



3.4.1.3 Fichas de Recolección de Datos pH.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		Facultad de Ingeniería y Arquitectura		Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
Tesis: "Evaluación de la eficiencia del proceso de filtración de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000"											
Guía de observación N° 02			pH óptimo, meses de enero a junio del 2019								
Elaborado por:		Bach. Marlié Llamocca Tupayachi		Asesor:							
		Bach. Diana Soledad Paliza Chino		Ing. William Delgado Salazar							
N°	FECHA	HORA	AGUA TRATADA				AGUA CRUDA				
			Turbiedad	pH	COLOR	CONDUCTIVIDAD	Turbiedad	pH	COLOR	CONDUCTIVIDAD	ALCALINIDAD
01	29 de Abril de 2019	8:00 a. m.									
02		9:00 a. m.									
03		11:00 a. m.									
04		1:00 p. m.									
05		2:00 p. m.									
06		4:00 p. m.									
07		5:00 p. m.									
08	30 de Abril de 2019	8:00 a. m.									
09		9:00 a. m.									
10		11:00 a. m.									
11		1:00 p. m.									
12		2:00 p. m.									
13		4:00 p. m.									
14		5:00 p. m.									

Tabla N° 10: Tabla de recolección de datos de pH, conductividad y alcalinidad.

Fuente: Elaboración propia.



3.4.1.4 Fichas de Recolección de Alturas de poza para calcular el volumen que se pierde por lavado.

Tabla N° 11. Fichas de recolección de datos de altura de la poza para calcular el volumen que se pierde por lavado.

N°	H m	Área m²	Volumen m³
1		44.16	0.000
2		44.16	0.000
3		44.16	0.000
4		44.16	0.000
5		44.16	0.000
6		44.16	0.000
7		44.16	0.000
8		44.16	0.000
9		44.16	0.000
10		44.16	0.000
11		44.16	0.000
12		44.16	0.000
13		44.16	0.000
14		44.16	0.000
15		44.16	0.000
16		44.16	0.000
17		44.16	0.000
18		44.16	0.000
19		44.16	0.000
20		44.16	0.000
21		44.16	0.000
22		44.16	0.000
23		44.16	0.000
24		44.16	0.000
25		44.16	0.000
26		44.16	0.000
27		44.16	0.000
28		44.16	0.000
29		44.16	0.000
30		44.16	0.000

Fuente: Elaboración propia.



3.4.1.5 Escala Valorativa

Para la escala valorativa se tomaron en cuenta 5 indicadores, los cuales son:

- Muy malo: No cumple con los parámetros y estándares de calidad estipulados por las Normas y Reglamentos, el efluente de la planta de tratamiento no es apta para consumo humano.
- Malo: Cumple con pocos parámetros y estándares de calidad brindados por las Normas y Reglamentos, el efluente de la planta de tratamiento no es apta para consumo humano.
- Regular: Cumple parcialmente con los parámetros y estándares de calidad brindados por las Normas y Reglamentos, el efluente de la planta de tratamiento es apta para consumo humano.
- Bueno: Cumple casi en su totalidad con los parámetros y estándares de calidad brindados por las Normas y Reglamentos, el efluente de la planta de tratamiento es apta para consumo humano.
- Muy bueno: Cumple con todos los parámetros y estándares de calidad brindados por las Normas y Reglamentos, el efluente de la planta de tratamiento es apta para consumo humano.

Se realizó una evaluación tomando como referencia el 100%, y la amplitud de cada indicador es de 20%.

Pocentaje de eficiencia	Valor
0 - 20%	Muy malo
20 - 40%	Malo
40 - 60%	Regular
60 - 80%	Bueno
80 - 100%	Muy bueno


Tabla N° 12: Escala Valorativa para evaluar la eficiencia del sistema.

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.6 Ensayos de calidad el material filtrante.

3.4.1.6.1 Ensayo de granulometría.

Tabla N° 13: Formato para Ensayo de granulometría de agregados finos.

						
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)				
DATOS DE LA MUESTRA						
CANTERA	CHANCAY - LIMA					
MATERIAL	AGREGADO FINO					
MUESTRA						
RESPONSABLES	Bach. Marlie Llamocca Tupayachi.					
	Bach. Diana Soledad Paliza Chino.					
PROCESAMIENTO DE DATOS						
TAMIZ	ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO DEL AGREGADO	PESO RETENIDO ACUMULADO	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
3/8"						
#4						
#8						
#10						
#16						
#20						
#30						
#40						
#50						
#100						
#200						
FONDO						
TOTAL						

CURVA GRANULOMETRICA

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.6.2 Ensayo de permeabilidad.

Tabla N° 14: Formato de Ensayo de Permeabilidad

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 06	ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN LABORATORIO ASTM D2434	
DATOS DE LA MUESTRA		
CANTERA	CHANCAY - LIMA	
MATERIAL	AGREGADO FINO	
MUESTRA	10 kg de arena fina	
ASESOR:	<i>Ing. William Ronald Delgado Salazar</i>	
RESPONSABLES	<i>Bach. Marlie Llamocca Tupayachi.</i>	
	<i>Bach. Diana Soledad Paliza Chino.</i>	
PROCESAMIENTO DE DATOS		
Diámetro de la probeta	=	<i>cm</i>
Área de la probeta	=	<i>cm²</i>
Longitud de la probeta	=	<i>cm</i>
Tiempo de ensayo	=	<i>seg</i>
Volumen de agua	=	<i>cm³</i>
Diferencia de nivel	=	<i>cm</i>

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procedimiento de recolección de datos

3.5.1 Muestreo de agregados en campo

La EPS. SEDACUSCO S.A. Proporcionó una muestra representativa del material filtrante para poder realizar los diferentes ensayos de calidad al material filtrante.

a) Procedimiento

Se zarandea el agregado fino para obtener el tamaño efectivo deseado de la arena fina, para posteriormente tomar una muestra representativa del agregado fino de la PTAP Santa Ana – Cusco.



Figura N° 13: Agregado fino de la PTAP Santa Ana – Cusco.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 14: Obtención del agregado fino, de la muestra zarandeada.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Ensayos de Calidad del Material Filtrante

3.5.2.1.1 Granulometría.

Equipos y Materiales:

- ✓ Tara de metal.
- ✓ Balanza de precisión.
- ✓ Horno de Temperatura de 110° C.
- ✓ Mallas y tamices.

Procedimiento:

- ❖ Preparar la muestra mediante el método del cuarteo para después lavar la muestra y eliminar el exceso de finos, dejar secar la muestra en el horno del laboratorio durante 24 horas.
- ❖ Registrar el peso inicial de toda la muestra y mediante una cuchara metálica, colocar la muestra por la serie de tamices previamente ordenada.
- ❖ La muestra se coloca en los tamices, y estos se someten a cierta fuerza para que puedan pasar todos los tamices y así obtener el peso retenido en cada uno de ellos.
- ❖ Al concluir el tamizado, se procede a realizar la curva granulométrica y obtener los resultados necesarios para nuestro uso.



Figura N° 15. Granulometría de la Arena del medio filtrante.

Fuente: Elaboración propia.

Toma de datos: En la **Tabla N° 14** presentada a continuación se puede visualizar los datos obtenidos en el ensayo de granulometría.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 05		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)				
DATOS DE LA MUESTRA						
CANTERA	CHANCAY - LIMA					
MATERIAL	AGREGADO FINO					
MUESTRA	566.60 gr					
ASESOR	Ing. William Ronald Delgado Salazar.					
RESPONSABLES	Bach. Marlie Llamocca Tupayachi.					
	Bach. Diana Soledad Paliza Chino.					
PROCESAMIENTO DE DATOS						
TAMIZ	ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO DEL AGREGADO	PESO RETENIDO ACUMULADO	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
3/8"	0.000	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
#4	4.750	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
#8	2.360	2.30	2.30	0.41%	0.41%	99.59%
#10	2.000	1.10	3.40	0.19%	0.60%	99.40%
#16	1.180	52.10	55.50	9.20%	9.80%	90.20%
#20	0.850	225.10	280.60	39.73%	49.52%	50.48%
#30	0.600	237.20	517.80	41.86%	91.39%	8.61%
#40	0.420	40.50	558.30	7.15%	98.54%	1.46%
#50	0.300	4.50	562.80	0.79%	99.33%	0.67%
#100	0.150	2.00	564.80	0.35%	99.68%	0.32%
#200	0.075	0.00	564.80	0.00%	99.68%	0.32%
FONDO	0.000	1.80	566.60	0.32%	100.00%	0.00%
TOTAL		566.60 gr				

Tabla N° 15. Ensayo Granulométrico del medio filtrante

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Ensayo de Permeabilidad ASTM D 2434

Equipos y Materiales:

- ✓ Molde patrón.
- ✓ Cronómetro.
- ✓ Agua.
- ✓ Permeámetro de carga variable.
- ✓ Permeámetro de carga constante.
- ✓ Embudo.
- ✓ Probeta.
- ✓ Balanza.
- ✓ Barretas.

Procedimiento

- ❖ Llenar la bureta hasta una altura conveniente y medir la cabeza hidráulica a través de la muestra para obtener la altura.



Figura N° 16. Ensayo de Permeabilidad

Fuente: Elaboración propia

- ❖ “Iniciar el flujo de agua y echar a andar simultáneamente el cronómetro. Dejar que el agua corra a través de la muestra hasta que la bureta se encuentre casi vacía. Simultáneamente parar el flujo y registrar el tiempo transcurrido”. (Angelone, 2006)



*Figura N° 18. Ensayo de permeabilidad
Fuente: propia*



*Figura N° 17. Ensayo de permeabilidad
Fuente: propia*

- ❖ “Volver a llenar la bureta de agua y repetir el ensayo dos veces adicionales. Utilizar los mismos valores para la primera altura y la segunda altura, obtener los tiempos transcurridos correspondientes.” (Angelone, 2006)



*Figura N° 20. Ensayo de Permeabilidad
Fuente: propia*



*Figura N° 19. Ensayo de Permeabilidad
Fuente: propia*

Toma de Datos.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 06	ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN LABORATORIO ASTM D2434
DATOS DE LA MUESTRA	
CANTERA	CHANCAY - LIMA
MATERIAL	AGREGADO FINO
MUESTRA	10 kg de arena fina
ASESOR:	Ing. William Ronald Delgado Salazar
RESPONSABLES	Bach. Marlie Llamocca Tupayachi.
	Bach. Diana Soledad Paliza Chino.
PROCESAMIENTO DE DATOS	
Diámetro de la probeta	= 7.5 cm
Área de la probeta	= 44.18 cm ²
Longitud de la probeta	= 11.4 cm
Tiempo de ensayo	= 100 seg
Volumen de agua	= 40 cm ³
Diferencia de nivel	= 100 cm
Coefficiente de permeabilidad	=

Tabla N° 16. Ensayo de Permeabilidad

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Recolección de información existente en la Planta de Santa Ana – Cusco.

Por medio de un documento elaborado por las tesis, se solicitó a la Gerencia de Operaciones de la EPS. SEDACUSCO S.A. el permiso correspondiente para poder realizar la tesis de investigación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Ana – Cusco, asimismo se solicitó el acceso a la información de los manuales de la PTAP.

Se nos proporcionó las fichas de toma de datos utilizadas por los técnicos que trabajan en la PTAP, es necesario mencionar que estas fichas son llenadas las 24 horas del día los 7 días de la semana, ya que la turbiedad define la calidad de agua antes y después de los filtros, y estos datos son necesarios para la evaluación constante que tiene la PTAP por otras entidades que se encargan de verificar el funcionamiento de esta.

El personal que trabaja en laboratorio conformado por biólogos e ingenieros químicos, proporcionaron fichas de datos requeridos para la investigación, asimismo nos brindaron acceso a los manuales de operación y funcionamiento de la PTAP, planos de la PTAP y planos de los filtros de la planta de tratamiento de agua potable.

3.5.4.1 Ejemplo de registro de Fichas de datos de Altura de Poza de lavado.

En la PTAP Santa Ana – Cusco, el lavado de los filtros se realiza diariamente, el agua que se pierde por el lavado de estos se dirige a una poza de descarga, en la cual se miden las alturas hasta las que el agua alcanza, y se toma un registro de estas alturas en fichas. Se obtuvo las fichas de altura de los meses enero, febrero y junio del año 2019.

N°	H m	Área m ²	Volumen m ³
1	1.75	44.16	
2	1.74	44.16	
3	1.62	44.16	
4	1.75	44.16	
5	1.79	44.16	
6	1.76	44.16	
7	1.65	44.16	
8	1.78	44.16	
9	1.74	44.16	
10	1.8	44.16	
11	1.74	44.16	
12	1.82	44.16	
13	1.65	44.16	
14	1.66	44.16	
15	1.71	44.16	
16	1.72	44.16	
17	1.63	44.16	
18	1.63	44.16	
19	1.76	44.16	
20	1.7	44.16	
21	1.81	44.16	
22	1.85	44.16	
23	1.68	44.16	
24	1.79	44.16	
25	1.87	44.16	
26	1.75	44.16	
27	1.66	44.16	
28	1.78	44.16	

Tabla N° 17. Tabla de toma de datos de las alturas del pozo de descarga.

Fuente: Elaboración propia

3.5.4.2 Ejemplo de registro de Fichas de datos de turbiedad.

En la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco se encuentran dispuestos paralelamente 10 filtros, cada uno de ellos tiene una numeración en base a la cual se realiza en llenado de datos de las diferentes fichas de recolección de datos. La turbiedad se registra diariamente las 24 horas del día, se registra la turbiedad del agua cruda, turbiedad en los filtros, turbiedad al ingreso y salida del reservorio. La hora de toma de datos de la turbiedad en los filtros se realiza a criterio del técnico que opera los filtros. A continuación, en la **Tabla N° 10** se puede apreciar una ficha de toma de datos correspondiente al 1° enero del 2019.

Tabla N° 18. Ficha de toma de datos de la turbiedad, 1° enero del 2019.

