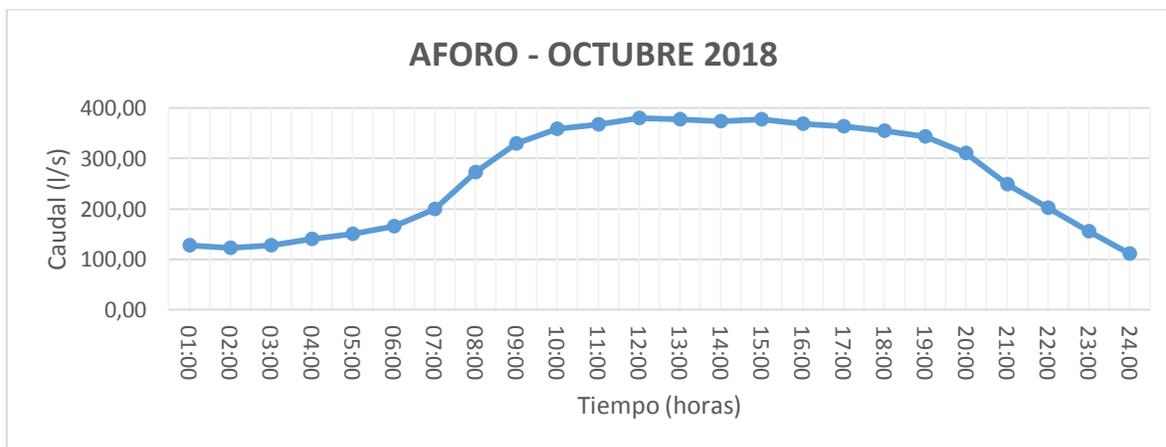
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.10 Aforos - Octubre 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	128,03
02:00	122,37
03:00	128,30
04:00	140,24
05:00	150,42
06:00	165,52
07:00	199,33
08:00	272,64
09:00	329,40
10:00	357,59
11:00	366,70
12:00	379,65
13:00	377,26
14:00	373,16
15:00	376,57
16:00	368,40
17:00	363,32
18:00	353,90
19:00	342,57
20:00	310,62
21:00	248,60
22:00	202,10
23:00	155,09
24:00	111,20
Máximo	379,65
Mínimo	111,20

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.10 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Octubre 2018



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.11 Aforos - Noviembre 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	189,16
02:00	158,94
03:00	151,31
04:00	153,92
05:00	156,94
06:00	171,41
07:00	197,87
08:00	257,86
09:00	314,23
10:00	355,33
11:00	369,63
12:00	373,50
13:00	377,74
14:00	381,99
15:00	380,92
16:00	381,99
17:00	378,44
18:00	363,68
19:00	342,92
20:00	309,59
21:00	352,84
22:00	352,87
23:00	363,04
24:00	386,66
Máximo	386,66
Mínimo	151,31

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.11 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Noviembre 2018



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.12 Aforos - Diciembre 2018

Promedio Mensual	
Hora	Caudal (l/s)
01:00	238,68
02:00	197,48
03:00	176,11
04:00	168,98
05:00	165,26
06:00	178,42
07:00	194,92
08:00	244,00
09:00	299,15
10:00	337,61
11:00	357,25
12:00	361,29
13:00	368,74
14:00	364,67
15:00	368,74
16:00	366,36
17:00	359,94
18:00	351,22
19:00	335,64
20:00	310,30
21:00	241,33
22:00	200,24
23:00	178,77
24:00	171,34
Máximo	368,74
Mínimo	165,26

Fuente: COSAALT LTDA.

Gráfico 3.12 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Diciembre 2018



Fuente: Elaboración Propia

Para comprobar datos se aforo de las aguas residuales (Datos en anexo II, Tabla 13) en la entrada a la Planta de Tratamiento de San Luis en el canal Parshall por 7 días cada hora de 06:00 a 20:00. A continuación, se grafica los caudales Vs tiempo, para su mejor ilustración.

Tabla 3.13 Aforos de una semana (l/s) 2019

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
06:00	126,97	135,55	118,58	118,58	135,55	126,97	118,58
07:00	135,55	200,88	181,31	144,33	162,45	144,33	126,97
08:00	221,15	252,79	200,88	200,88	242,08	221,15	221,15
09:00	308,73	356,21	242,08	285,88	332,17	308,73	285,88
10:00	356,21	368,45	368,45	332,17	356,21	356,21	356,21
11:00	368,45	356,21	356,21	344,12	356,21	356,21	356,21
12:00	368,45	368,45	368,45	356,21	356,21	356,21	356,21
13:00	380,84	368,45	368,45	356,21	356,21	356,21	356,21
14:00	393,36	380,84	393,36	368,45	380,84	380,84	380,84
15:00	406,03	356,21	393,36	368,45	380,84	380,84	380,84
16:00	393,36	344,12	380,84	344,12	368,45	380,84	368,45
17:00	368,45	332,17	368,45	344,12	356,21	356,21	356,21
18:00	356,21	332,17	344,12	344,12	344,12	344,12	344,12
19:00	356,21	320,37	344,12	344,12	344,12	344,12	344,12
20:00	332,17	308,73	332,17	320,37	332,17	320,37	320,37
Promedio	324,81	318,78	317,39	304,81	320,26	315,56	311,49
Máximo	406,03	380,84	393,36	368,45	380,84	380,84	380,84
Mínimo	126,97	135,55	118,58	118,58	135,55	126,97	118,58

