



# ART. 5

## **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y BIOLÓGICA CONTINUA DURANTE 24 HORAS DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE INGRESAN A LA PTAR DE SAN LUIS**



# CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y BIOLÓGICA CONTINUA DURANTE 24 HORAS DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE INGRESAN A LA PTAR DE SAN LUIS

CONTINUOUS 24-HOUR PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE WASTE WATER ENTERING THE APTAR OF SAN LUIS

**Mario Carmelo Gamarra Gamarra Mendoza (a)**  
**Moisés Perales Avilés (b)**  
**Pablo Antonio Cruz López (c)**

mcmgarramendoza@gmail.com

moisesperalesaviles@gmail.com

tony.007.t7@gmail.com

a) Docente Investigador del Laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso del Agua del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la Facultad de Ciencia y Tecnología (FCyT) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Campus EL TEJAR. Casilla 51. Fax 6643403, Telf.: 6643115, Tarija, Bolivia. e-mail: mcmgarramendoza@hotmail.com, mcmgarramendoza@gmail.com,

b) Director y Docente Investigador del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la Facultad de Ciencia y Tecnología (FCyT) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Campus EL TEJAR. Casilla 51. Fax 6643403, Telf.: 6643115, Tarija, Bolivia. e-mail: moises\_perales@hotmail.com, moisesperalesaviles@gmail.com,

c) Estudiante Investigador/Tesista del Laboratorio de Hidrosanitaria y Reuso del Agua del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la Facultad de Ciencia y Tecnología (FCyT) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Campus EL TEJAR. Casilla 51. Fax 6643403, Telf.: 6643115, Tarija, Bolivia. e-mail: tony.007.t7@gmail.com.

## RESUMEN

La ciudad de Tarija actualmente presenta problemas con su sistema de tratamiento de aguas residuales, es por eso que se está en ejecución el proyecto de la nueva planta de tratamiento de San Blas, para la cual es muy importante tener conocimiento de las características de las aguas residuales generadas por la ciudad.

Por este motivo se generó un plan de monitoreo de las aguas residuales dividiéndolas en 2 campañas:

- 1ra Campaña (Martes, Jueves, Sábado)
- 2do Campaña (Miércoles, Viernes, Domingo)

Cada campaña consistía en la recolección de 24 muestras simples a lo largo del día para poder determinar su comportamiento a nivel horario, y así mismo sus características físicas y químicas de las aguas residuales de la ciudad de Tarija. Los resultados permitieron determinar conclusiones en relación a que las aguas residuales que tienen características domésticas más que industriales, además de la alta producción de sedimentos que influye decididamente en el tratamiento de las Lagunas de San Luis, aspectos que es necesario continuar investigando en diferentes

épocas del año.

Esta iniciativa, responde a los requerimientos de la experiencia pionera del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) –UAJMS, para la implementación del Programa CIMAS, desarrollado en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y el SENASBA, que en un contexto de investigación es importante destacar la necesidad de replicabilidad, para motivar el desarrollo de una relación simbiótica entre Universidades y EPSAS, que permita analizar y proponer soluciones a los problemas que se observan en relación al Agua Potable y Saneamiento.

## ABSTRAC

The city of Tarija currently has problems with its wastewater treatment system, it is, of course, the project of the new San Blas treatment plant, for which it is very important to have knowledge of the characteristics of the Wastewater generated by the city.

For this reason, a wastewater monitoring plan was generated by dividing them into 2 campaigns:

- 1st Campaign (Tuesday, Thursday, Saturday)
- 2nd Campaign (Wednesday, Friday, Sunday)

Each campaign consisted of the collection of 24 simple samples throughout the day in order to determine their behavior at the hourly level, as well as their physical and chemical characteristics of the wastewater of the city of Tarija.

The results allowed us to determine the relationships in which the waters became the companies more than the industries, the production of sediments that decisively

influence the treatment of the Lagoons of San Luis, aspects that are necessary to continue investigating at different times of the year.

This initiative responds to the requirements of the pioneer experience of the Water Research Center (CIAGUA) –UAJMS, for the implementation of the CIMAS Program, developed in coordination with the Ministry of Environment and Water (MMAyA) and SENASBA, which in A research context is important to highlight the need for replicability, to motivate the development of a symbiotic relationship between Universities and EPSAS, which allows analyzing and proposing solutions to the problems observed in relation to Drinking Water and Sanitation.

## INTRODUCCIÓN

El Plan Maestro Metropolitano de la ciudad de Tarija, en su diagnóstico ha establecido que aproximadamente el 65% de los efluentes sanitarios generados en la ciudad de Tarija son conducidos mediante la red de alcantarillado hacia la planta de tratamiento de San Luis, cuya descarga es vertida a la Quebrada Torrecillas que luego de un recorrido de 3,8 Km confluye en el Río Guadalquivir.

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 separadas de las aguas lluvias.

La red cubre los 13 distritos urbanos en que se divide Tarija; y solamente 9 distritos descargan las aguas servidas hacia la planta de tratamiento (Lagunas de San Luis).

Los otros 4 distritos tienen sistemas de alcantarillado independientes que funcionan con cámaras sépticas, cuyos efluentes descargan en quebradas tributarias del río Guadalquivir.

Los distritos que tienen 100% de cobertura en cuanto a drenaje sanitario son los 5 de la zona central. Los distritos 11 y 12 son los que tienen menos cobertura.