HORA	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	TURBIEDAD A.C	TURBIEDAD INGRESO RESERVORIO	TURBIEDAD SALIDA DE RESERVORIO
1	2.51	2.31	2.61	2.48	2.74	2.66	2.41	2.8	2.68	2.59	4.89	2.36	2.69
2											5.11	2.27	2.74
3											5.23	2.2	2.70
4											5.2	2.29	2.68
5											5.15	2.27	2.74
6											4.81	2.18	2.53
7											4.97	2.29	2.68
8											4.9	2.23	2.61
9	2.6	2.55	2.73	2.58	2.81	2.68	2.47	2.75	2.66	2.45	4.86	2.25	2.70
10											4.91	2.3	2.75
11											4.88	2.23	2.65
12											4.83	2.18	2.57
13											4.77	2.25	2.61
14											4.92	2.28	2.69
15											4.9	2.4	2.72
16											4.99	2.52	2.98
17											4.62	2.53	2.90
18	2.65	2.59	2.8	2.67	2.95	2.8	2.54	2.88	2.73	2.62	4.74	2.6	2.98
19											4.7	2.72	2.90
20											4.69	2.87	2.97
21											4.63	2.78	3.00
22											4.19	2.82	3.10
23											4.36	2.71	3.25
24											4.49	2.34	3.08

Fuente: Elaboración propia



3.5.4.3 Ejemplo de registro de Fichas de datos de pH, color, conductividad y alcalinidad. Parámetros físicos - químicos.

N°	FECHA	HORA	AGUA TRATADA				AGUA CRUDA				
			Turbiedad	pH	COLOR	CONDUCTIVIDAD	Turbiedad	pH	COLOR	CONDUCTIVIDAD	ALCALINIDAD
01	9 de enero de 2019	08:00 a.m.	3.20	7.50	9.00	390.00	5.29	7.85	20.00	386.00	76.13
02		09:00 a.m.	2.62				5.66				
03		11:00 a.m.	2.51								
04		01:00 p.m.	2.43								
05		02:00 p.m.	3.50				4.19				
06		04:00 p.m.	3.41								
07		05:00 p.m.	2.59				4.69				
08	10 de enero de 2019	08:00 a.m.	2.54	7.41	8.00	388.00	5.65	7.69	21.00	401.00	78.25
09		09:00 a.m.	2.69				4.24				
10		11:00 a.m.	2.89				4.88				
11		01:00 p.m.	2.81								
12		02:00 p.m.	2.88				5.01				
13		04:00 p.m.	2.70								
14		05:00 p.m.	3.01				4.96				
15	11 de enero de 2019	08:00 a.m.	2.88				4.95				
16		09:00 a.m.	3.00								
17		11:00 a.m.	2.66	7.59	7.00	392.00	4.65	7.91	19.00	388.00	78.33
18		01:00 p.m.	2.82								
19		02:00 p.m.	2.89								
20		04:00 p.m.	2.91				5.29				
21		05:00 p.m.	2.81								
22	12 de enero de 2019	08:00 a.m.	3.10				5.29				
23		09:00 a.m.	2.72				7.40				
24		11:00 a.m.	3.38								
25		01:00 p.m.	3.15				6.88				
26		02:00 p.m.	3.01								
27		04:00 p.m.	2.95				5.96				
28		05:00 p.m.	2.91				5.48				

Tabla N° 19. Fichas de toma de datos pH, conductividad y alcalinidad, del mes de enero.

Fuente: Elaboración propia

**3.5.4.4 Ejemplo de registro de Fichas de datos de tiempo de lavado.**

En la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco se encuentran dispuestos paralelamente 10 filtros, cada uno de ellos tiene una numeración en base a la cual se realiza el llenado de fichas. Además, para realizar el lavado de los filtros se utiliza una compresora de aire, la PTAP Santa Ana – Cusco cuenta con 2 compresoras para realizar el lavado de los filtros las cuales se encuentran numeradas. En la *tabla N° 12* presentada a continuación, se tiene la ficha de tiempos de lavado de los filtros.

Tabla N° 20: Ficha de registro de datos de tiempo de lavado, 1 de enero 2019.

N° FILTROS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COMPRESORA	1	1		2	1		2	2	2	
HORA DE INICIO	07:00:00 p.m.	10:04:00 p.m.		07:04:00 p.m.	06:00:00 a.m.		07:26:00 p.m.	06:30:00 a.m.	10:14:00 p.m.	
VACIADO	1 min	1 min		1 min	1 min		1 min	1 min	1 min	
LLENADO	1 min	1 min		1 min	1 min		1 min	1 min	1 min	
LAVADO	6 min	8 min		6 min	10 min		6 min	10 min	8 min	
ENJUAGUE	12 min	10 min		13 min	10 min		10 min	10 min	8 min	
TIEMPO TOTAL	20 min	20 min		21 min	22 min		18 min	22 min	18 min	

Fuente: Elaboración propia.



3.5.4.5 Ejemplo de registro de Fichas de datos de Parámetros microbiológicos de agua tratada.

Tabla N° 21. Parámetros microbiológicos de agua tratada del año 2019.

PROMEDIO ANUAL			AÑO 2019					
PARAMETROS	UNIDAD	LMP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Col. Totales	NMP/100ml	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Col. Termo tolerantes	NMP/100ml	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bact. Heterotróficas	UFC/mL	500	0.6	0.7	0.0	0.6	1.9	0.0

Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimiento de Análisis de datos.

3.6.1 Material filtrante

3.6.1.1 Tipo de arena.

La arena utilizada en la PTAP Santa Ana – Cusco, es arena fina, proveniente de la cantera de Chancay ubicada en Lima.

3.6.1.2 Granulometría de arena.

En la *Tabla N° 20*, se muestran los datos iniciales de la muestra de arena fina utilizada para el ensayo de granulometría.

Datos de ensayo	
Peso inicial	566.60 gr
Peso despues de lavado	564.80 gr

Tabla N° 22: Datos iniciales de la arena fina.
Fuente: Elaboración propia.

Luego de obtener los resultados en el ensayo de granulometría se identificaron los D10, D30, D60 y D90, que son apreciadas en la *Tabla N° 21*.

PROCESAMIENTO DE DATOS						
TAMIZ	ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO DEL AGREGADO	PESO RETENIDO ACUMULADO	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
3/8"	0.000	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
#4	4.750	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
#8	2.360	2.30	2.30	0.41%	0.41%	99.59%
#10	2.000	1.10	3.40	0.19%	0.60%	99.40%
#16 <i>D60 y D90</i>	1.180	52.10	55.50	9.20%	9.80%	90.20%
#20	0.850	225.10	280.60	39.73%	49.53%	50.47%
#30 <i>D10 y D30</i>	0.600	237.20	517.80	41.86%	91.39%	8.61%
#40	0.420	40.50	558.30	7.15%	98.54%	1.46%
#50	0.300	4.50	562.80	0.79%	99.33%	0.67%
#100	0.150	2.00	564.80	0.35%	99.68%	0.32%
#200	0.075	0.00	564.80	0.00%	99.68%	0.32%
FONDO	0.000	1.80	566.60	0.32%	100.00%	0.00%
TOTAL		566.60 gr				

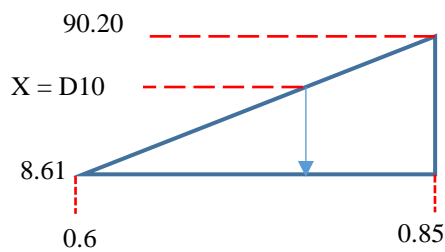
Tabla N° 23: Granulometría de arena fina.
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla de granulometría se obtuvieron los siguientes resultados:

<i>Grava:</i>	0.00%
<i>Arena:</i>	99.68%
<i>Finos:</i>	0.32%

Tabla N° 24: Porcentaje de material en el agregado.
Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el D10, se realizó el siguiente procedimiento:

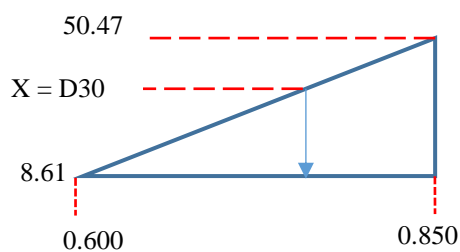


$$a. \frac{50.47-8.61}{\text{Log}\left(\frac{0.85}{0.60}\right)} = \frac{10-8.61}{\text{Log}\left(\frac{x}{0.60}\right)}$$

$$b. 276.728 * \log\left(\frac{x}{0.60}\right) = 1.39$$

$$c. D10 = 0.608$$

Para calcular el D30, se realizó el siguiente procedimiento:

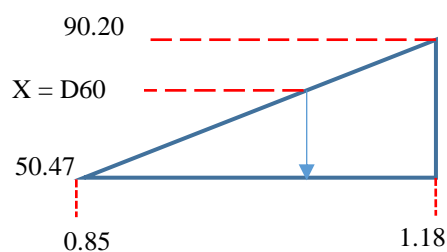


$$a. \frac{50.47-8.61}{\text{Log}\left(\frac{0.85}{0.60}\right)} = \frac{30-8.61}{\text{Log}\left(\frac{x}{0.60}\right)}$$

$$b. 276.728 * \log\left(\frac{x}{0.60}\right) = 21.39$$

$$c. D30 = 0.728$$

Para calcular el D60, se realizó el siguiente procedimiento:

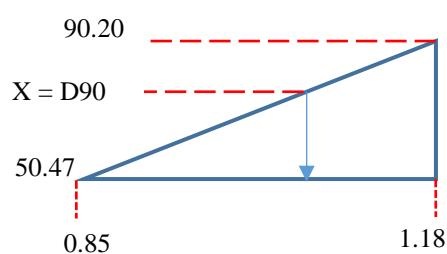


$$a. \frac{90.20-50.47}{\text{Log}\left(\frac{1.18}{0.85}\right)} = \frac{60-50.47}{\text{Log}\left(\frac{x}{0.85}\right)}$$

$$b. 278.880 * \log\left(\frac{x}{0.85}\right) = 9.53$$

$$c. D60 = 0.929$$

Para calcular el D90, se realizó el siguiente procedimiento:



$$a. \frac{90.20-50.47}{\text{Log}\left(\frac{1.18}{0.85}\right)} = \frac{90-50.47}{\text{Log}\left(\frac{x}{0.85}\right)}$$

$$b. 278.880 * \log\left(\frac{x}{0.85}\right) = 39.53$$

$$c. D90 = 1.178$$

Procedimiento para calcular el Coeficiente de uniformidad:

$$\frac{D60}{D10} = \frac{0.929}{0.608}$$

$$Cu = 1.53$$



Procedimiento para calcular el Cc:

$$\frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{0.728^2}{0.608 * 0.929}$$

$$C_c = 0.94$$

En la **Tabla N° 24**, presentada a continuación se aprecia un resumen del cálculo realizado.

Tabla N° 25: Resumen de cálculo.

Fuente: Elaboración propia.

D90 =	1.178	Cu =	1.53
D60 =	0.929	Cc =	0.94
D30 =	0.728		
D10 =	0.608		

Cada norma tiene parámetros diferentes, en cuanto al material filtrante se tienen las siguientes Especificaciones en común:

Tabla N° 26: Parámetros considerados en la norma OS.020 y RAS 2000.

OS.020	RAS 2000	CEPIS
Libre de material silíceo de granos duros libre de arcilla, limo o materia orgánica.	Contenido bajo de cenizas y material volátil, libre de mica, polvo, arcilla, limo y materiales extraños.	Libre de material silíceo de granos duros libre de arcilla, limo o materia orgánica.
La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Mohs), libre de arcilla, limo, polvo, o materia orgánica.	< 3.5 en la escala de Mohs	< 3 en la escala de Mohs
Tamaño efectivo 0.5 - 0.6 mm	Tamaño efectivo 0.35mm - 0.45mm	Tamaño efectivo 0.50 - 0.60 mm
Cu <= 1.5	Cu = 1.35 - 1.7	Cu < 1.5

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la Verificación del cumplimiento de los datos obtenidos de la arena de la PTAP Santa Ana con los parámetros establecidos por la OS.020 y RAS 2000.

Tabla 27: Verificación de resultados de acuerdo con la norma OS.020 y RAS 2000.

Arena de Chancay – Lima	OS.020	RAS 2000	¿Cumple con la norma?	
			OS.020	RAS 2000
Contiene 1.80 gr de material que pasa la malla 200	Libre de material silíceo de granos duros libre de arcilla, limo o materia orgánica.	Contenido bajo de cenizas y material volátil, libre de mica, polvo, arcilla, limo y materiales extraños.	NO	SI
3 escala de Mohs	La arena debe ser material silíceo de granos duros (7 en la escala de Moh), libre de arcilla, limo, polvo, o materia orgánica.	< 3.5 en la escala de Mohs	NO	SI
D10 = 0.608	Tamaño efectivo 0.5 - 0.6 mm	Tamaño efectivo 0.35mm - 0.45mm	NO	NO
Cu = 1.53	Cu <= 1.5	Cu = 1.35 - 1.7	NO	SI

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la verificación de los resultados obtenidos de la PTAP Santa Ana – Cusco, de acuerdo a los parámetros establecidos por CEPIS, para calidad de material filtrante.

Tabla N° 28: Verificación de resultados de acuerdo con CEPIS.

Arena de Chancay	CEPIS	¿Cumple con la norma?
Contiene 1.80 gr de material que pasa la malla 200	Libre de material silíceo de granos duros libre de arcilla, limo o materia orgánica.	NO
3 escala de Mohs	<= 3 en la escala de Mohs	SI
D10 = 0.608	Tamaño efectivo 0.50 – 0.60 mm	NO
Cu = 1.53	Cu < 1.5	NO

Fuente: Elaboración propia.

La arena de la PTAP Santa Ana – Cusco no cumple con el ensayo de calidad de granulometría de CEPIS.



3.6.1.3 Ensayo de permeabilidad.

Datos:

Diámetro de la probeta (D) = 7.50 cm

Longitud de la Probeta (L) = 11.40 cm

Tiempo (t) = 100 seg

Volumen (V) = 40 cm³

Altura (h) = 100 cm

Procedimiento de cálculo del coeficiente de permeabilidad:

Ley de Darcy (1856) :
$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = k * i * A$$

a. A = Área de la probeta.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 7.50^2}{4}$$

$$A = 44.18 \text{ cm}^2$$

b. Gradiente hidráulico

$$i = \frac{h}{L}$$

$$i = \frac{100}{11.40}$$

$$i = 8.771$$

c. Caudal: $Q = V/t$

$$Q = \frac{40 \text{ cm}^3}{100 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.4 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

d. Coeficiente de permeabilidad

$$0.4 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} = k * 8.771 * 44.18 \text{ cm}^2$$

$$0.4 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} = k * 8.771 * 44.18 \text{ cm}^2$$

$$k = 0.001032 \text{ cm}/\text{seg}$$

En la **Figura 21**, se tiene la tabla de valores para el coeficiente de permeabilidad. En los cálculos realizados el valor obtenido para el coeficiente de permeabilidad es $k = 0.001032 \text{ cm/seg}$. Este valor es equivalente a 10^{-3} , de acuerdo con la tabla de valores de k en cm/seg , el lecho filtrante tiene un drenaje bueno, es decir facilita rápidamente el paso de sólidos disueltos.

Figura N° 21: Tabla de valores de k en cm/seg

TABLA I: Valores de k en cm/seg

	100	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drenaje	Bueno						Pobre			Prácticamente impermeable		
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada			Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. ^d			Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición	
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.						Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.					
Determinación indirecta de k			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.				
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.									Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia		

Fuente: Recopilado de (Angelone, 2006)

Tabla N° 29: Porcentaje de eficiencia según norma OS.020 y RAS 2000.