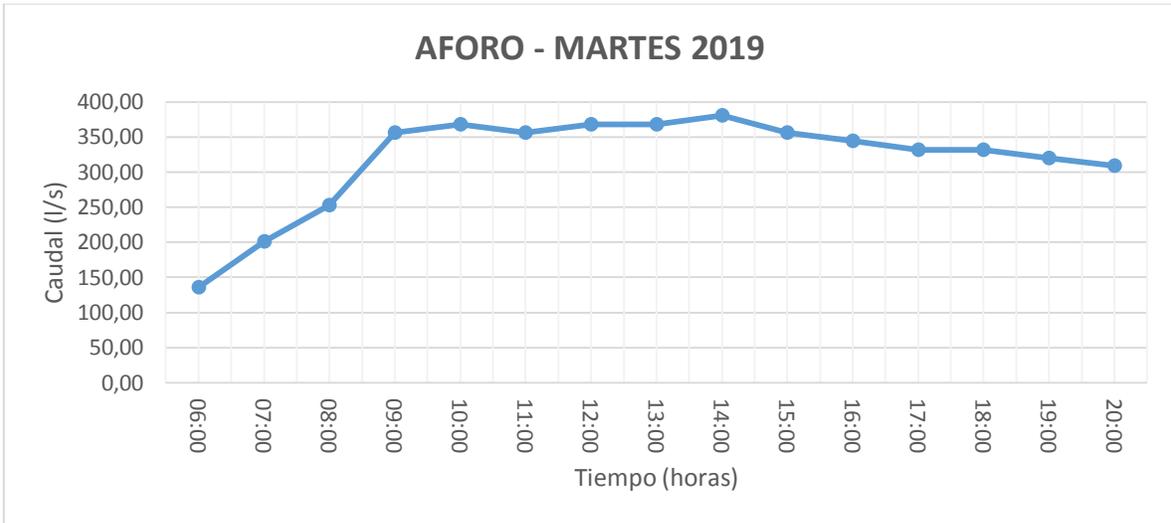
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.13 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Lunes 2019



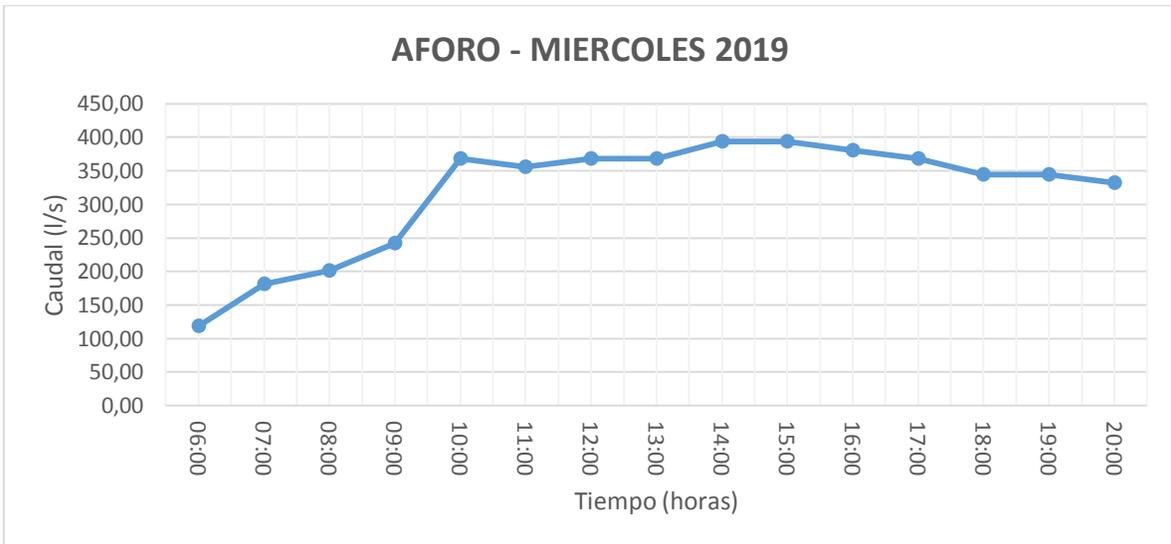
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.14 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Martes 2019



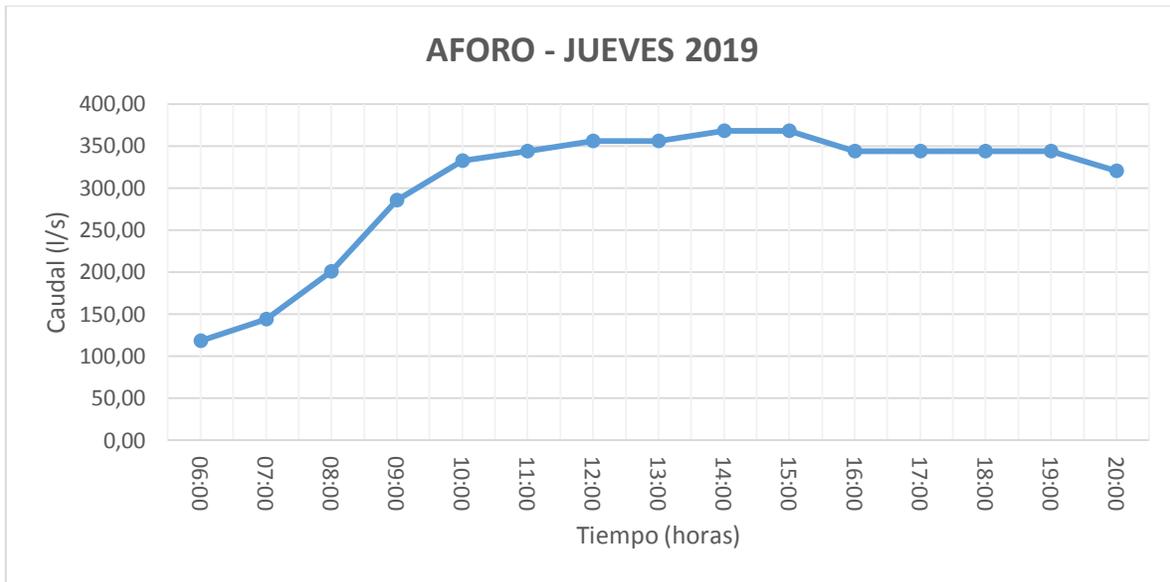
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.15 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Miércoles 2019