En el mismo documento se concluye que: El sistema de desinfección utilizado no está siendo eficiente para lograr el cumplimiento de la normativa vigente sobre calidad de agua; requiriendo este aspecto una mejora y adaptación de nuevas tecnologías.

Además del contexto mencionado en las líneas precedentes, el alcantarillado domiciliario de la ciudad de Tarija ya no funciona como tal, sino que empresas clandestinas realizan su vertimiento de sus aguas residuales al alcantarillado, y esto genera que la PTAR de San Luis tenga un mal funcionamiento y genere el vertimiento al río de aguas deficientemente tratadas.

Y la necesidad de realizar su estudio es urgente, debido a que las tecnologías que se pretenden implementar para poder resolver el problema ambiental sobreveniente de la operación deficiente de las lagunas de San Luis, requiere un conocimiento de la calidad del agua residual a ser tratada, de tal manera que su caracterización permita tomar las mejores decisiones para realizar una eficaz y eficiente gestión de las aguas residuales de la ciudad de Tarija.

Actualmente en el marco de colaboración intergubernativo entre el Gobierno Autónomo Departamental y Municipal, se tiene previsto la construcción de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales de San Blas,

consecuentemente es necesario conocer la calidad de aguas residuales que genera la ciudad de Tarija, y si éstas obedecen a los parámetros normalizados para un agua residual principalmente doméstica y en relación a la normativa ambiental vigente.

El trabajo de investigación involucrará de manera directa a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho a través del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), con la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado COSAALT, para contribuir al monitoreo de la calidad del agua.

## METODOLOGÍA

### Descripción del área de estudio

La PTAR de la ciudad de Tarija se encuentra ubicada en la Zona de San Luis al sur de la ciudad, entre las coordenadas UTM: 323967.34-324642.03 mE y 7614750.15-7614333.57 mS; a 1865 m.s.n.m. como altitud promedio, limita:

- Al Norte: Aeropuerto Oriel lea Plaza
- Al Sur: El temporal
- Al Oeste: San Luis
- Al Este: San Jorge II

La planta sirve para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Tarija, se emplea una tecnología aerobia a través de lagunas de oxidación.

Dada la importancia de la planta para ciudad de Tarija, así como la incertidumbre de los parámetros de calidad de agua generadas por la ciudad de Tarija, es necesario realizar campañas de medición de 24 hrs. En distintas estaciones del año. La ubicación de la zona de estudio se muestra en la Figura 1.

Figura 1.  
Ubicación geográfica de las lagunas de oxidación de San Luis



## PROCESO EXPERIMENTAL

Para la presente Investigación se realizaron 2 campañas de monitoreo, la primera fue ejecutada en el mes de enero del año 2019 y la segunda fase se ejecutó en el mes de marzo del año 2019.

Metodología del muestreo

### Recolección de muestras

Cada campaña de monitoreo consistió en la recolección de muestras compuestas que nos permitan observar a nivel horario el comportamiento de las aguas residuales que ingresan a la PTAR de San Luis.

El muestreo se realizó según los lineamientos dispuestos en el documento "Guía para la toma de muestras de agua residual", elaborado por Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA) y su Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (PERIAGUA).

En la primera fase se recolectaron 3 muestras compuestas, 2 muestras en días particulares y una muestra en un fin de semana, así de esta manera podremos observar cómo son las características de las aguas residuales a nivel horario.

**Tabla 1.**  
Días de toma de muestras (1ra Campaña)

L	M	M	J	V	S	D
	X		X		X	

En la segunda fase también se recolectaron muestras simples cada hora durante un periodo de 24 horas y se procedió a realizar un análisis exhaustivo de los resultados obtenido y los rangos de calidad de agua que ingresan a la planta de tratamiento de San Luis.

**Tabla 2.**  
Días de toma de muestras (2ra Campaña)

L	M	M	J	V	S	D
		X		X		X

### Transporte y conservación de muestras al laboratorio

Las muestras se almacenaron en una conservadora con hielo, para luego ser transportadas al laboratorio para su posterior procesamiento.

**Fotografía 1.**  
Conservación de muestras para su posterior traslado al laboratorio



En principio se tenía previsto medir 8 parámetros, sin embargo, se realizó el esfuerzo de complementar a 13 parámetros en cada una de las muestras, siendo los siguientes: Caudal, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Sulfatos (SO4), Fósforo total, Temperatura, pH, Sólidos Totales Disueltos (STD), Sólidos Sedimentables (SS), Turbiedad (Turbidez) y Conductividad.

## Metodología estadística

Para el análisis estadístico de los datos se empleó estadística básica, así como el análisis multivariable de los parámetros estudiados mediante el software **XLSTAT**, para posteriormente clasificar en grupos y realizar análisis de correlación entre variables.

El análisis de los parámetros en forma aislada no nos permite observar comportamientos dentro de la muestra compuesta o grados de correlación entre parámetros, es por ello que se plantea el análisis multivariable de los parámetros.

Cabe mencionar que esta metodología fue utilizada en estudios de relevancia como ser:

### **“DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA, SEDIMENTOS Y PECES DEL LAGO SAN JACINTO”.**

Estudio encargado al **“Laboratorio de proyectos ambientales de la universidad Nacional Autónoma de México” denominado “Informe de la UNAM”**

#### **Pasos a seguir para el análisis estadístico**

- Resumir los datos mediante conjuntos de los parámetros con mínima pérdida.
- Encontrar grupos en los parámetros si existen.
- Clasificar observaciones en los grupos definidos.
- Relacionar 2 conjuntos de variables AA23
- Expresar los resultados de los análisis gráficamente

## RESULTADOS

Los muestreos se realizaron en el Canal Parshall de ingreso de las aguas residuales a las Lagunas de Oxidación de San Luis, durante 24 horas, en los turnos de la mañana, tarde y noche .