¿Cumple con la norma?		% de eficiencia según normas	
OS.020	RAS 2000	OS.020	RAS 2000
NO	SI	0.00 %	25.00 %
NO	SI	0.00 %	25.00 %
NO	NO	0.00 %	0.00 %
NO	SI	0.00 %	25.00 %
TOTAL =		0.00 %	75.00 %

Fuente: Elaboración propia



3.6.2 Turbiedad.

Se realizó un promedio diario de las turbiedades de agua cruda, ingreso a reservorio y salida de reservorio.

Tabla N° 30: Promedio diario de turbiedades del mes de enero del

DIA	TURBIEDAD A.C	TURBIEDAD INGRESO RESERVORIO	TURBIEDAD SALIDA DE RESERVORIO
1	4.82	2.41	2.80
2	4.44	2.39	2.79
3	4.14	2.64	2.74
4	5.67	2.47	2.75
5	14.69	3.01	3.40
6	4.19	2.76	3.01
7	3.95	2.74	2.85
8	4.21	2.64	2.70
9	4.83	2.48	2.67
10	4.52	2.50	2.73
11	5.62	2.11	2.97
12	8.93	2.48	3.28
13	5.38	2.09	3.01
14	4.69	2.43	3.25
15	4.50	2.19	2.89
16	4.60	2.85	2.64
17	4.43	2.16	2.70
18	5.92	2.88	2.79
19	4.62	2.47	2.70
20	4.27	2.24	2.73
21	4.91	2.20	2.77
22	3.77	2.37	2.86
23	4.92	2.33	2.82
24	3.84	2.38	2.97
25	4.07	2.40	2.95
26	3.61	2.25	2.77
27	3.81	2.40	3.02
28	3.83	2.38	2.70
29	3.46	1.93	2.40
30	3.55	1.85	2.39
31	3.40	2.08	2.48

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 31: Promedio diario de turbiedades del mes de febrero del 2010

DIA	TURBIEDAD A.C	TURBIEDAD INGRESO RESERVORIO	TURBIEDAD SALIDA DE RESERVORIO
1	6.02	2.18	2.54
2	5.28	2.03	2.80
3	3.49	1.63	2.56
4	3.10	2.10	2.36
5	3.85	1.87	2.24
6	3.22	1.42	2.27
7	3.17	1.19	2.22
8	2.87	1.43	2.00
9	3.63	1.42	2.15
10	2.73	1.03	1.91
11	2.49	0.92	1.63
12	4.83	1.21	2.36
13	3.00	0.98	2.20
14	3.04	0.64	1.85
15	2.86	0.63	1.88
16	3.09	0.63	1.73
17	5.57	0.90	2.29
18	2.63	0.74	1.69
19	2.32	0.97	1.53
20	2.85	0.72	1.57
21	2.47	0.67	1.62
22	2.27	0.59	1.56
23	2.13	0.55	1.39
24	1.99	0.62	1.32
25	2.19	0.60	1.36
26	2.41	0.54	1.41
27	2.53	0.60	1.45
28	1.99	0.62	1.32

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 32: Promedio diario de turbiedades del mes de marzo del 2019.

DIA	TURBIEDAD A.C	TURBIEDAD INGRESO RESERVORIO	TURBIEDAD SALIDA DE RESERVORIO
1	2.46	0.67	1.57
2	2.29	0.71	1.55
3	2.41	0.60	1.56
4	2.39	0.81	1.47
5	4.51	1.76	2.45
6	9.13	2.10	2.14
7	3.18	0.89	2.15
8	2.31	0.58	1.64
9	2.50	0.65	1.70
10	2.47	0.67	1.53
11	2.41	0.70	1.60
12	4.08	0.89	1.99
13	2.68	0.74	1.84
14	2.53	0.72	1.66
15	2.45	0.57	1.55
16	2.13	0.63	1.44
17	6.23	0.73	1.84
18	2.62	0.58	1.40
19	6.63	1.64	2.40
20	3.02	0.73	1.75
21	12.50	0.63	1.32
22	5.87	2.77	1.60
23	2.82	0.75	1.95
24	3.21	1.24	2.02
25	3.34	1.34	1.96
26	2.90	1.72	1.82
27	2.99	1.36	1.43
28	2.34	1.21	1.30
29	2.00	0.95	1.06
30	1.57	0.82	0.91
31	1.55	0.88	0.95

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 33: Promedio diario de turbiedades del mes de abril del 2019.

DIA	TURBIEDAD A.C	TURBIEDAD INGRESO RESERVORIO	TURBIEDAD SALIDA DE RESERVORIO
1	1.57	0.93	1.01
2	1.54	0.92	0.89
3	1.53	0.96	0.98
4	1.29	0.85	0.84
5	1.30	0.83	0.83
6	1.42	0.80	0.94
7	1.13	0.57	0.59
8	1.22	0.58	0.58
9	1.04	0.61	0.64
10	1.13	0.62	0.66
11	0.86	0.59	0.61
12	0.94	0.60	0.61
13	1.03	0.59	0.64
14	0.88	0.54	0.59
15	0.87	0.66	0.62
16	0.85	0.58	0.65
17	0.90	0.58	0.66
18	0.82	0.59	0.61
19	0.96	0.67	0.53
20	0.85	0.56	0.60
21	0.81	0.59	0.67
22	1.09	0.59	0.63
23	2.18	0.75	0.78
24	1.10	0.75	0.71
25	0.70	0.56	0.47
26	0.69	0.38	0.42
27	0.81	0.44	0.47
28	0.72	0.41	0.44
29	0.73	0.38	0.42
30	0.63	0.40	0.39

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 34: Promedio diario de turbiedades del mes de mayo del 2019.

DIA	TURBIEDAD A.C	TURBIEDAD INGRESO RESERVORIO	TURBIEDAD SALIDA DE RESERVORIO
1	0.62	0.37	0.39
2	0.70	0.41	0.44
3	0.68	0.41	0.41
4	0.64	0.37	0.35
5	0.67	0.34	0.37
6	0.69	0.38	0.37
7	0.73	0.37	0.37
8	0.73	0.37	0.38
9	0.64	0.35	0.34
10	0.64	0.32	0.36
11	0.73	0.40	0.37
12	0.66	0.45	0.38
13	0.69	0.34	0.32
14	0.76	0.33	0.35
15	0.74	0.34	0.35
16	0.68	0.32	0.37
17	0.77	0.41	0.37
18	0.80	0.42	0.39
19	0.87	0.36	0.42
20	0.87	0.40	0.37
21	0.85	0.37	0.36
22	0.85	0.39	0.39
23	0.86	0.42	0.42
24	0.84	0.34	0.34
25	0.84	0.49	0.41
26	0.83	0.38	0.39
27	0.93	0.40	0.41
28	0.88	0.39	0.37
29	0.94	0.38	0.40
30	0.91	0.46	0.43
31	0.96	0.48	0.42

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 35: Promedio diario de turbiedades del mes de junio del 2019.

DIA	TURBIEDAD A.C	TURBIEDAD INGRESO RESERVORIO	TURBIEDAD SALIDA DE RESERVORIO
1	0.83	0.45	0.43
2	0.89	0.44	0.44
3	0.92	0.41	0.43
4	0.95	0.41	0.43
5	1.01	0.43	0.44
6	0.99	0.48	0.47
7	0.91	0.44	0.45
8	1.03	0.55	0.60
9	0.92	0.46	0.48
10	0.88	0.41	0.43
11	0.89	0.46	0.45
12	0.91	0.56	0.49
13	1.07	0.60	0.56
14	1.00	0.51	0.54
15	1.02	0.51	0.53
16	1.14	0.61	0.56
17	0.95	0.49	0.50
18	1.24	0.63	0.65
19	1.21	0.74	0.84
20	1.03	0.71	0.60
21	0.90	0.64	0.59
22	0.85	0.46	0.49
23	0.99	0.67	0.61
24	0.96	0.56	0.54
25	0.92	0.55	0.54
26	0.93	0.53	0.49
27	0.91	0.47	0.45
28	0.93	0.49	0.53
29	0.91	0.56	0.49
30	0.93	0.62	0.60

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla N° 35** se puede apreciar los días acumulados correspondiente a los meses de estudio, teniendo en el mes de enero 31 días, febrero 59 días, marzo 90 días, mayo 151 días y junio 181 días.

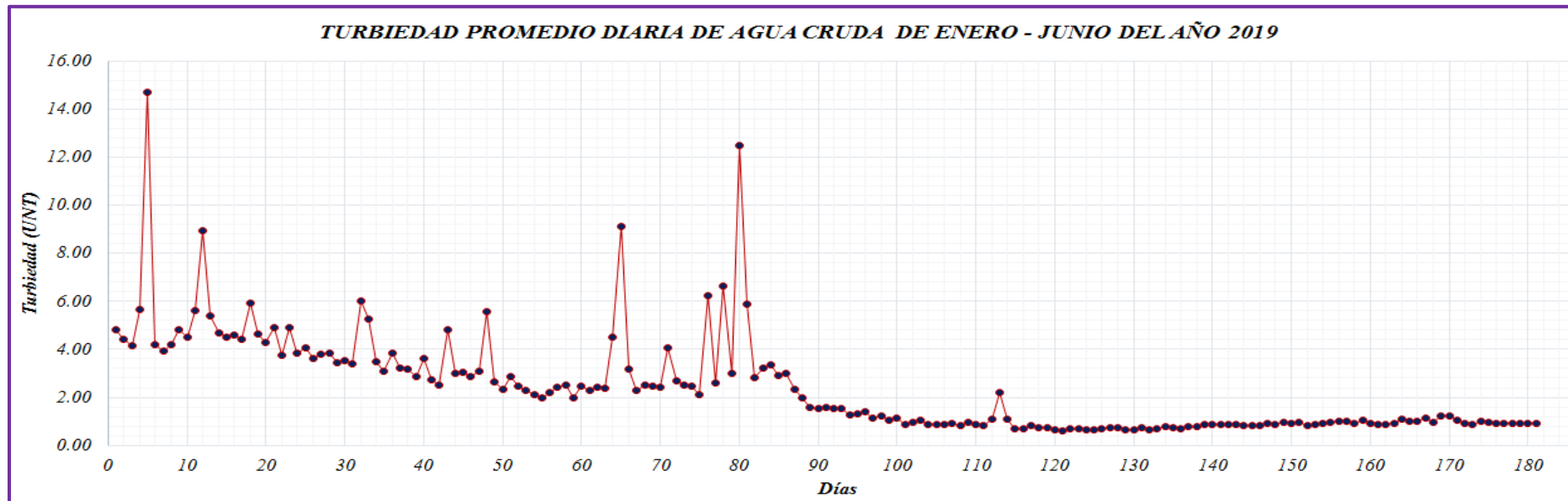
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
31	59	90	120	151	181

Tabla N° 36: Frecuencia acumulada de días para el gráfico.

Fuente: Elaboración propia.

Con el promedio diario de las turbiedades de agua cruda, se realizó un gráfico para analizar las variaciones existentes durante los 181 días comprendidos en el estudio. Se puede observar en el grafico turbiedades altas en los meses enero y marzo, turbiedades promedio en el mes de febrero y turbiedades bajas en los meses abril, mayo y junio.

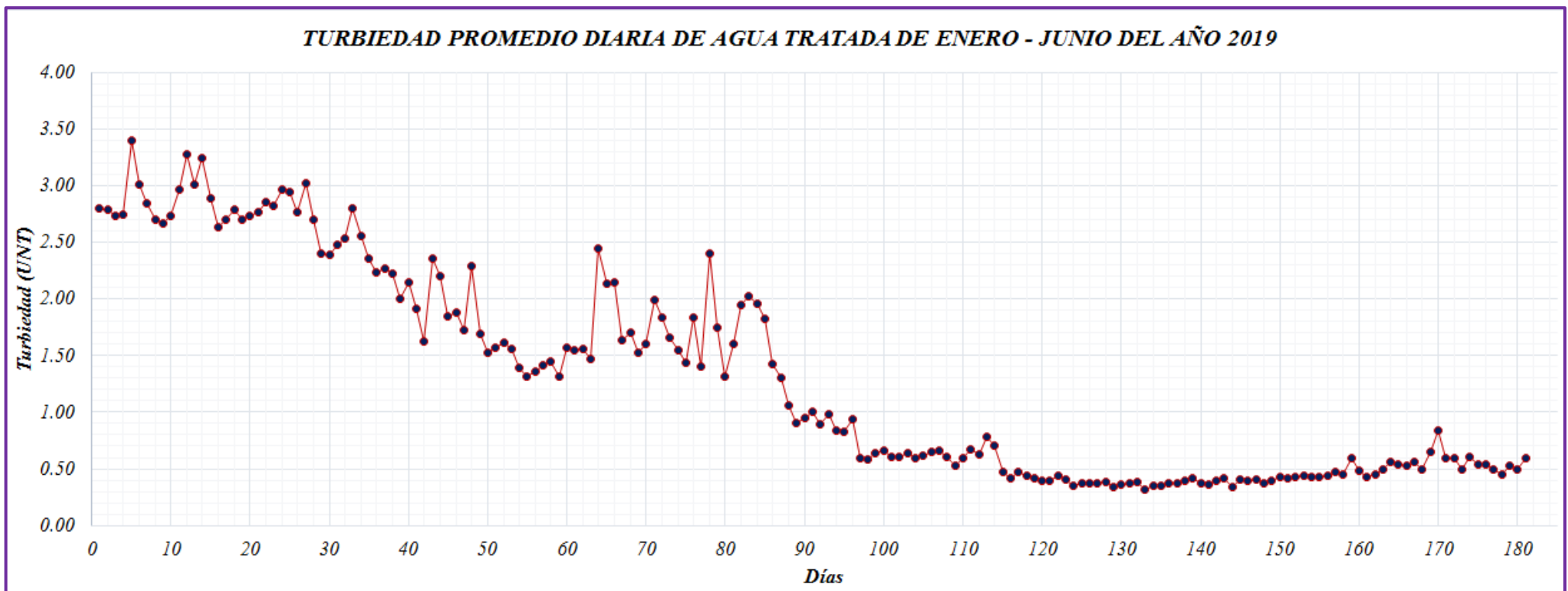
Figura N° 22: Turbiedad promedio diaria de agua cruda de enero - junio del 2019



Fuente: Elaboración propia.

Con el promedio diario de las turbiedades de agua tratada, se realizó un gráfico para analizar las variaciones existentes durante los 181 días comprendidos en el estudio. En el grafico se puede observar que se obtuvo turbiedades mayores a 2 UNT los meses de enero, febrero, marzo. Los meses siguientes se tuvo turbiedades inferiores a 2 UNT.

Figura N° 23: Turbiedad promedio diaria de agua tratada de enero a junio del año 2019.