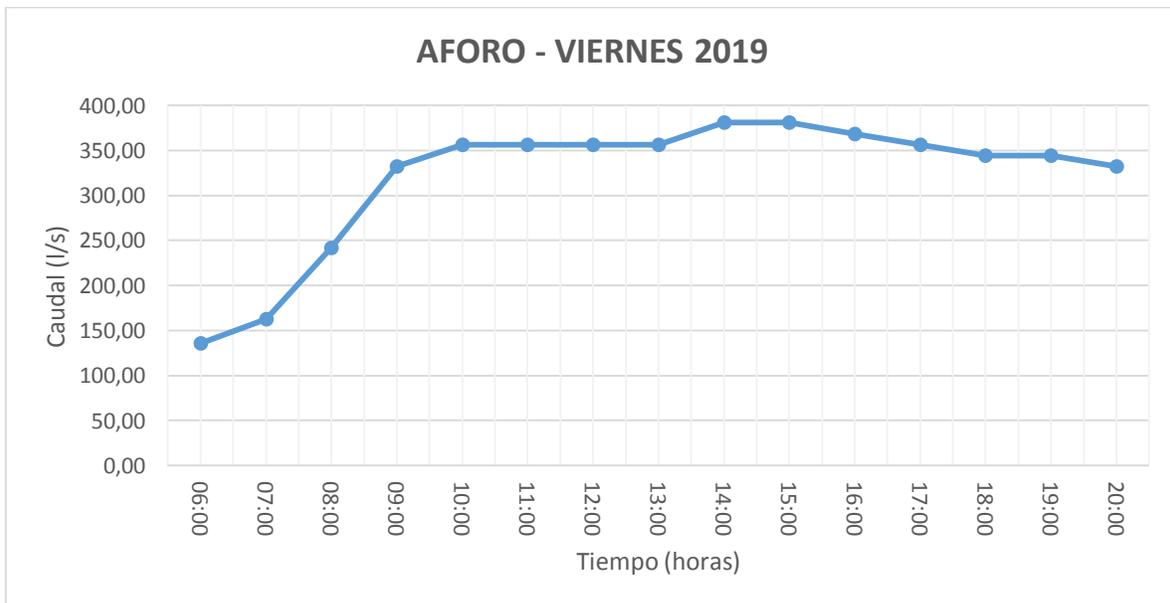
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.16 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Jueves 2019



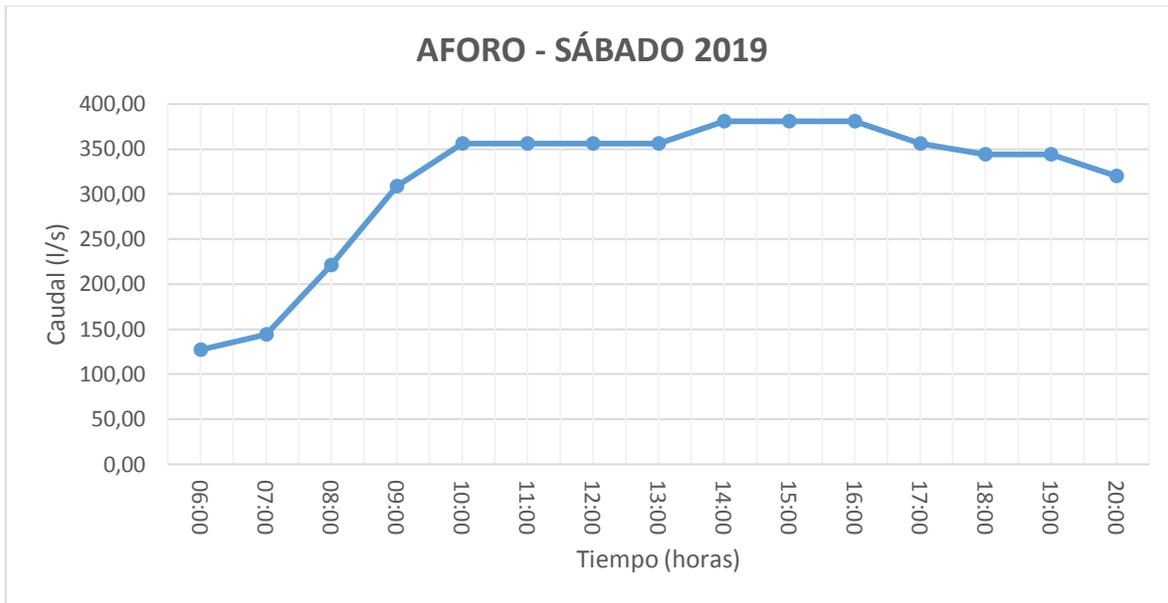
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.17 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Viernes 2019