Fotografía 2  
Toma de muestras del día martes



Fotografía 3.  
Registro de protocolos de muestras



Fotografía 4.  
Muestreo día 3 (Sábado)



Fotografía 5.  
Lugar de muestreo Canal Parshall - PTAR San Luis



Fotografía 6.  
Recolección de la muestra J12

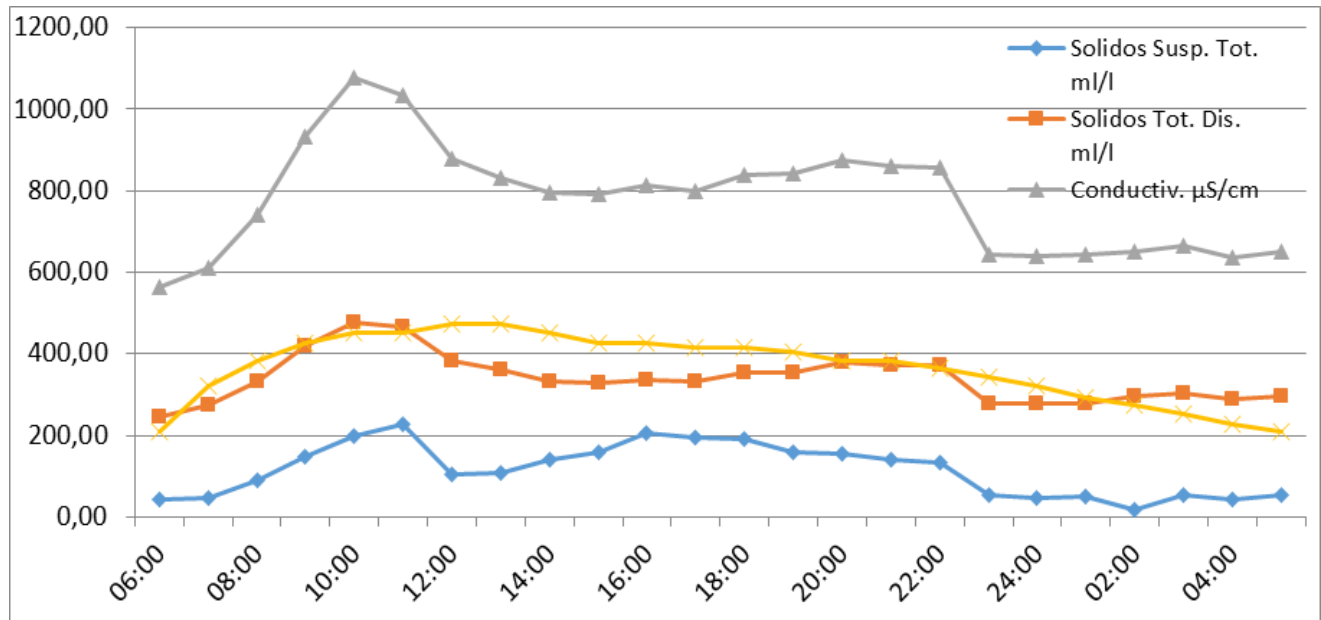


Fotografía 7.  
Muestreo día martes horas de la noche

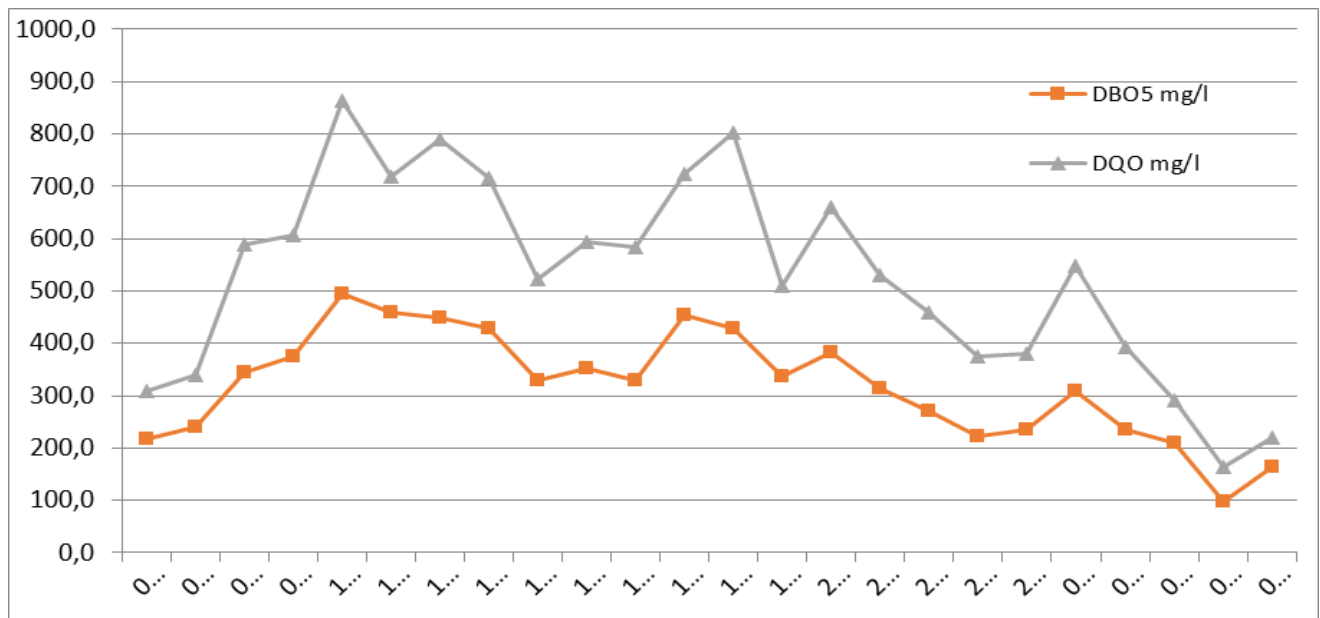


Analíticamente el comportamiento hidrodinámico de las aguas a lo largo del día es normal, presentando concentraciones moderadas en comparación con las características típicas de un agua residual.

Gráfica 1.  
Parámetros físicos en 24 hrs



Gráfica 2.  
Variación de DBO5 y DQO en 24 hrs



## Análisis de variación de parámetros

Tabla 3.  
Variación de parámetros en la primera campaña de medición

N° Muestra	Und	1ra campaña de medición			Variación
		M	J	S	
Temp. Muestra	°C	24.18	21.42	23.41	6%
pH	-	7.40	7.47	7.48	1%
Sólidos Susp. Tot.	ml/l	159.29	141.29	115.25	16%

N° Muestra	Und	1ra campaña de medición			Variación
		M	J	S	
Sólidos Tot. Dis.	ml/l	362.58	336.40	338.97	4%
Sólidos Sed.	ml/l	10.93	13.30	9.20	18%
Conductiv.	µS/cm	817.71	802.08	777.88	3%