Fuente: Elaboración propia.

En los siguientes gráficos se realizó una comparación de las turbiedades en las diferentes partes del proceso de filtración, podemos apreciar la variación de la turbiedad de acuerdo al paso del agua; antes de entrar a los filtros, antes de entrar al reservorio y al momento de salir del reservorio.

Se puede apreciar en el gráfico que los días 5 y 12 de enero se presentaron turbiedades altas.

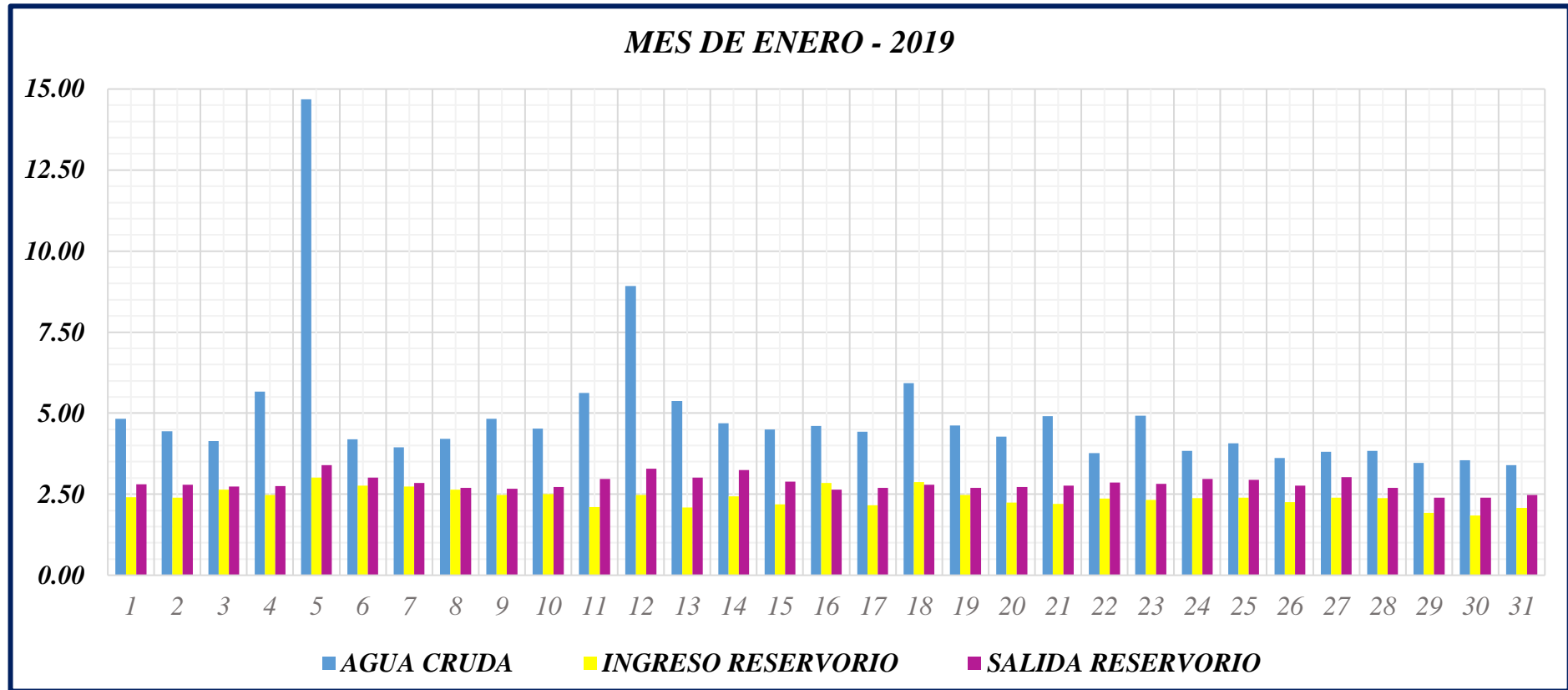


Figura N° 24: Turbiedad del mes de enero 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.

Fuente: Elaboración propia.

En el mes de febrero apreciamos que las turbiedades elevadas se tuvieron los días 1, 12 y 17 de enero.

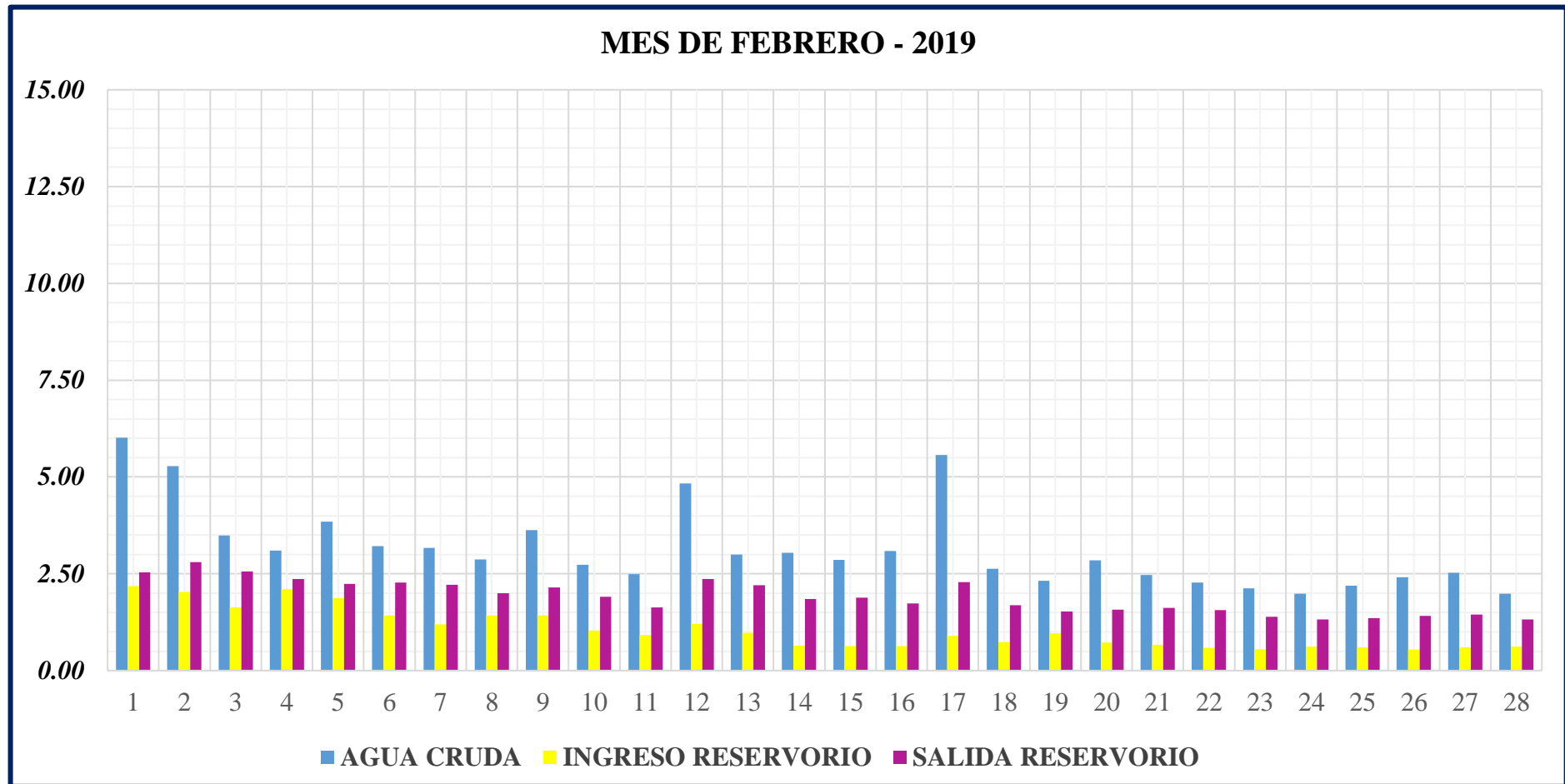


Figura N° 25: Turbiedad del mes de febrero 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.

Fuente: Elaboración propia.

En el mes de marzo podemos apreciar turbiedades altas los días 6, 19 y 21 de marzo.

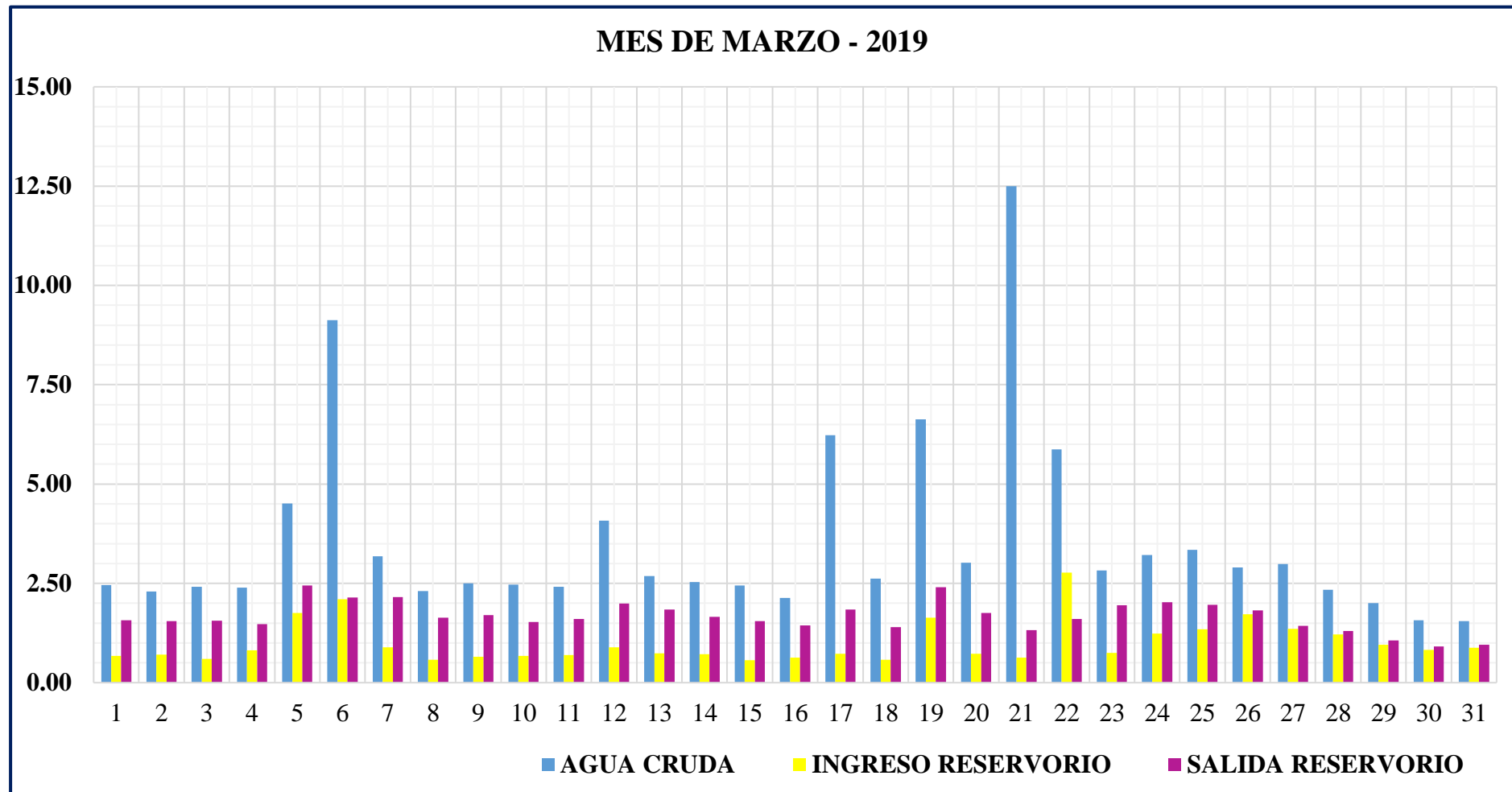


Figura N° 26: Turbiedad del mes de marzo 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.

Fuente: Elaboración propia

En el mes de abril, se obtuvieron turbiedades inferiores a 2.5 UNT.

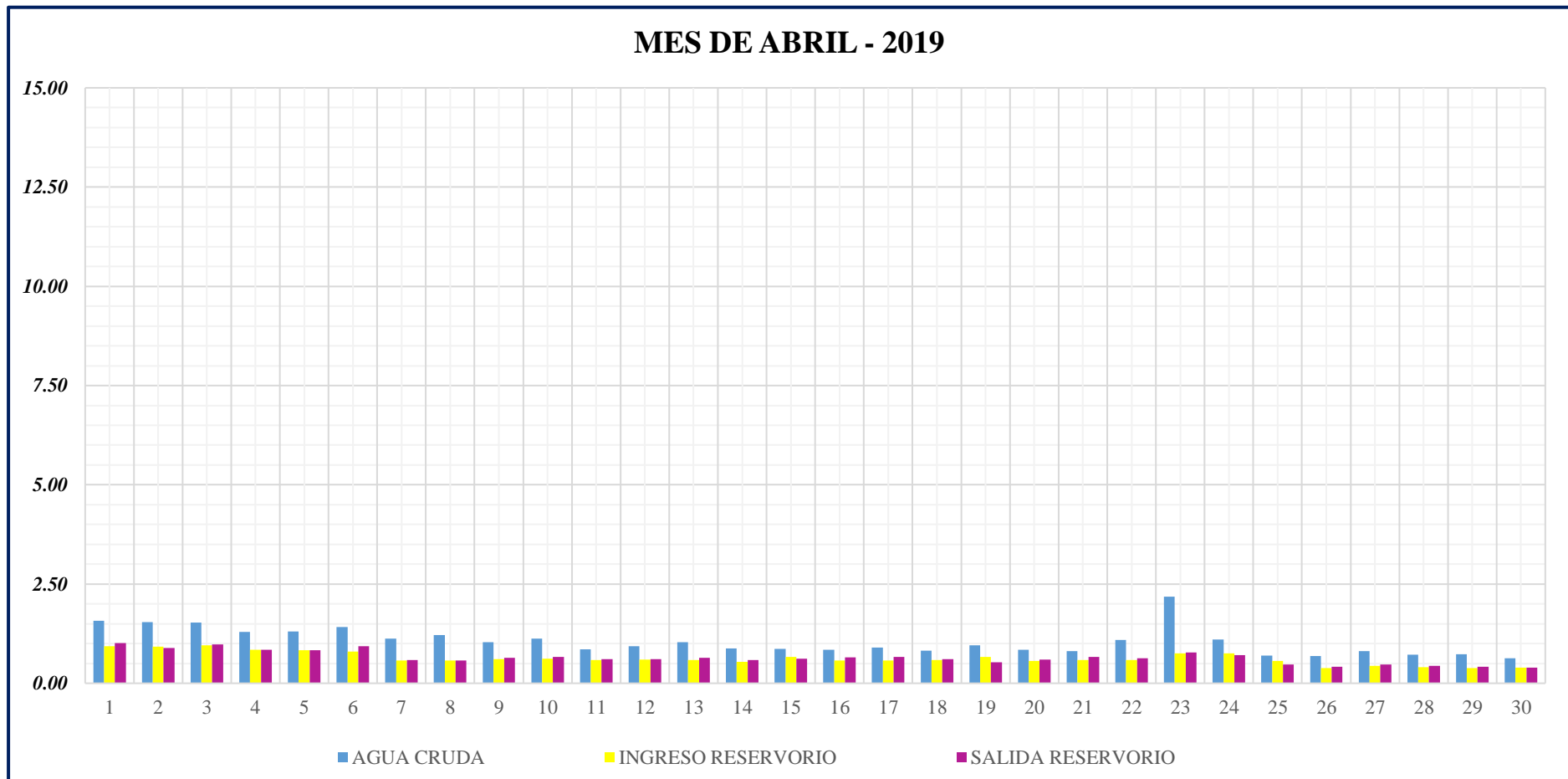


Figura N° 27: Turbiedad del mes abril 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.