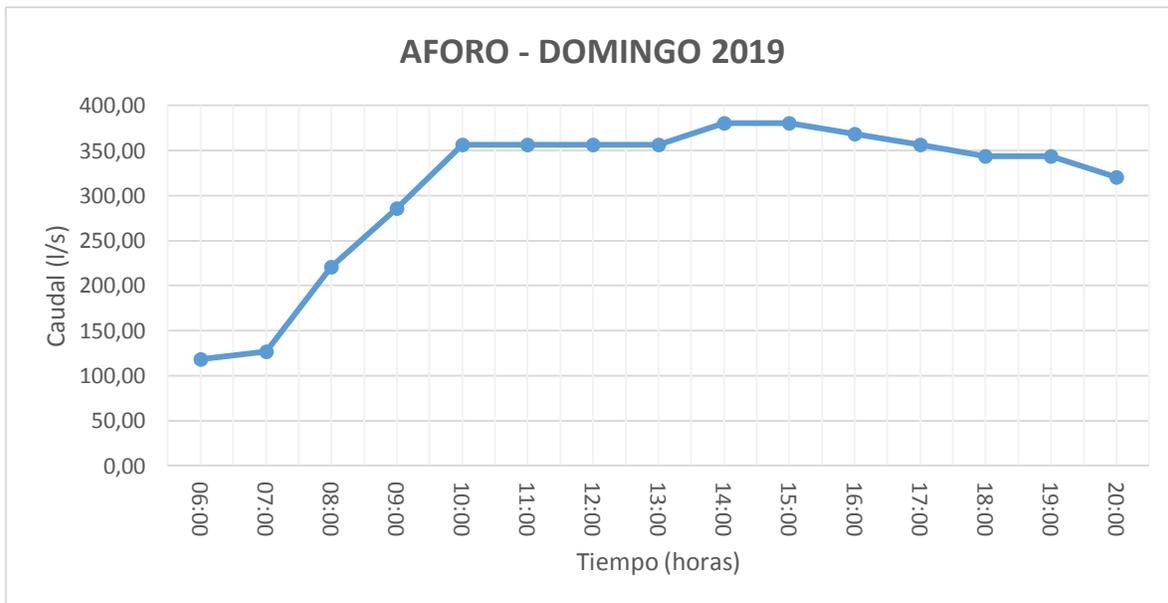
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.18 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Sábado 2019



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3.19 Aguas Residuales, Caudal vs. Tiempo – Domingo 2019



Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3.13 se tiene los caudales máximos y mínimo del día, siendo la hora pico 15:00 flujo máximo, así como también se puede observar en las gráficas tiene una secuencia

progresiva de la llegada de caudales a la Planta de Tratamiento de San Luis, siendo los mayores caudales de 9:00 a 19:00

Tabla 3.14 Resumen de Caudal de aguas residuales – gestión 2018

Caudal	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
(l/s)	318,90	317,00	319,00	285,40	225,80	210,10
Caudal	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
(l/s)	227,90	254,70	247,20	311,40	349,20	326,40

Fuente: COSAALT LTDA.

CAPÍTULO IV: CUANTIFICACIÓN DEL CAUDAL DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL ÁREA QUE APORTAN SUS AGUAS RESIDUALES A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE SAN LUIS

4.1 Análisis información catastral

La delimitación definitiva del área de aporte de la Planta de Tratamiento de San Luis, fue necesario para cuantificación de consumos de agua potable. El motivo por el cual se requería el área de aporte actualizada y definitiva era para considerar únicamente a los predios que forman parte del área de aporte para la Planta de Tratamiento de San Luis.

La información entregada consistía en el catastro gráfico de los clientes que está manejado por el departamento de catastro y facturación mediante puntos de ubicación dentro del sistema de información geográfico comercial.

El análisis de la información catastral se lo realizó únicamente de los predios que conforman el área de aporte. Para esto se clasificó por el número de medidor y se determinó la cantidad de predios.

4.2 Análisis de base de datos de micro medición realizado por COSAALT LTDA

Los datos suministrados por COSAALT LTDA fueron los consumos de agua potable del año 2018 en base al área de aporte actualizada de la Planta de Tratamiento de San Luis.

Para el año 2018 se dispone de los consumos de agua potable de los meses que se realizó la medición correspondiente en: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Los datos de las conexiones al sistema de agua potable correspondientes al área de aporte actualizada fueron entregados en el software AutoCAD y el consumo de agua potable en cada conexión se emitió en formato Microsoft Excel. (ver anexos I).

Con respecto a la información entregada en formato MS Excel, está organizada en:

- ✓ Mes facturado
- ✓ Conexión domiciliaria
- ✓ Número de cuenta
- ✓ Consumo en m³/mes

Para el cálculo del Coeficiente de Retorno de aguas residuales es necesario considerar que los predios con conexiones al sistema de agua potable dispongan una conexión al sistema de alcantarillado, por lo cual en base a la información entregada por el departamento de facturación de Cooperativa COSAALT LTDA se consideraron los siguientes aspectos:

Tabla 4.1 Observaciones por código de alcantarillado

Código de alcantarillado	Se considera para el cálculo del Coeficiente de Retorno de aguas residuales Sí/No
Tiene alcantarillado	Si
No tiene alcantarillado	No
Cámaras séptica	No

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Cuantificación de consumos de agua potable

La cuantificación del consumo de agua potable se organizó por zonas, debido a que existe conexiones sin medidores.

Para el cálculo del Coeficiente de Retorno de aguas residuales es necesario considerar que los predios con conexiones al sistema de agua potable dispongan una conexión al sistema de alcantarillado, en el cual se identifica con 22 zonas las que aportan sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis (Tabla 2.11), las zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24 y 27.

En los datos proporcionados de consumo de agua potable existe conexiones que no cuentan con medidores por lo que no existe registro de estos consumos, pero como están conexiones están en funcionamiento, se realiza una estimación de volumen de acuerdo a las zonas.