Turbiedad	NTU	109.58	107.50	90.79	10%
DBO5	mg/l	311.25	320.25	272.42	8%
DQO	mg/l	506.92	528.88	516.08	2%
Fósforo Total	mg/l	2.79	3.03	4.24	23%
Nitrógeno Total	mg/l	31.45	34.00	31.71	4%
Sulfatos	mg/l	27.62	29.44	41.75	23%
Caudal	l/seg	336.50	341.00	365.91	5%
Alt. Caudal	cm	49.08	49.50	51.96	3%
Volumen	m3	1211.41	1227.60	1317.29	5%
Carga Orgánica	Kg DQO	652.84	697.80	734.98	6%

Como se puede observar en tabla anterior los parámetros del agua residual para 24hrs en un día particular no varían demasiado, prácticamente se tiene una variación máxima del 23% entre parámetros medidos en un día y otro, y una variación mínima del 1%.

Tabla 4.  
Variación de parámetros en la segunda campaña de medición

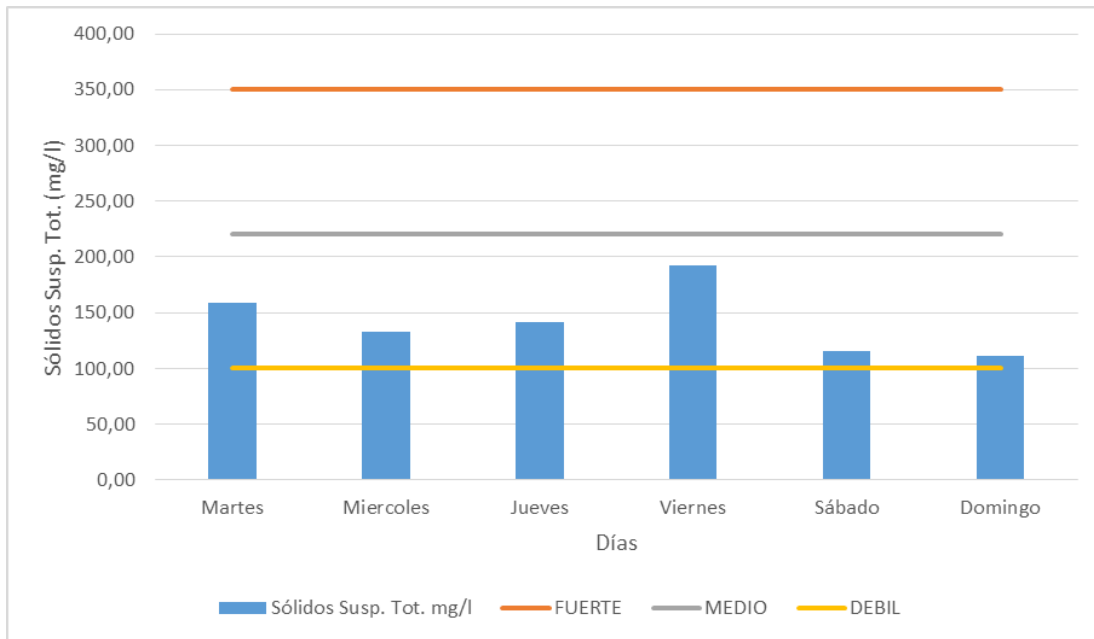
N° Muestra	Und	2da Campaña de medición			Variación
		M	V	D	
Temp. Muestra	°C	20.65	24.97	23.80	10%
pH	-	7.53	7.26	7.38	2%
Sólidos Susp. Tot.	ml/l	133.13	192.67	111.42	29%
Sólidos Tot. Dis.	ml/l	310.69	360.70	366.87	9%
Sólidos Sed.	ml/l	10.53	5.49	6.53	35%
Conductiv.	µS/cm	774.29	801.38	836.33	4%
Turbiedad	NTU	95.08	88.90	78.38	10%
DBO5	mg/l	236.04	295.00	276.13	11%
DQO	mg/l	515.83	536.63	504.92	3%