Fuente: Elaboración propia.



En el mes de mayo se obtuvieron turbiedades inferiores a u 2 UNT.

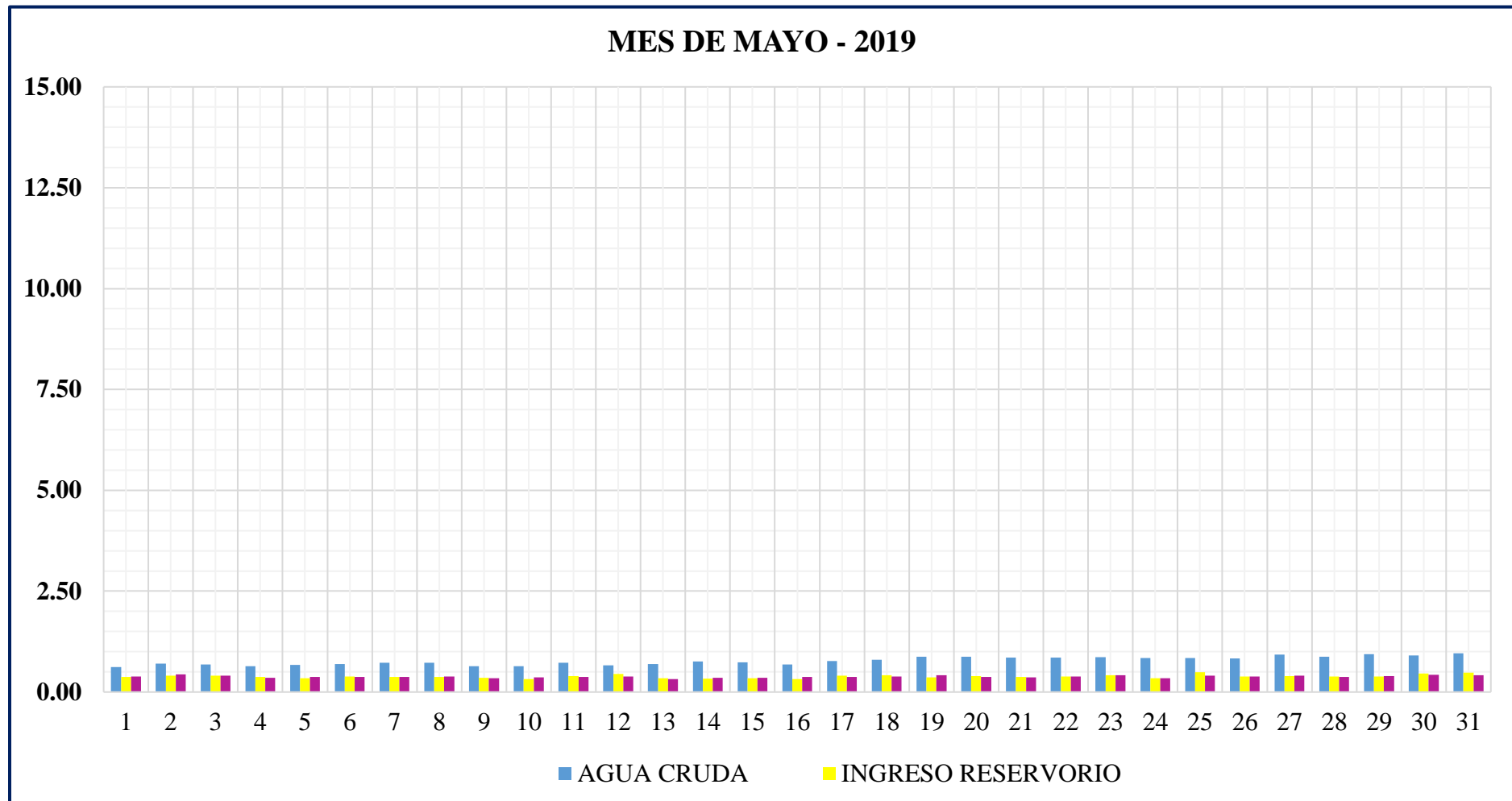


Figura N° 28: Turbiedad del mes de mayo 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.
Fuente: Elaboración propia.

En el mes de mayo se obtuvieron turbiedades inferiores a u 2 UNT.

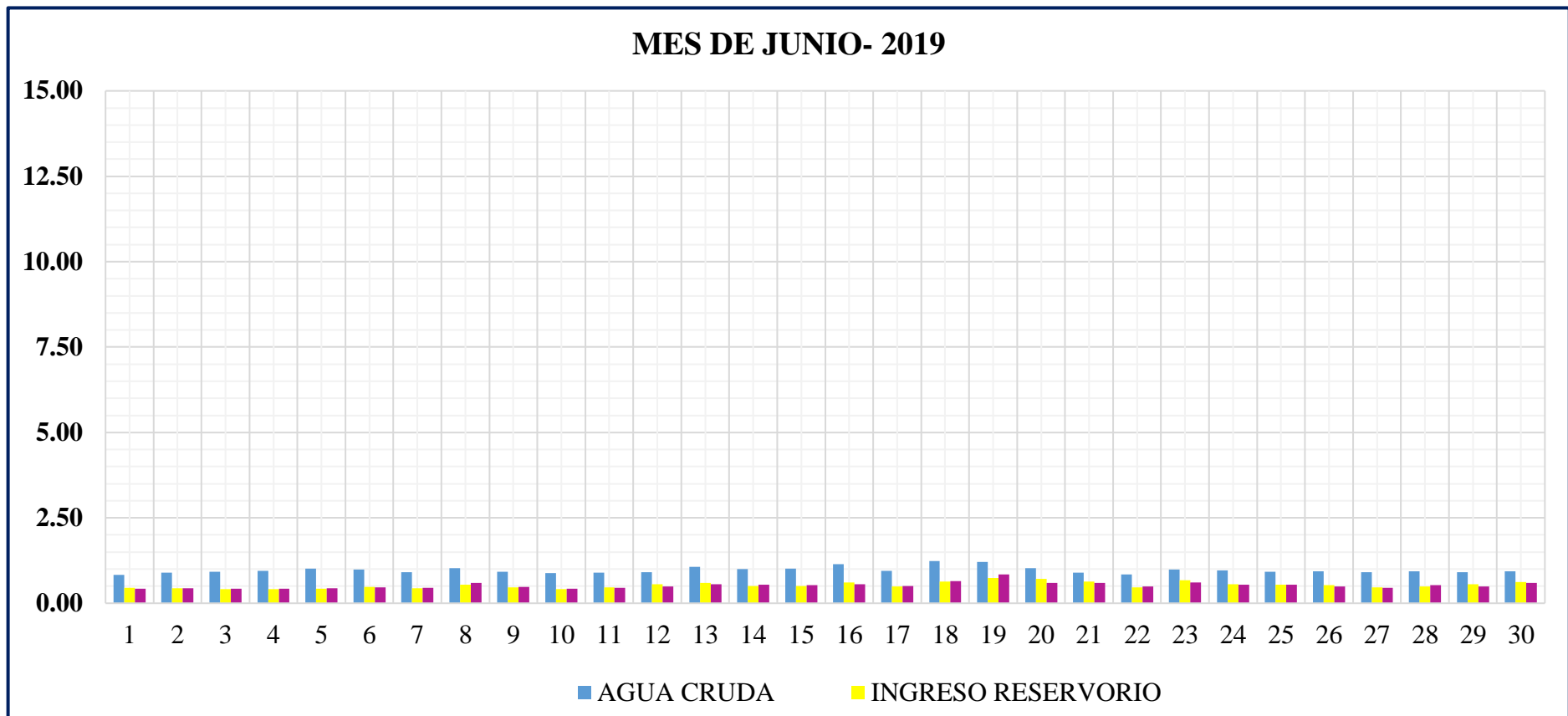


Figura N° 29: Turbiedad del mes de junio 2019. Agua Cruda, Ingreso al reservorio y Salida del reservorio.

Fuente: Elaboración propia

Se evaluaron los datos de turbiedad de agua cruda, ingreso a reservorio y salida a reservorio de los promedios diarios, de acuerdo con los parámetros de la norma peruana OS.020 y la norma técnica colombiana RAS 2000.

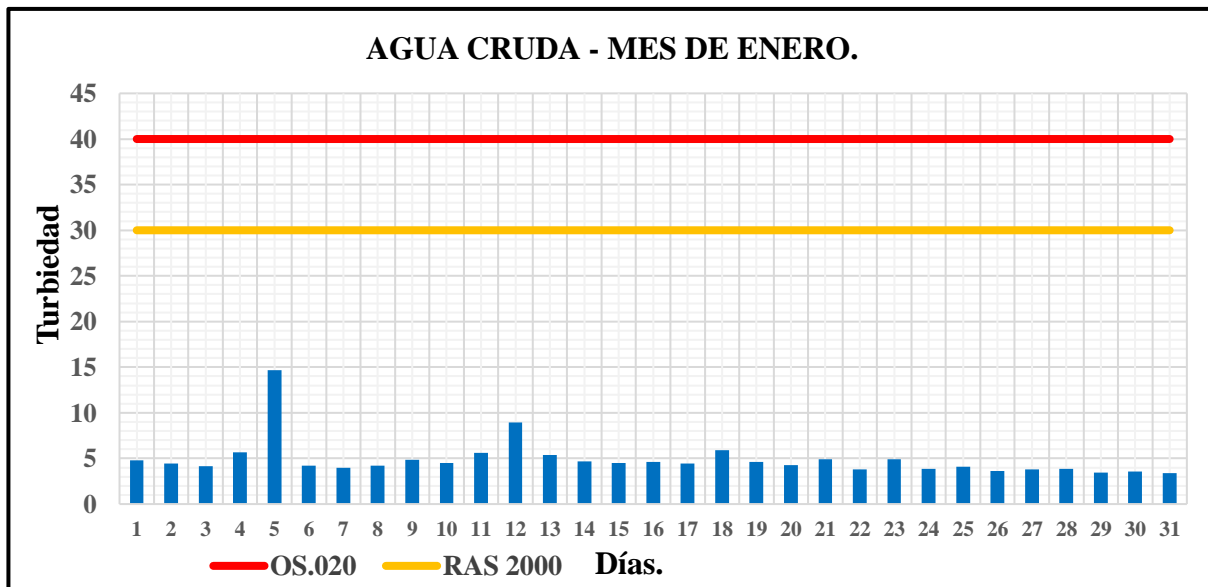
Tabla N° 37: *Parámetros de evaluación de las normas OS.020 y RAS 2000.*

PARAMETROS AGUA CRUDA		PARAMETROS INGRESO RESERVORIO		VALOR EFICIENTE
OS.20	RAS 2000	OS.20	RAS 2000	OS.20 - RAS 2000
40 UNT	30 UNT	5 UNT	5 UNT	2 UNT

Fuente: *Elaboración propia.*

En el siguiente gráfico, se puede apreciar una comparación de parámetros entre las normas OS.020 y RAS 2000 de las turbiedades de agua cruda del mes de enero del presente año, el agua cruda cumple con los parámetros proporcionados por la norma OS.020 la cual establece un límite de 40 UNT para agua cruda; cumple con la norma colombiana RAS 2000, la cual establece un límite 30 UNT para turbiedades de agua cruda.

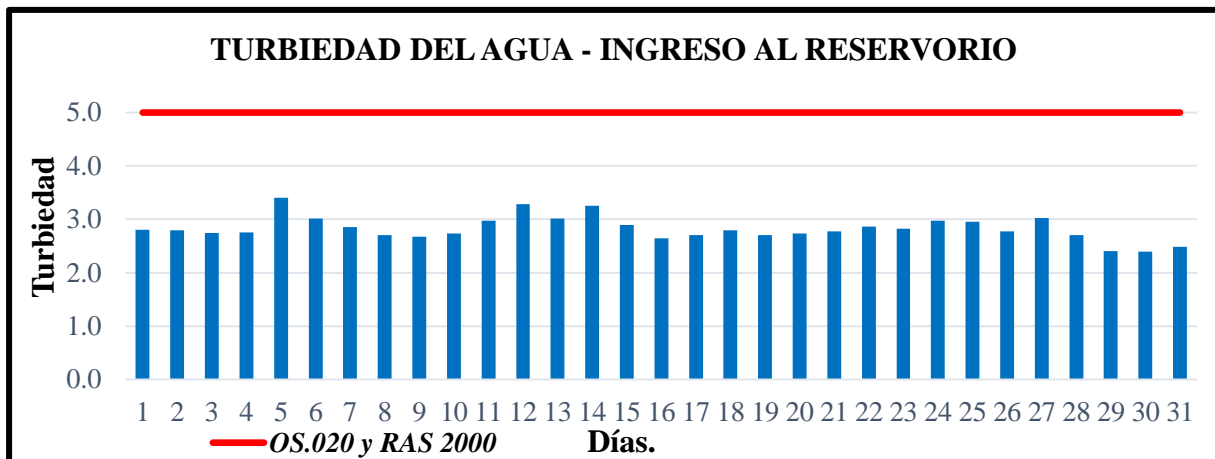
Figura N° 30: *Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de enero.*



Fuente: *Elaboración propia.*

En el siguiente gráfico, se puede apreciar que las turbiedades del agua al ingreso del reservorio correspondientes al mes de enero del presente año cumplen con los parámetros proporcionados por la norma OS.020 y por la RAS 2000, las cuales establecen como valor máximo para turbiedad de agua potable 5 UNT.