Para el cálculo de consumos de agua potable de los datos faltantes, por zonas se realizó un promedio aritmético, que consiste en la relación entre la suma aritmética de un conjunto de números dividida para el número de datos. Para esto se sumaron todos los datos correspondientes a los consumos de m³/mes por zonas, excluyendo aquellos predios que no aportan al sistema de alcantarillado (como ser el área que aporta sus aguas residuales a cámaras sépticas, áreas donde no llega la red de alcantarillado sanitario, pero existe consumo de agua potable), y dividiendo este valor para el número total de predios, con este promedio

obtenido por zonas se completó el volumen faltante de las conexiones que no cuentan con un medidor.

Ecuación Media Aritmética

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} = \frac{\sum N}{N}$$

Donde:

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ = Números (consumo de cada conexión)

N = Conjunto de números de estudio (número total de conexiones)

Para la transformación de consumo mensual total, se realizó únicamente la suma del volumen por mes medido por los medidores de todas las conexiones del área que aportan al sistema de alcantarillado, puesto que COSAALT LTDA no dispone de información con la resolución suficiente para realizar un cálculo de Coeficiente de Retorno para aguas residuales con un método diferente al aplicado. Sin embargo, el resultado es una estimación de consumo representativa de todo un mes.

Fotografía 4.1 Medidor de Agua Potable



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2 Consumo de agua potable – gestión 2018

Mes	Consumo Zona 1 (m ³ /mes)	Consumo Zona 2 (m ³ /mes)	Consumo Zona 3 (m ³ /mes)	Consumo Zona 4 (m ³ /mes)	Consumo Zona 5 (m ³ /mes)	Consumo Zona 6 (m ³ /mes)	Consumo Zona 7 (m ³ /mes)
Enero	44.427	51.946	32.628	65.890	30.238	38.122	33.991
Febrero	39.478	51.204	51.204	61.467	28.879	38.226	31.301
Marzo	40.239	50.560	32.252	63.955	31.732	38.589	33.886
Abril	44.692	55.361	34.919	64.097	29.661	37.407	36.622
Mayo	40.880	53.647	31.961	64.118	30.206	40.641	33.440
Junio	41.236	54.872	34.275	64.430	29.793	38.525	35.268
Julio	39.965	53.439	34.683	65.596	29.499	38.606	36.498
Agosto	40.546	54.571	30.921	69.517	30.966	42.598	36.811
Septiembre	43.925	57.458	33.728	68.447	30.834	42.196	33.227
Octubre	38.833	49.602	31.247	61.897	28.224	39.058	35.339
Noviembre	43.074	54.682	35.126	71.682	33.732	42.531	34.429
Diciembre	42.294	51.219	32.059	60.867	29.346	41.503	33.592
Número de conexiones	2.118	1.765	1.435	2.550	1.052	1.460	1.312
Área (km²)	678,61	865,01	36,62	158,41	31,68	49,22	49,01
Mes	Consumo Zona 8 (m ³ /mes)	Consumo Zona 10 (m ³ /mes)	Consumo Zona 11 (m ³ /mes)	Consumo Zona 12 (m ³ /mes)	Consumo Zona 13 (m ³ /mes)	Consumo Zona 14 (m ³ /mes)	Consumo Zona 15 (m ³ /mes)
Enero	20.807	91.355	38.943	52.771	50.176	29.200	44.841
Febrero	20.549	98.652	31.488	51.254	45.959	29.546	43.486
Marzo	20.350	97.010	37.547	55.989	51.606	30.207	49.410
Abril	24.138	94.666	37.435	53.371	59.225	30.959	43.918
Mayo	21.601	89.632	50.361	52.736	47.653	24.538	43.259
Junio	26.010	75.453	39.577	55.547	39.386	30.421	43.130
Julio	27.959	93.015	36.978	54.693	41.656	29.097	40.028
Agosto	27.754	82.336	33.640	58.739	48.997	27.237	49.290
Septiembre	26.441	88.952	48.697	52.574	42.031	32.037	43.221
Octubre	26.583	95.264	37.027	52.879	48.320	31.127	46.209
Noviembre	27.112	92.578	48.673	58.208	51.043	29.835	48.321
Diciembre	27.965	96.032	49.180	49.172	46.311	29.121	42.560
Número de conexiones	588	1.754	1.802	2.043	1.768	1.012	2.014
Área (km²)	88,86	172,91	40,03	137,89	65,86	64,17	192,20

Fuente: COSAALT LTDA.

Mes	Consumo Zona 16 (m³/mes)	Consumo Zona 17 (m³/mes)	Consumo Zona 18 (m³/mes)	Consumo Zona 21 (m³/mes)	Consumo Zona 22 (m³/mes)	Consumo Zona 23 (m³/mes)	Consumo Zona 24 (m³/mes)	Consumo Zona 27 (m³/mes)
Enero	29.933	24.713	30.689	28.730	12.804	21.798	58.943	4.964
Febrero	31.386	25.395	32.116	27.004	12.211	21.427	63.771	5.403
Marzo	33.908	23.954	33.191	26.134	12.488	17.700	55.540	6.366
Abril	33.790	23.450	32.852	29.975	12.416	21.501	63.166	5.028
Mayo	31.466	25.857	27.399	25.831	12.501	17.975	60.660	4.714
Junio	30.348	23.979,7	32.074	29.932	12.959	25.203	61.895	6.442
Julio	29.927	23.118,4	33.941	29.964	14.951	25.983	63.812	5.881
Agosto	37.104	25.917,1	34.038	30.155	15.551	27.643	60.364	5.871
Septiembre	32.719	25.137,8	30.859	31.964	15.592	23.835	66.442	5.626
Octubre	35.204	25.625,5	31.788	29.029	13.093	20.640	66.385	4.885
Noviembre	36.355	24.631,2	30.058	29.349	15.940	23.308	66.458	5.500
Diciembre	34.357	21.739,9	28.054	25.979	14.979	20.726	59.000	5.174
Número de conexiones	2.062	1.017	1.304	1.003	384	917	2.895	170
Área (km²)	154,64	206,57	81,91	277,05	13,96	70,88	267,86	51,56

Fuente: COSAALT LTDA.