N° Muestra	Und	2da Campaña de medición			Variación
		M	V	D	
Fósforo Total	mg/l	2.83	3.33	2.92	9%
Nitrógeno Total	mg/l	31.75	37.78	31.82	10%
Sulfatos	mg/l	32.00	34.66	36.13	6%
Caudal	l/seg	342.78	344.80	327.54	3%
Alt. Caudal	cm	49.63	49.75	48.13	2%
Volumen	m3	1233.99	1241.28	1179.16	3%
Carga Orgánica	Kg DQO	655.53	719.64	648.24	6%

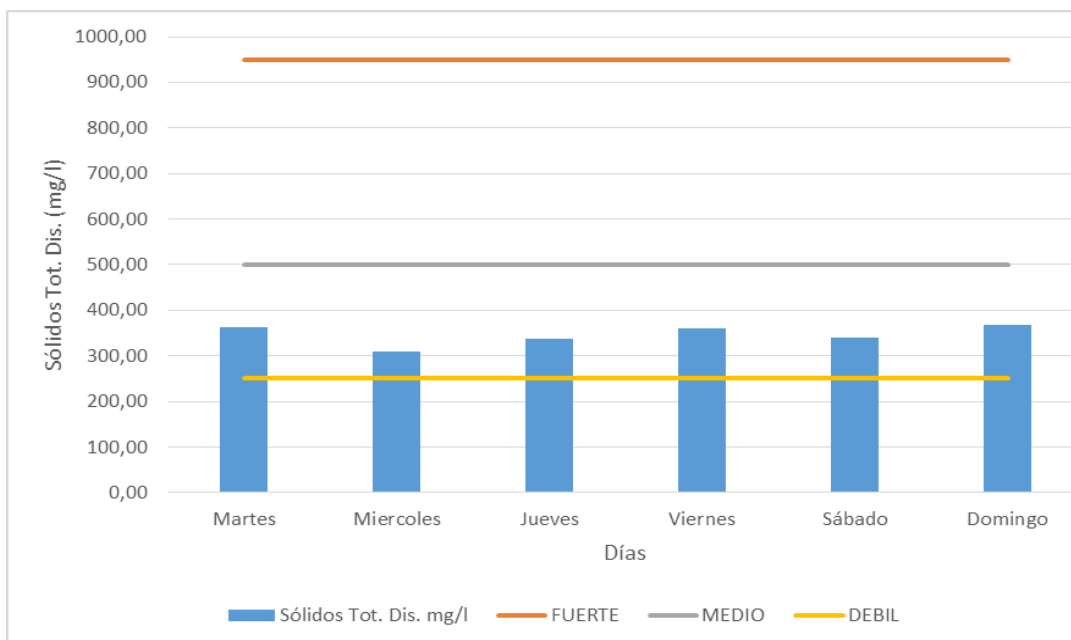
Como se puede observar en tabla anterior los parámetros del agua residual para 24hrs en un día particular o fin de semana, para esta campaña tuvieron una variación mayor a la primera campaña, esto en relación a los parámetros de Sólidos sedimentables y sólidos Suspendidos totales, pero en los demás parámetros se presentó un comportamiento normal con relación a la primera campaña. Esto puede ser debido a la influencia de las lluvias precedentes.

## Análisis de concentración

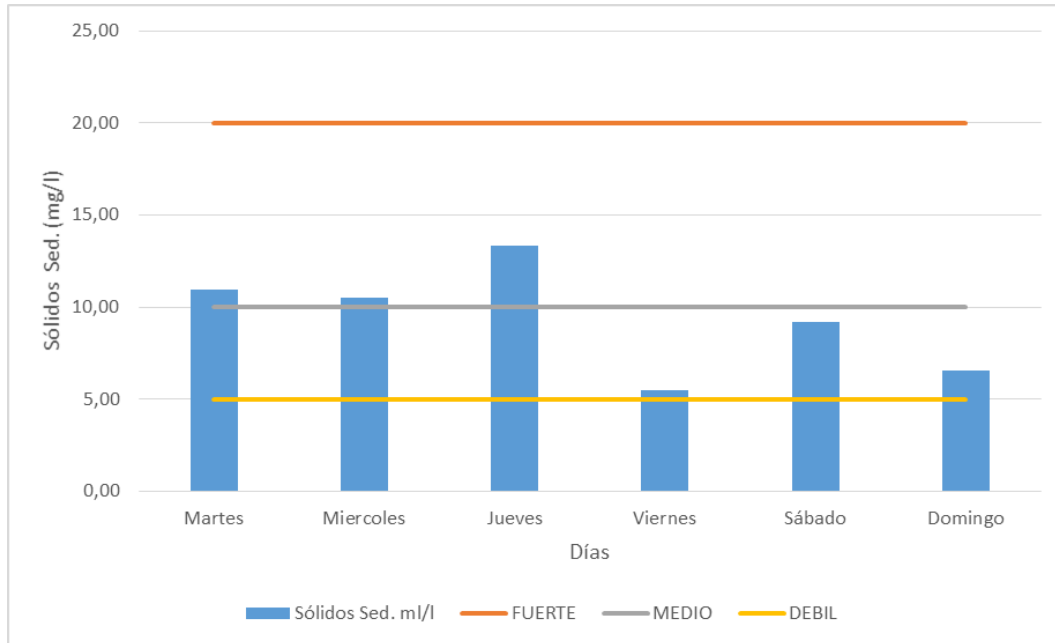
Gráfica 3.  
Análisis de Concentración de Sólidos Suspendedos Totales