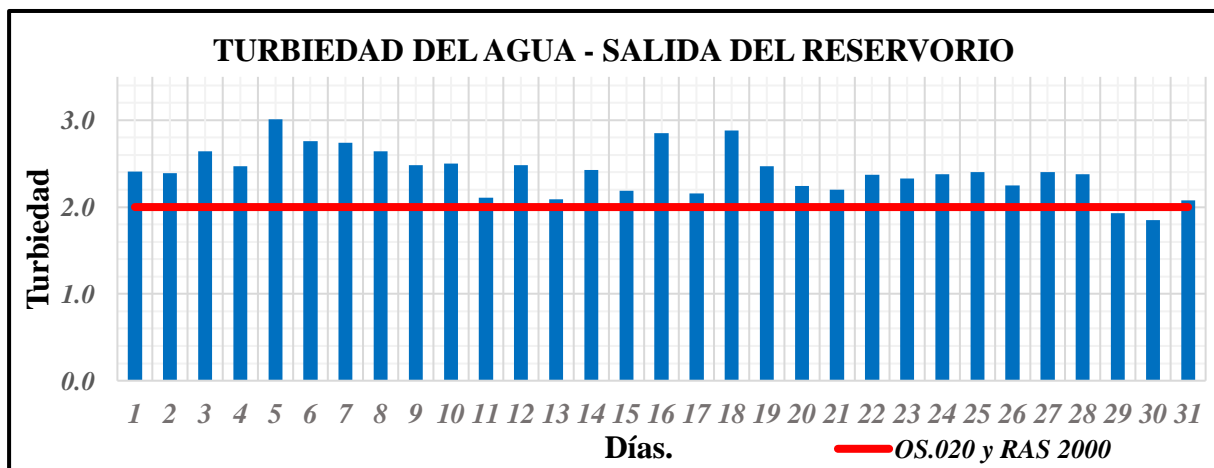
Figura N° 31: Turbiedad del agua ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de enero.



Fuente: Elaboración propia.

Según la norma OS.020 y RAS 2000 se considera un tratamiento eficiente cuando el valor de turbiedad de agua potable no supera 2 UNT. En el mes de enero, según el siguiente gráfico se puede observar que en este mes no se obtuvo un tratamiento eficiente.

Figura N° 32: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de enero.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la frecuencia acumulada de las turbiedades del mes de enero.

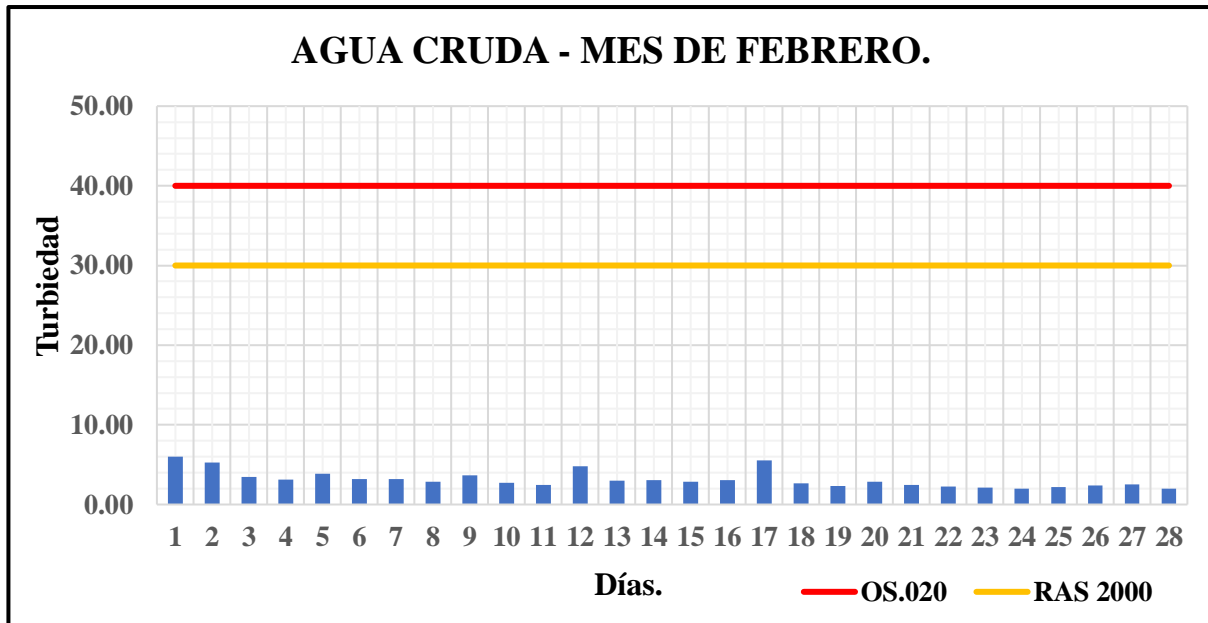
Tabla N° 38: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de enero.

TURBIEDAD (UNT)	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
0.10	0.00	0.00%	0.00%
2.00	2.00	6.45%	6.45%
5.00	29.00	93.55%	100.00%
5 a mas	0.00	0.00%	100.00%
TOTAL =	31.00		

Fuente: Elaboración propia.

En los siguientes gráficos se realizó el mismo procedimiento para cada mes. En el mes de febrero el agua cruda cumplió con los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000.

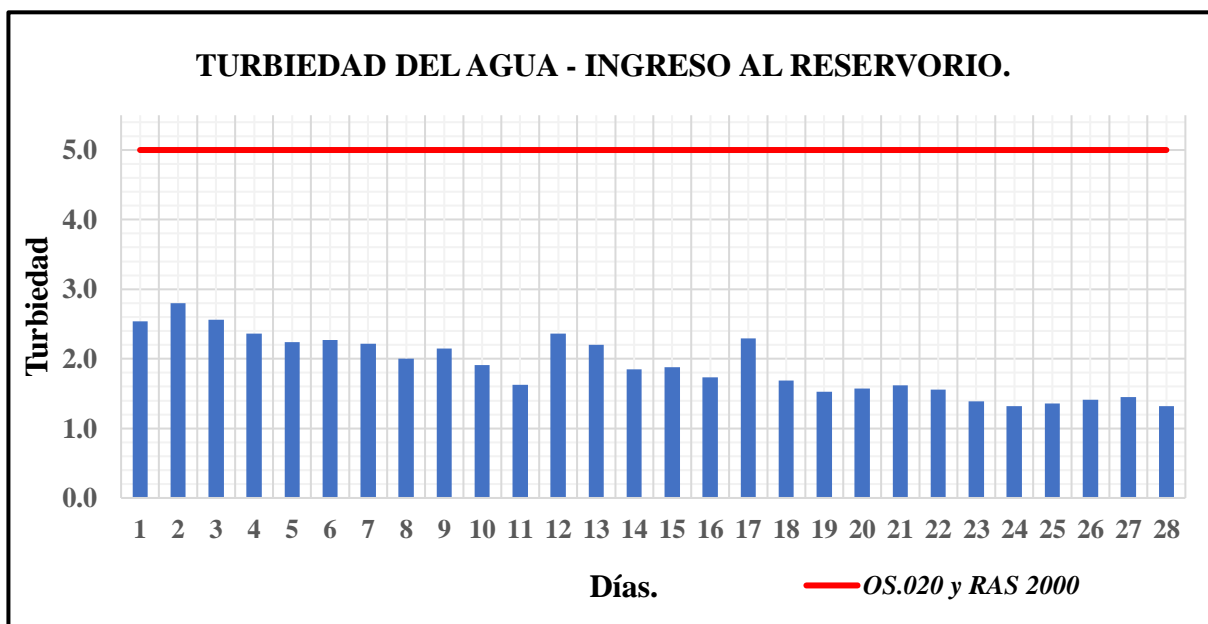
Figura N° 33: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de febrero.



Fuente: Elaboración propia.

En el mes de febrero, la turbiedad del agua no sobrepasa los límites establecidos por la norma OS.020 y RAS 2000.

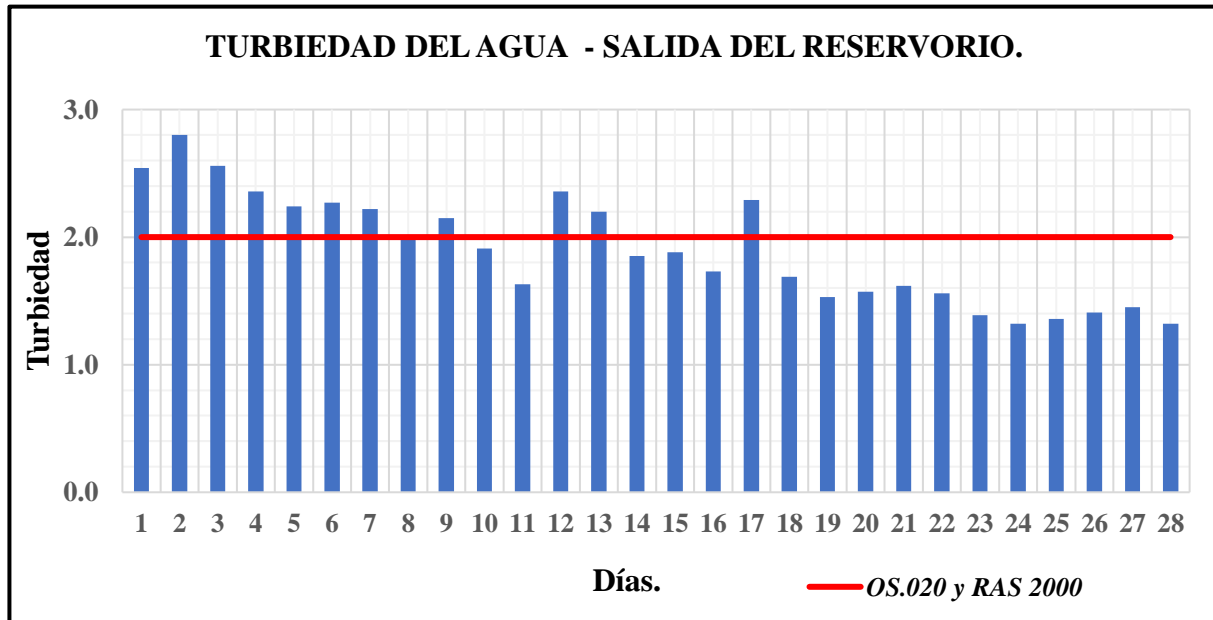
Figura N° 34: Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de febrero.



Fuente: Elaboración propia.

Según la norma OS.020 y RAS 2000 se considera un tratamiento eficiente cuando el valor de turbiedad de agua potable no supera 2 UNT. En el mes de febrero, según el siguiente gráfico se puede observar que se obtuvo el 80% del tiempo un tratamiento eficiente.

Figura N° 35: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de febrero.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la frecuencia acumulada de las turbiedades del mes de febrero.

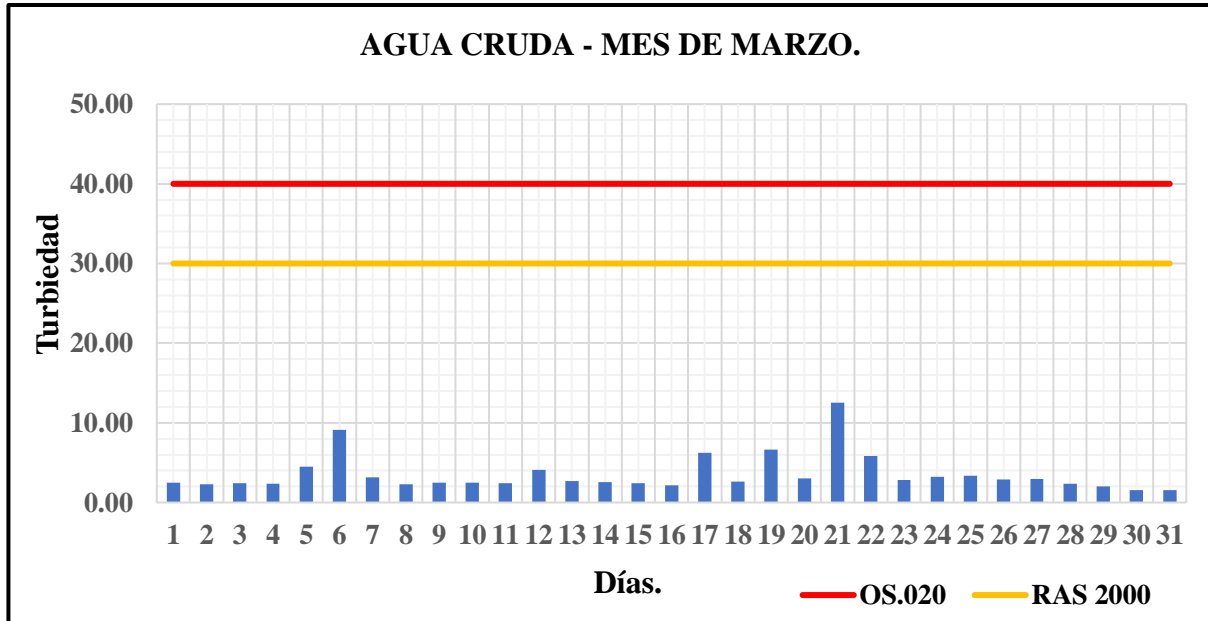
Tabla N° 39: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de febrero.

TURBIEDAD (UNT)	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
0.1	0.00	0.00%	0.00%
2.0	25.00	89.29%	89.29%
5.0	3.00	10.71%	100.00%
5 a mas	0.00	0.00%	100.00%
TOTAL =	28.00		

Fuente: Elaboración propia.

En el mes de marzo, la turbiedad del agua cruda no sobrepasa los límites establecidos por la norma OS.020 y RAS 2000.

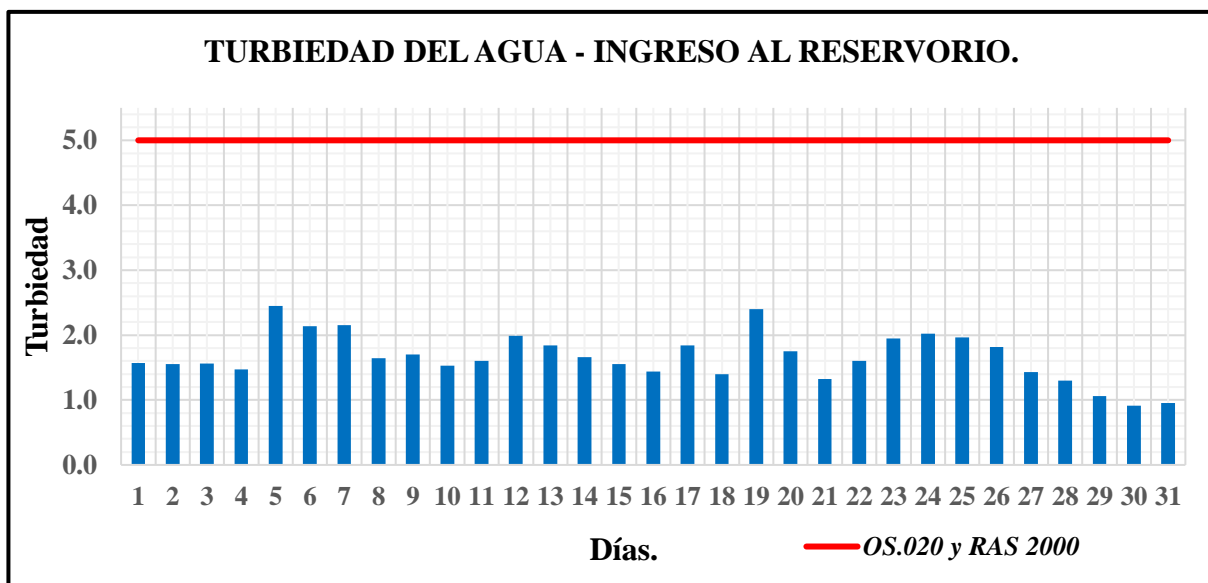
Figura N° 36: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de marzo.