Las industrias y otros como ser lavanderías, bodegas, etc. cuentan con pozos privados, pero recibe la Planta de Tratamiento el aporte autorizado, pero no monitoreado de aguas industriales, por lo tanto, se toma en cuenta para el cálculo de Coeficiente de Retorno, estos datos de consumo de agua potable.

COSAALT LTDA se encarga de medir este volumen de consumo a pesar de ser pozos privados ya que por ley deben pagar una tarifa.

CAPÍTULO V: DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RETORNO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL ÁREA DE APOORTE DE LA PLATA DE TRATAMIENTO DE SAN LUIS

5.1 Consumos de agua potable

Los consumos de agua potable son el resultado de la suma individual de los consumos de cada predio para las diferentes zonas y los meses de análisis.

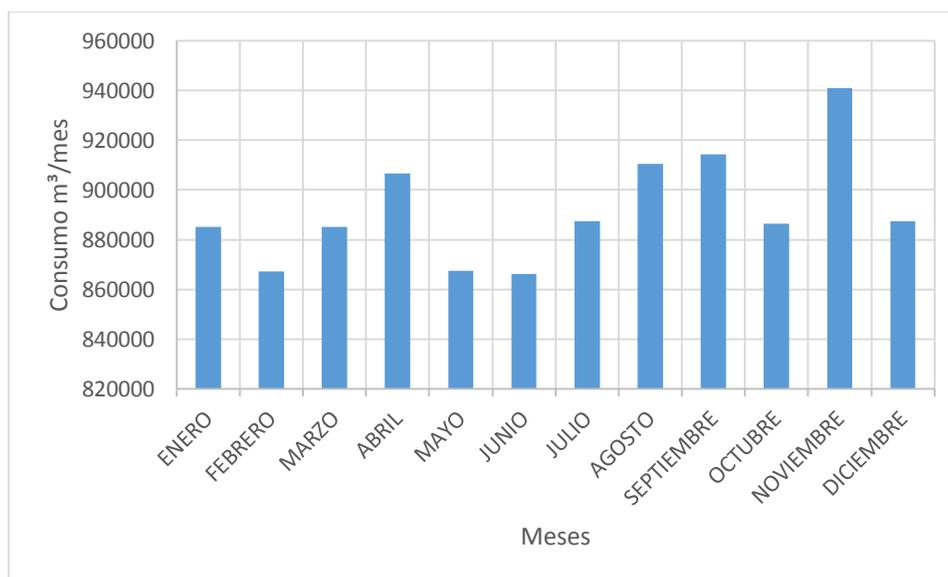
Tabla 5.1 Consumos de agua potable en m³/mes 2018

ZONA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
1	44427	39478	40239	44692	40880	41236	39965	40546	43925	38833	43074	42294
2	51946	51204	50560	55361	53647	54872	53439	54571	57458	49602	54682	51219
3	32628	31702	32252	34919	31961	34275	34683	30921	33728	31247	35126	32059
4	65890	61467	63955	64097	64118	64430	65596	69517	68447	61897	71682	60867
5	30238	28879	31732	29661	30206	29793	29499	30966	30834	28224	33732	29346
6	38122	38226	38589	37407	40641	38525	38606	42598	42196	39058	42531	41503
7	33991	31301	33886	36622	33440	35268	36498	36811	33227	35339	34429	33592
8	20807	20549	20350	24138	21601	26010	27959	27754	26441	26583	27112	27965
10	91355	98652	97010	94666	89632	75453	93015	82336	88952	95264	92578	96032
11	38943	31488	37547	37435	50361	39577	36978	33640	48697	37027	48673	49180
12	52771	51254	55989	53371	52736	55547	54693	58739	52574	52879	58208	49172
13	50176	45959	51606	59225	47653	39386	41656	48997	42031	48320	51043	46311
14	29200	29546	30207	30959	24538	30421	29097	27237	32037	31127	29835	29121
15	44841	43486	49410	43918	43259	43130	40028	49290	43221	46209	48321	42560
16	29933	31386	33908	33790	31466	30348	29927	37104	32719	35204	36355	34357
17	24713	25395	23954	23450	25857	23980	23118	25917	25138	25626	24631	21740
18	30689	32116	33191	32852	27399	32074	33941	34038	30859	31788	30058	28054
21	28730	27004	26134	29975	25831	29932	29964	30155	31964	29029	29349	25979
22	12804	12211	12488	12416	12501	12959	14951	15551	15592	13093	15940	14979
23	21798	21427	17700	21501	17975	25203	25983	27643	23835	20640	23308	20726
24	58943	63771	55540	63166	60660	61895	63812	60364	66442	66385	66458	59000
27	4964	5403	6366	5028	4714	6442	5881	5871	5626	4885	5500	5174
Industria s y otros	47256	45196	42423	37915	36420	35513	38240	39834	38291	38059	38347	46144
Total (m³)	885165	867100	885036	906564	867496	866269	887529	910400	914234	886318	940972	887374

Fuente: COSAALT LTDA.