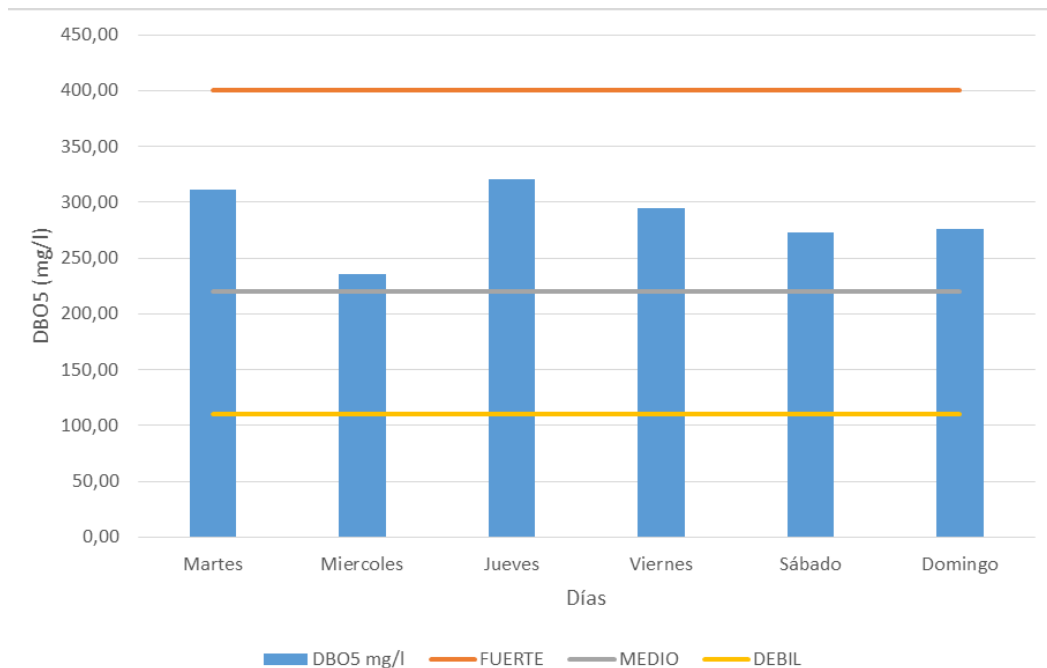
Gráfica 4.  
Análisis de Concentración de Sólidos Totales Disueltos



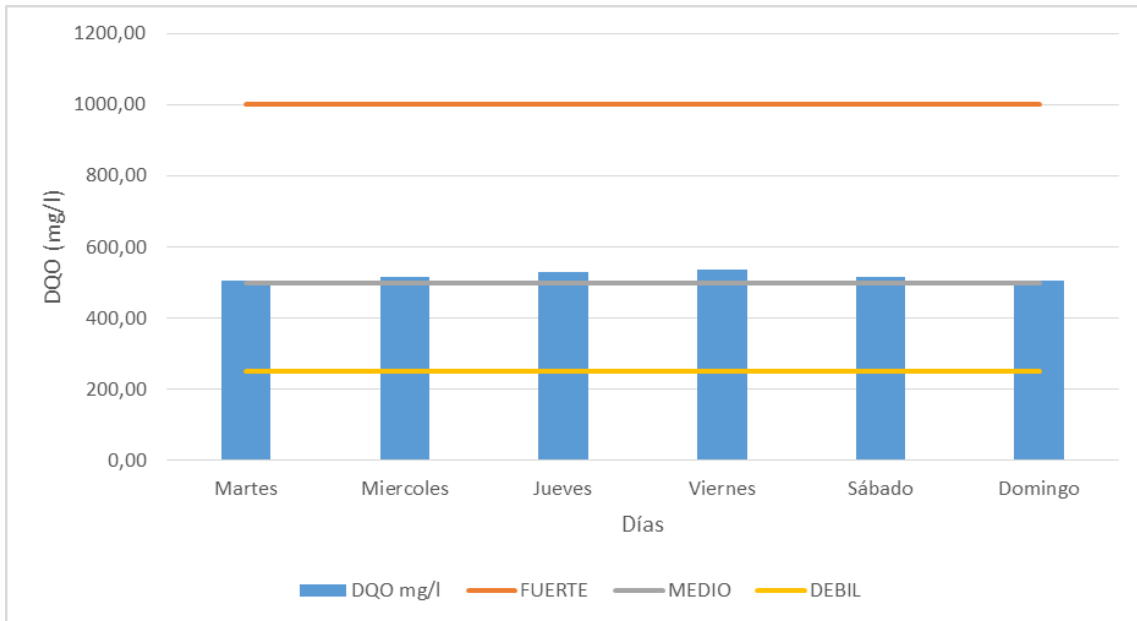
Gráfica 5.  
Análisis de Concentración de Sólidos Sedimentables