Fuente: Elaboración propia.

En el mes de marzo, la turbiedad del agua no sobrepasa el límite de 5 UNT, parámetro establecido por la norma OS.020 y RAS 2000.

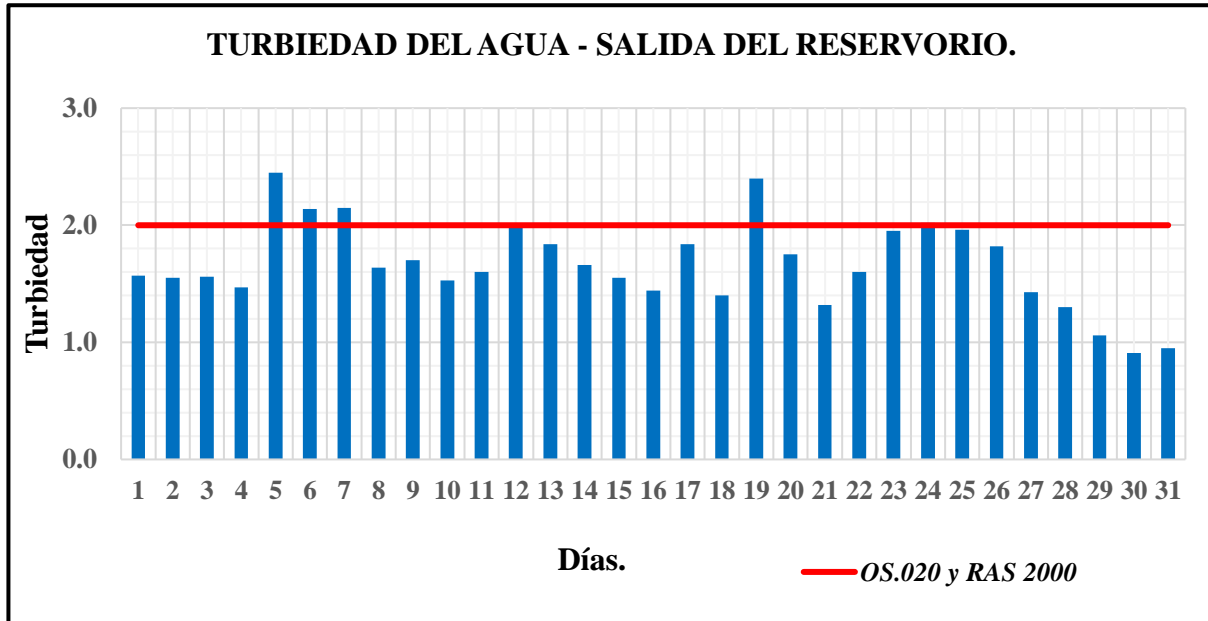
Figura N° 37: Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de marzo.



Fuente: Elaboración propia.

En el mes de marzo se obtuvo cuatro días donde las turbiedades sobrepasaron las 2 UNT, el resto de los días del mes de marzo se tuvo turbiedades menores a las 2 UNT.

Figura N° 38: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de marzo.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la frecuencia acumulada de las turbiedades del mes de marzo.

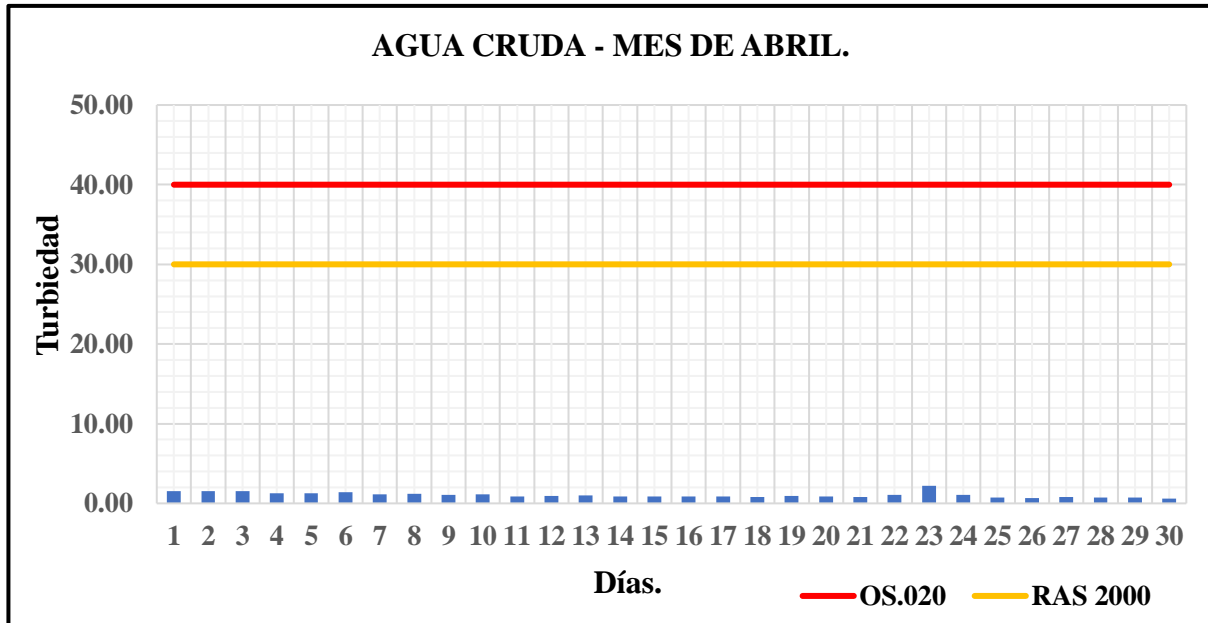
Tabla N° 40: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de marzo.

TURBIEDAD (UNT)	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
0.1	0.00	0.00%	0.00%
2	29.00	93.55%	93.55%
5	2.00	6.45%	100.00%
5 a mas	0.00	0.00%	100.00%
TOTAL =	31.00		

Fuente: Elaboración propia.

En el mes de abril, la turbiedad del agua cruda no sobrepasa los límites establecidos por la norma OS.020 y RAS 2000.

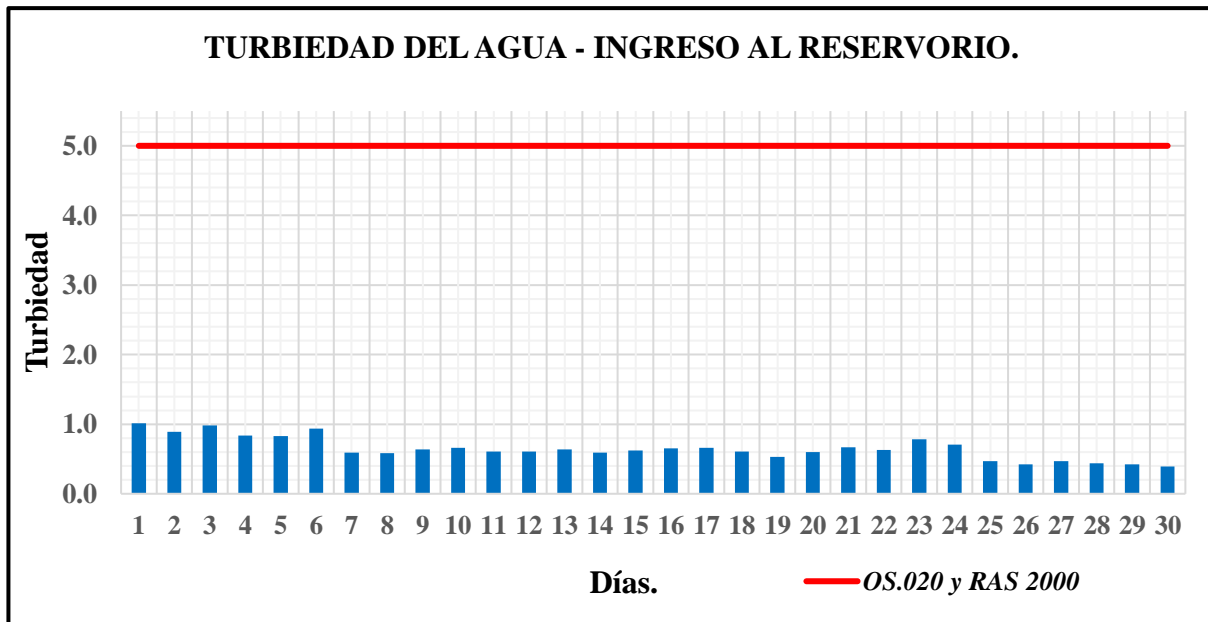
Figura N° 39: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de abril.



Fuente: Elaboración propia.

En el mes de abril, la turbiedad del agua no sobrepasa el límite de 5 UNT, parámetro establecido por la norma OS.020 y RAS 2000.

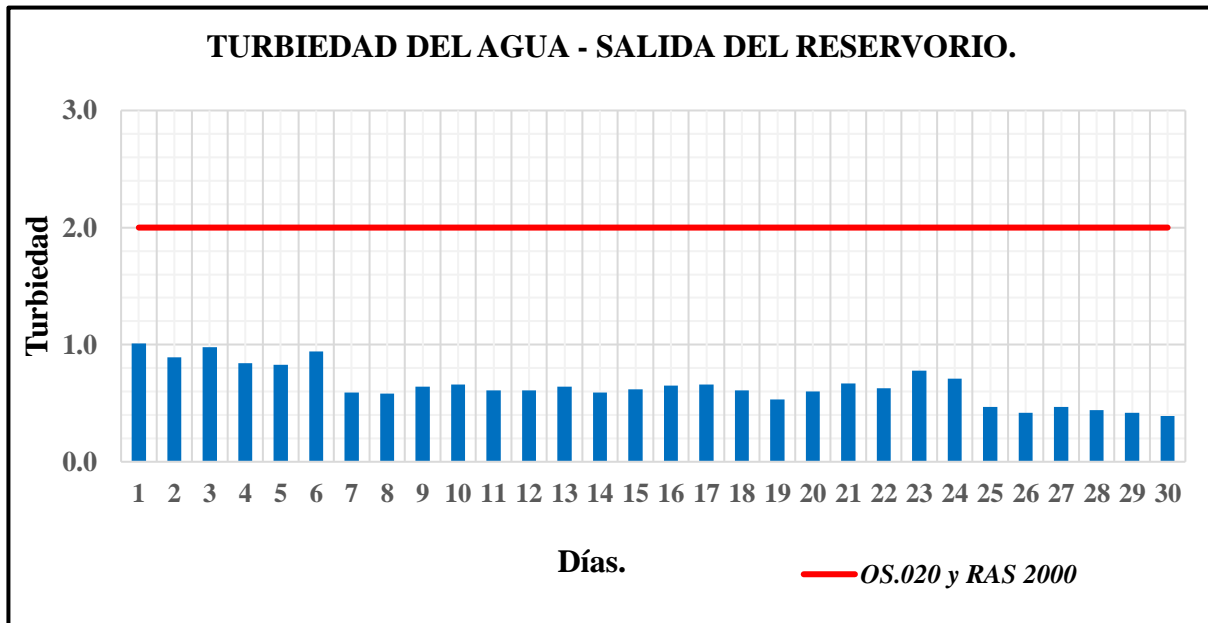
Figura N° 40: Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de abril.



Fuente: Elaboración propia.

En el mes de abril, no se tuvo turbiedades que sobrepasen las 2 UNT.

Figura N° 41: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de abril.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la frecuencia acumulada de las turbiedades del mes de abril.

Tabla N° 41: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de abril.

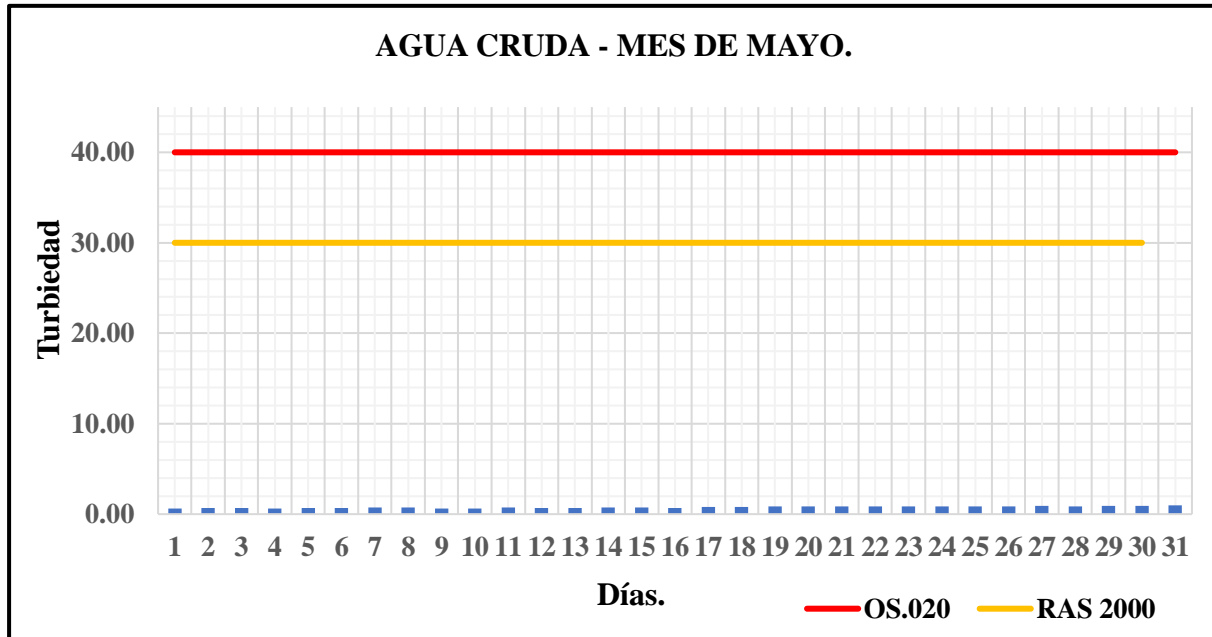
TURBIEDAD (UNT)	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
0.1	0.00	0.00%	0.00%
2	30.00	100.00%	100.00%
5	0.00	0.00%	100.00%
5 a mas	0.00	0.00%	100.00%

TOTAL = 30.00

Fuente: Elaboración propia.