En el siguiente diagrama de barras se representa los datos reportados en la tabla 5.1 (Consumo total de agua potable), con el propósito de tener un panorama de los consumos de agua potable por meses:

Ilustración 5.1 Diagrama Consumo de agua potable por mes



Fuente: Elaboración Propia

5.2 Producción de aguas residuales

El caudal calculado mediante la ecuación calibrada con los tirantes medidos del canal Parshall a la entrada de la Planta de Tratamiento esta expresado en unidades de litro por segundo (l/s), como se resume en la tabla 3.14; sin embargo, más adelante se realizará una conversión de unidades del caudal de aguas residuales en metro cúbico por mes (m³/mes) con el objetivo de poder relacionar el caudal de agua residual con el consumo mensual de los usuarios de las zonas de aporte.

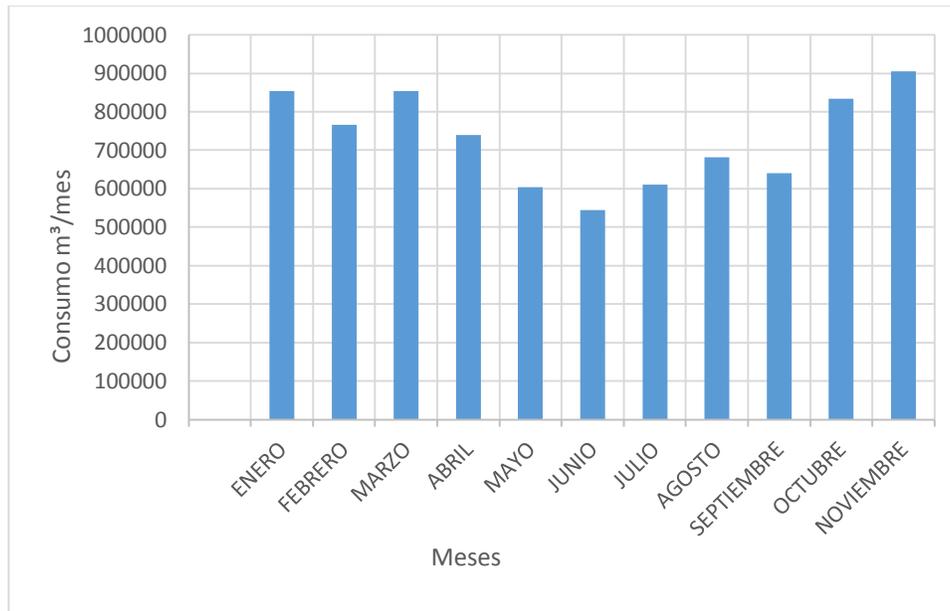
Para la transformación de caudal mensual de l/s a m³/mes, se realizó únicamente una conversión de unidades, obteniendo lo siguiente:

Tabla 5.2 Volumen de aguas residuales – gestión 2018

Volumen	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
m ³ /mes	854.142	766.886,4	854.409,6	739.756,8	604.782,7	544.579,2
Volumen	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
m ³ /mes	610.407	682.188	640.742	834.054	905.126	874.230

Fuente: COSAALT LTDA.

Ilustración 4.2 Diagrama caudal de aguas residuales por mes-gestión 2018



Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama de barras se puede observar que los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril tienen mayor aporte de aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis.

3.1 Determinación del Coeficiente de Retorno de aguas residuales

Para la determinación del Coeficiente de Retorno de aguas residuales, se efectuó una relación entre el volumen de aguas residuales promedio y el volumen del consumo mensual, obteniendo un valor para cada mes del área de aporte.

$$\text{Coeficiente de Retorno} = \frac{\text{Volumen de aguas residuales} \left(\frac{m^3}{mes}\right)}{\text{Volumen consumo de agua potable} \left(\frac{m^3}{mes}\right)} \quad (5.1)$$

Tabla 5.3 Coeficiente de Retorno de aguas residuales

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Vol. Aguas residuales (m ³ /mes)	854.142	766.886,4	854.409,6	739.756,8	604.782,7	544.579,2
Vol. Consumo de agua potable (m ³ /mes)	885.165	867.100	885.036	906.564	867.496	866.269
Coeficiente de Retorno	0,96	0,88	0,97	0,82	0,70	0,63
Mes	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
Vol. Aguas residuales (m ³ /mes)	610.407	682.188	640.742	834.054	905.126	874.230
Vol. Consumo de agua potable (m ³ /mes)	887.529,4	910.400,1	914.233,8	886.317,5	940.972,2	887.373,9
Coeficiente de Retorno	0,69	0,75	0,70	0,94	0,96	0,99

Fuente: Elaboración propia

El Coeficiente de Retorno calculado en comparación al Coeficiente de Retorno teórico extraído de la Norma Boliviana 688 son elevados, por lo que la Planta de Tratamiento está trabajando por encima de su capacidad nominal de diseño.

El Coeficiente de Retorno, un valor adimensional, se encuentra por debajo de uno (1), lo que demuestra que no toda el agua contabilizada retorna al sistema de alcantarillado, debido a factores como evaporación, riego de jardines, lavado de autos, consumo propio de los usuarios, entre otros, sin embargo, aún son valores elevados.

Nuestro medio no cuenta con datos históricos precisos que ayuden a la precisión del cálculo, como, por ejemplo, no se tiene el tipo de material de las tuberías de la red de alcantarillado por tramos, para poder estimar una filtración de aguas subterráneas, no cuenta con otro punto de medición fuera del canal Parshall a la entrada de la Planta de Tratamiento, a menor área sería menor el margen de error en los cálculos.