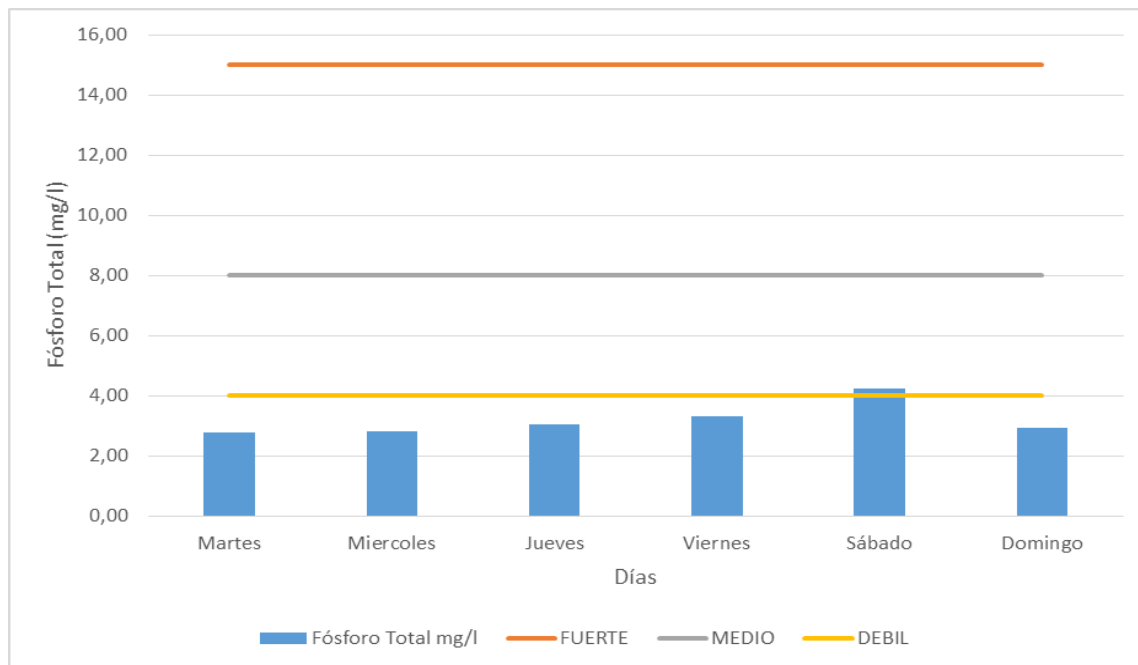
Gráfica 6.  
Análisis de Concentración de DBO5



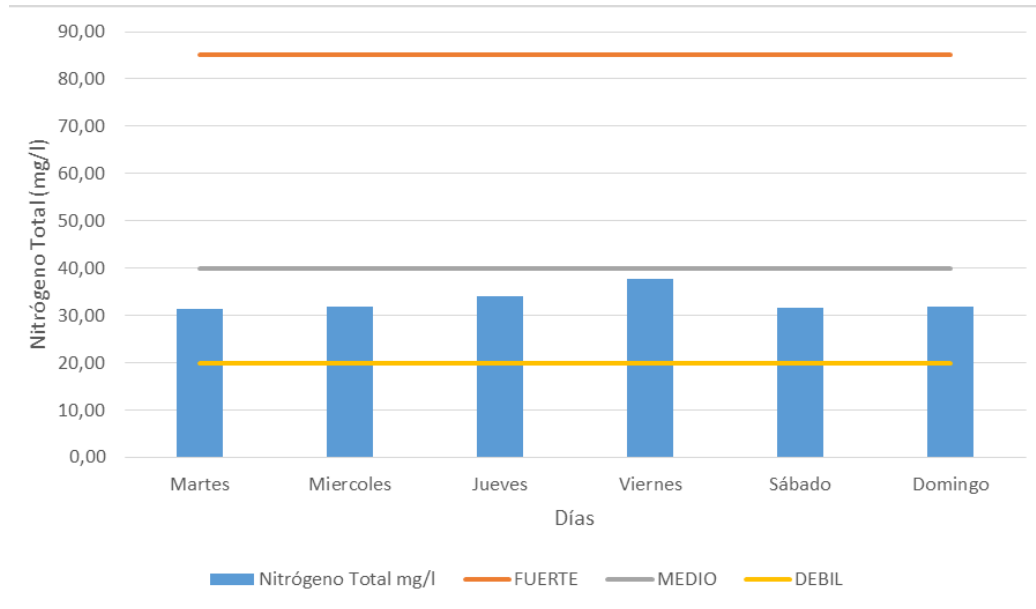
Gráfica 7.  
Análisis de Concentración de DQO



Gráfica 8.  
Análisis de Concentración de Fósforo Total



Gráfica 9.  
Análisis de Concentración de Nitrógeno Total



Observando los resultados promedio de 24hrs obtenidos para cada uno de los días de medición en comparación con la referencia de los rangos de concentración propuestos, se tiene una concentración de media a fuerte en la mayoría de los parámetros, a excepción del Fósforo Total en el cual se tiene una concentración débil.