Fotografía 5.1 Cámaras de inspección destruidas



Fuente: Elaboración propia

Además, se tiene falencias al momento de medir el tirante de agua, como se observa en la en la fotografía 5.2 se mide el caudal con una tabla de madera común y posteriormente con un flexómetro.

Fotografía 5.2 Medición del caudal de aguas residuales



Fuente: Elaboración propia

Por motivos de logística y a la fecha de realización del estudio no se pudo evaluar con otros equipos de medición, se tomó como referencia el promedio del consumo de agua potable del área en mención, como tampoco se pudo constatar la cantidad de agua de lluvia que ingresa al sistema de alcantarillado.

En los datos de consumo de agua potable existe un 10% aproximadamente que no cuenta con un medidor en el área de estudio, para cálculos de estudio se realizó un promedio por zona para completar los datos faltantes.

Tomando en cuenta los meses enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, se tiene un Coeficiente de Retorno promedio de 0,83, valor que se puede considerar en diseño del caudal de aguas residuales domesticas hasta un nuevo estudio.

CONCLUSIONES

1. El estudio se realizó en los Distritos del 1 al 11 de la ciudad de Tarija, que comprende los barrios: Villa Abaroa, San Marcos, 12 de octubre, Zona cementerio, San Roque, 14 Viviendas, La pampa, Zona Central, La Pampa, mercado Campesino, La Loma de San Juan, El Carmen, 4 de Julio, Bien te Fue, Defensores del Chanco, IV Centenario, San Jorge, Aeropuerto, Pedro Antonio Flores, San Bernardo, Las Panosas, El Molino, Eduardo Avaroa, Morros Blancos, B. Attard, Moto Méndez, Rosedal, Narciso Campero, San José, 6 de Agosto, 12 de octubre, La Florida, Libertad, 12 de Noviembre, Juan Pablo II, Juan XXIII, Palmarcito, Lourdes, 3 de Mayo, Las Pascuas, 101 familias, 15 de Junio, Los Chapacos, Defensores del Chaco, Libertad, Aranjuez, Obrajes, Panamericano, La Unión, Los Olivos, Paraíso, Carlos Wagner.
2. Según los resultados obtenidos los meses de mayor funcionamiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales son los meses de octubre a abril, es decir, los meses lluviosos, dándonos a entender que existe un ingreso considerable de agua de lluvia al sistema de alcantarillado sanitaria.
3. En el estudio el Coeficiente de Retorno promedio es del 0,83, lo que demuestra que no toda el agua contabilizada retorna al sistema de alcantarillado, debido a factores como evaporación, riego de jardines, lavado de autos, consumo propio de los usuarios, entre otros.
4. Para determinar el Coeficiente de Retorno de aguas residuales se debe contar con datos medidos de producción de agua potable por zonas ya que no toda la ciudad aporta sus aguas residuales a la Planta de Tratamiento de San Luis; No existe un historial de datos medidos de producción de agua potable, por lo cual, el estudio es realizado con consumos de agua potable.
5. Para el cálculo del caudal de consumo de agua potable se realizó un análisis de los usuarios que cuentan con medidor y de los que no cuentan con medidor, afectando un caudal de consumo promedio por zona, porque aproximadamente el 10% de las conexiones no cuenta con medidor en la zona de estudio.
6. El caudal de consumo de agua potable anual promedio es de 339,70 l/s.

7. La Planta de Tratamiento fue diseñada para un caudal de 210 l/s entre los años 1.988 y 1.989, entrando en operación a partir de 1.990, sin embargo, para el 2.018 según registros por COSAALT LTDA ingresa un caudal promedio anual de 283 l/s, lo que muestra que la Planta de Tratamiento está trabajando por encima de su capacidad de diseño.
8. Según el resultado del estudio, el Coeficiente de Retorno de aguas residuales para la Planta de Tratamiento de San Luis es de 0,83 que está por encima de los valores que indica la Norma Boliviana 688, lo que determinará el caudal medio diario doméstico para el dimensionamiento de red de alcantarillado y el rediseño de la nueva planta de tratamiento.

RECOMENDACIONES

- Durante la elaboración de la presente investigación la mayor dificultad presentada fue la obtención información requerida, esto debido a varios factores como la falta de información ordenada y sistematizada, por lo que se sugiere a COSAALT LTDA tener una mejor organización y sistematización de la información, ya es fundamental para diferentes estudios posteriores, evaluaciones de eficiencia en sus sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario.
- Con la finalidad de evitar el ingreso de agua proveniente de lluvia, es necesario que se realicen mantenimiento de la red pluvial, reparación de alcantarillas, control y concientización a los usuarios para evitar conexiones pluviales al sistema de alcantarillado, en general para evitar este caudal, porque sobrecarga a la Planta de Tratamiento.
- También se sugiere monitorear el caudal de las industrias, tanto en cantidad como en calidad, porque actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis está siendo sobrecargada con caudales para los cuales no fue diseñada.

BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2013). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales*. La Paz, Bolivia.

Metcalf y Eddy. (1991). *Ingeniería de aguas residuales*. México: editorial McGraw–Hill

Norma Boliviana NB688. (2001). *Instalaciones Sanitarias–Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales*. La Paz, Bolivia.

ANESAPA. (2018). *Control de calidad de aguas residuales*. La Paz, Bolivia.

AAPS, (2017). “*Diseño e Implementación de herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia*”. La Paz-Bolivia

Ernesto W. Torres Cáceres, 1994 “*Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas para reúso del agua en la agricultura*”.

UNATSABAR (2005) *Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado*. Lima-Peru