### Análisis de producción de sedimentos en el alcantarillado sanitario de la ciudad de Tarija

Los valores altos de producción de sedimentos observados, ameritan la atención pues fluctúan en valores que van desde los 400.28 a 173.42 m<sup>3</sup>/día, siendo un promedio medido de 285.44 m<sup>3</sup>/día (considerando un peso específico promedio de 1.67 tn/m<sup>3</sup>), la cifra alta sugiere que por mes se necesitarían evacuar una cantidad importante de sedimentos, que traducidas a volquetas de 12 m<sup>3</sup>, sugiere la asombrosa

cifra de 714 volquetas por mes, suponiendo una alta efectividad de un supuesto desarenador a implementar como así también prácticas de floculación que permitan una alta sedimentación, para permitir una alta efectividad del sistema de tratamiento.

### CONCLUSIONES

- El principal problema actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de San Luis es la producción de sedimentos del sistema de alcantarillado de la ciudad de Tarija, y presumiblemente es originado por 2 principales causas: conexiones cruzadas y considerable deterioro de las tuberías del alcantarillado de la ciudad de Tarija, hecho que debe ser investigado con mayor detenimiento.
- La alta producción de sedimentos del sistema de alcantarillado de la ciudad de Tarija, es el principal responsable del presumible inefectivo tratamiento de

aguas residuales de las lagunas de San Luis, por lo que el pretratamiento es indiscutiblemente muy necesario.

➤ Se realizó la evaluación de las características físico, químicas de las aguas residuales que ingresan a la PTAR de San Luis de la ciudad de Tarija, para las 2 Campañas de medición establecidas en los términos de referencia, obteniendo muy buenos resultados del mismo.

➤ Se Obtuvieron las muestras compuestas de 24hrs de las aguas que ingresan a la planta de tratamiento de San Luis para 6 días, separados en 2 campañas, en la primera campaña se obtuvieron las muestras compuestas para los días: martes, jueves, sábado y en la segunda campaña para los días: miércoles, viernes, domingo.

➤ Se realizaron los ensayos de laboratorio para la determinación de las características físico, químicas de las aguas residuales de la PTAR de San Luis, todo esto para las 432 muestras obtenidas en las 2 campañas de medición.

➤ Se realizó el análisis de los resultados obtenidos en laboratorio con ayuda del software XIStat y planillas Excel, de los cuales se pudo realizar un análisis de la variación de los parámetros en cada día de medición para determinar la variación de los mismos, un análisis de la biodegradabilidad de las aguas residuales de la ciudad de Tarija, un análisis de concentración de los parámetros, y un análisis de Correlación de parámetros para determinar la correlación existente entre parámetros.

➤ Del análisis de variación de parámetros se puede concluir que en los parámetros: pH, Sólidos Totales Disueltos, Conductividad, DQO, Nitrógeno Total, Caudal no existe mucha variación ya que no superan el 10% de variación; y los parámetros Turbiedad, DBO5, Fósforo Total, Sulfatos presentaron una variación moderada no superando el 20%; en tanto los parámetros como ser Sólido Suspendidos Totales y Sólidos Sedimentables tuvieron una variación mayor al 20% para lo recomendaría realizar

una investigación futura para determinar la influencia de la variación de los mismos.

➤ Del análisis de biodegradabilidad se puede concluir que las aguas residuales de la ciudad de Tarija son biodegradables, ya que al realizar el cociente del DQO/DBO5 en su mayoría todos los resultados nos dieron menores a 2.5.

➤ Del análisis de concentración de los parámetros se puede concluir que los parámetros: Sólidos suspendidos Totales, DBO5, DQO tienen una concentración fuerte; Sólidos Totales Disueltos, Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total presentan una concentración media y el Fósforo Total una concentración débil.

➤ Tomando en cuenta los resultados obtenidos en laboratorio se puede concluir que las aguas residuales producidas por la ciudad de Tarija si corresponde a las características de un agua residual doméstica.

➤ Además, los anteriores resultados nos permiten observar que los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados son consistentes, y su confiabilidad está garantizada.

➤ Es necesario realizar inversión pública en un sistema de pretratamiento de aguas residuales del sistema de tratamiento de San Luis, y en investigaciones sobre la producción de sedimentos en el sistema de alcantarillado de la ciudad de Tarija, para evitar el ingreso de sedimentos al sistema por conexiones cruzadas y clandestinas, como así también renovar el sistema de alcantarillado sanitario donde sea necesario para evitar el presumible arrastre de sedimentos correspondiente.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Los diferentes métodos de caracterización muestran resultados más cualitativos que cuantitativos que no permiten determinar con más precisión la calidad

del agua residual, por lo que se ve necesario la calificación de estas mediante valores de acuerdo al estado actual en la que estas se encuentran.

✓ Para realizar la caracterización de las aguas residuales se debe conocer previamente el tipo de tratamiento y el origen de las aguas residuales para determinar los parámetros a ser evaluados.

✓ Es necesario realizar un análisis más profundo en diversos sectores del alcantarillado sanitario de la ciudad de Tarija y en diversas épocas del año en periodo de lluvias y periodo seco, para determinar el origen de la alta cantidad de sedimentos que se encuentran en el mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ☛ Metfcal and Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. España: Impresos y Revistas, S. A.
- ☛ Ingenieure, A. B. (2009). Software UASBplant\_pro. Alemania.
- ☛ Jiménez, A. A. (2009). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. Madrid: Universidad Carlos III.
- ☛ Osorio, P. C. (2010). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas. Mexico: Universidad Tec. Fed. Sta María.
- ☛ Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2013). Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. La Paz.