En el mes de mayo la turbiedad del agua cruda no sobrepasa los límites establecidos por la norma OS.020 y RAS 2000.

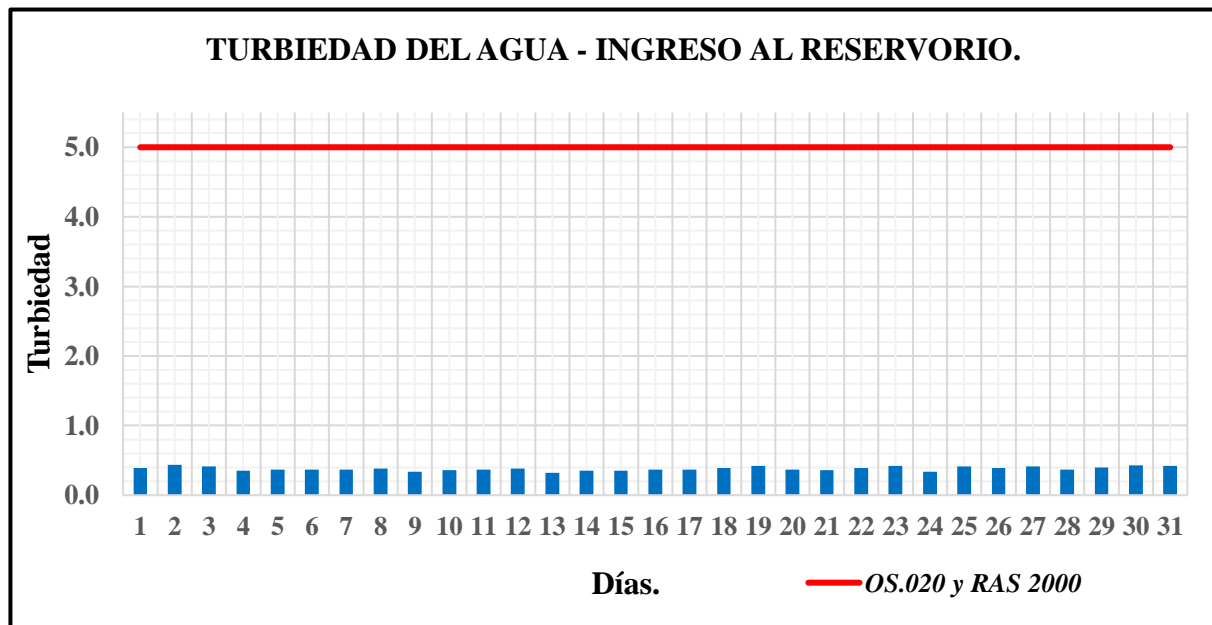
Figura N° 42: *Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de mayo.*



Fuente: *Elaboración propia.*

En el mes de mayo la turbiedad del agua no sobrepasa el límite de 5 UNT, parámetro establecido por la norma OS.020 y RAS 2000.

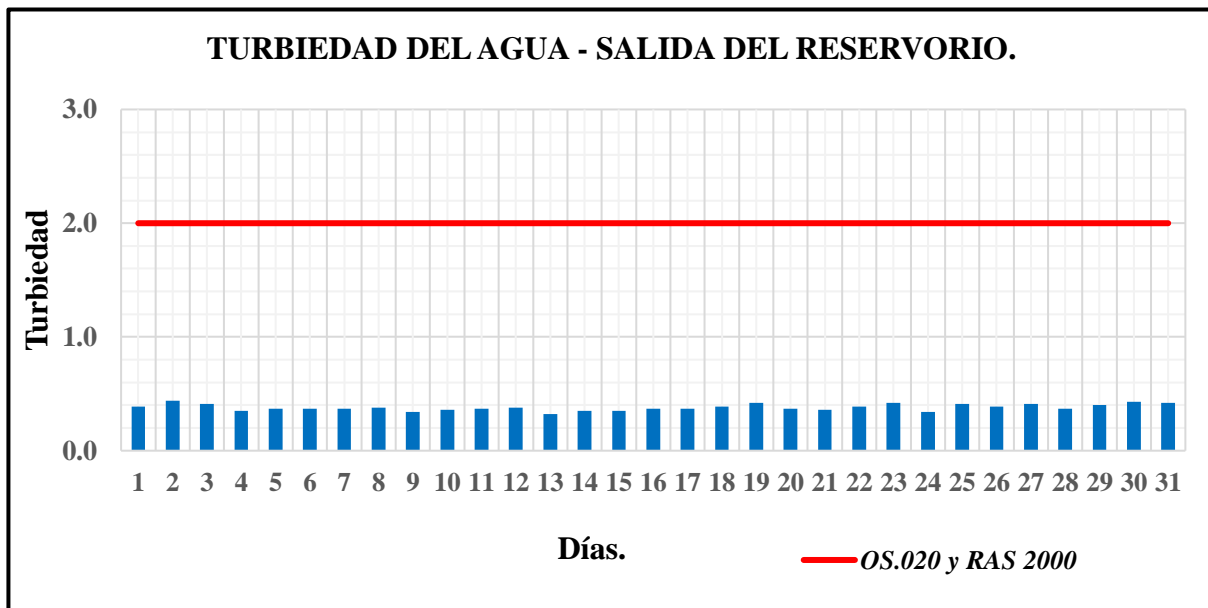
Figura N° 43: *Turbiedad del agua – ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de mayo.*



Fuente: *Elaboración propia.*

En el mes de mayo, no se tuvo turbiedades que sobrepasen las 2 UNT.

Figura N° 44: Valor eficiente de turbiedad - salida del reservorio según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la frecuencia acumulada de las turbiedades del mes de mayo.

Tabla N° 42: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de mayo.

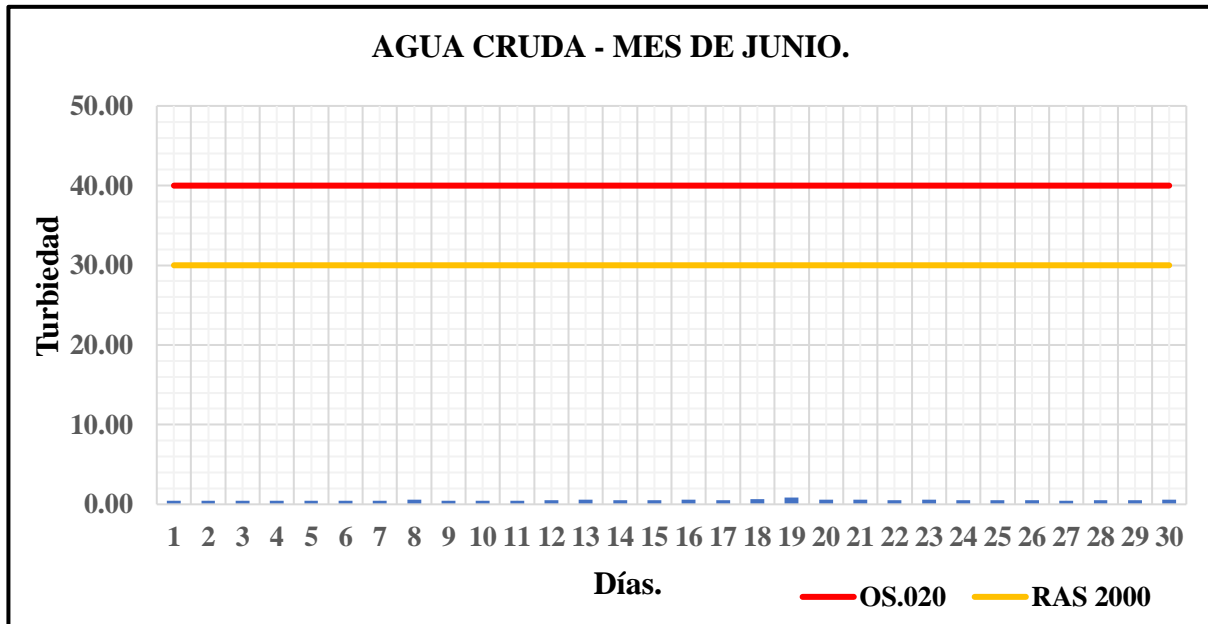
TURBIEDAD (UNT)	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
0.1	0.00	0.00%	0.00%
2	31.00	100.00%	100.00%
5	0.00	0.00%	100.00%
5 a mas	0.00	0.00%	100.00%

TOTAL = 31.00

Fuente: Elaboración propia.

En el mes de junio la turbiedad del agua cruda no sobrepasa los límites establecidos por la norma OS.020 y RAS 2000.

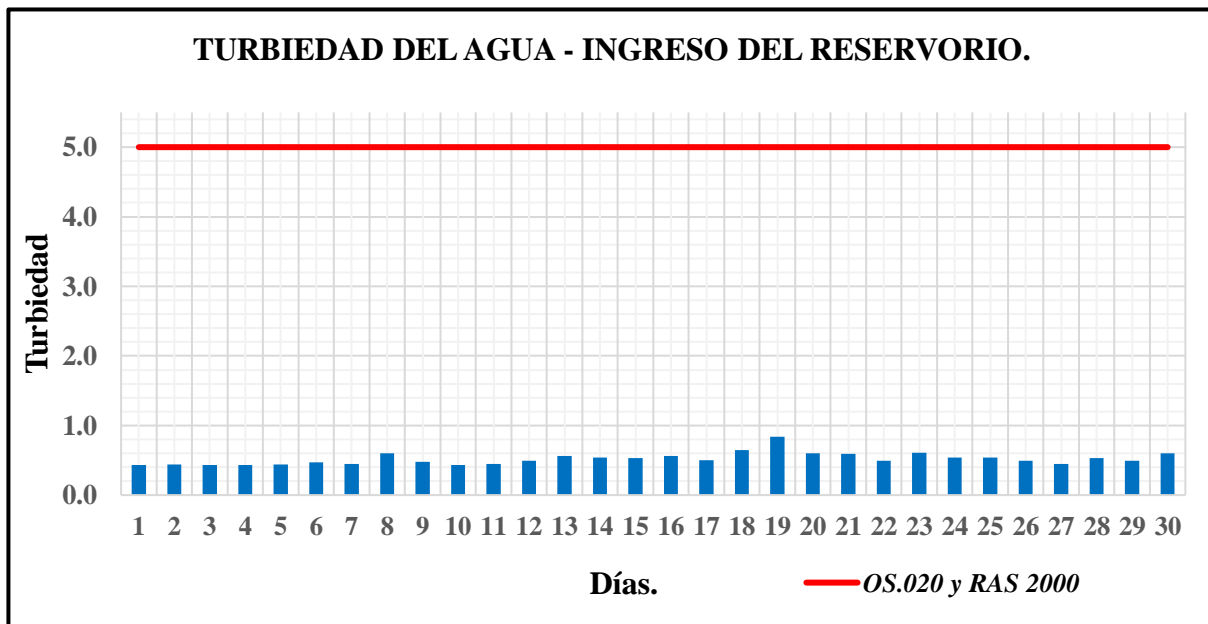
Figura N° 45: Turbiedad de agua cruda utilizando parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de junio.



Fuente: Elaboración propia.

En el mes de junio la turbiedad del agua no sobrepasa el límite de 5 UNT, parámetro establecido por la norma OS.020 y RAS 2000.

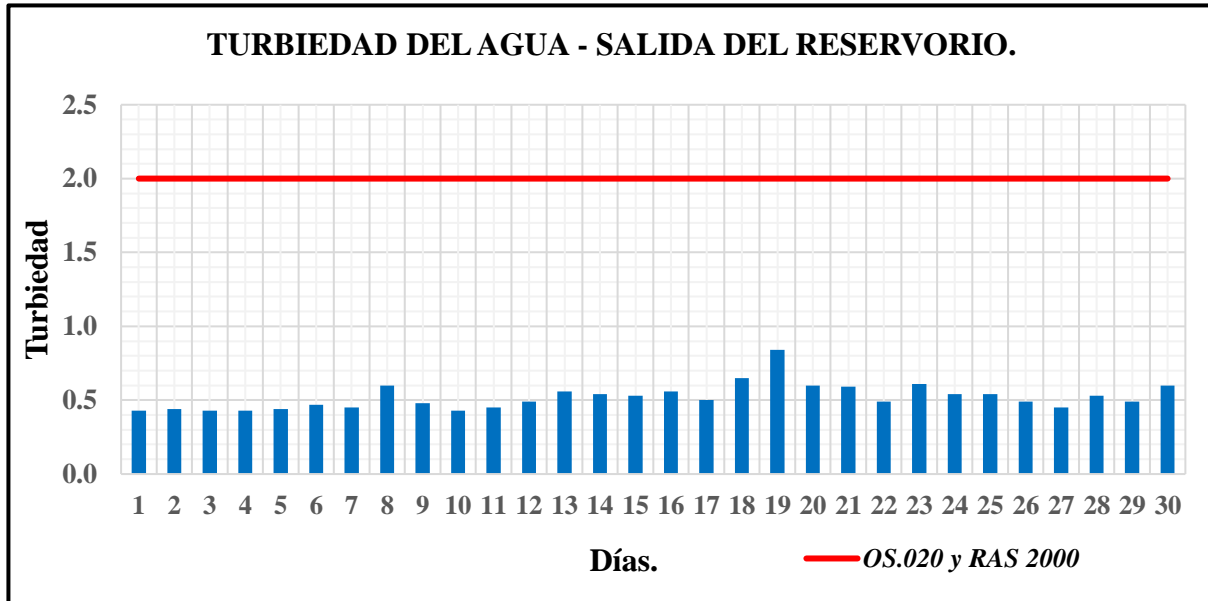
Figura N° 46: Turbiedad del agua ingreso al reservorio utilizando los parámetros de la norma OS.020 y RAS 2000, mes de junio.



Fuente: Elaboración propia.

En el mes de junio, no se tuvieron valores menores a las 2 UNT.

Figura N° 47: Valor eficiente de turbiedad de salida según la norma OS.020 Y RAS 2000, mes de junio.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la frecuencia acumulada de las turbiedades del mes de junio.

Tabla N° 43: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada, mes de junio.

TURBIEDAD (UNT)	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
0.1	0.00	0.00%	0.00%
2	30.00	100.00%	100.00%
5	0.00	0.00%	100.00%
5 a mas	0.00	0.00%	100.00%

TOTAL = 30.00

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una frecuencia acumulada de enero a junio de la turbiedad del agua filtrada.

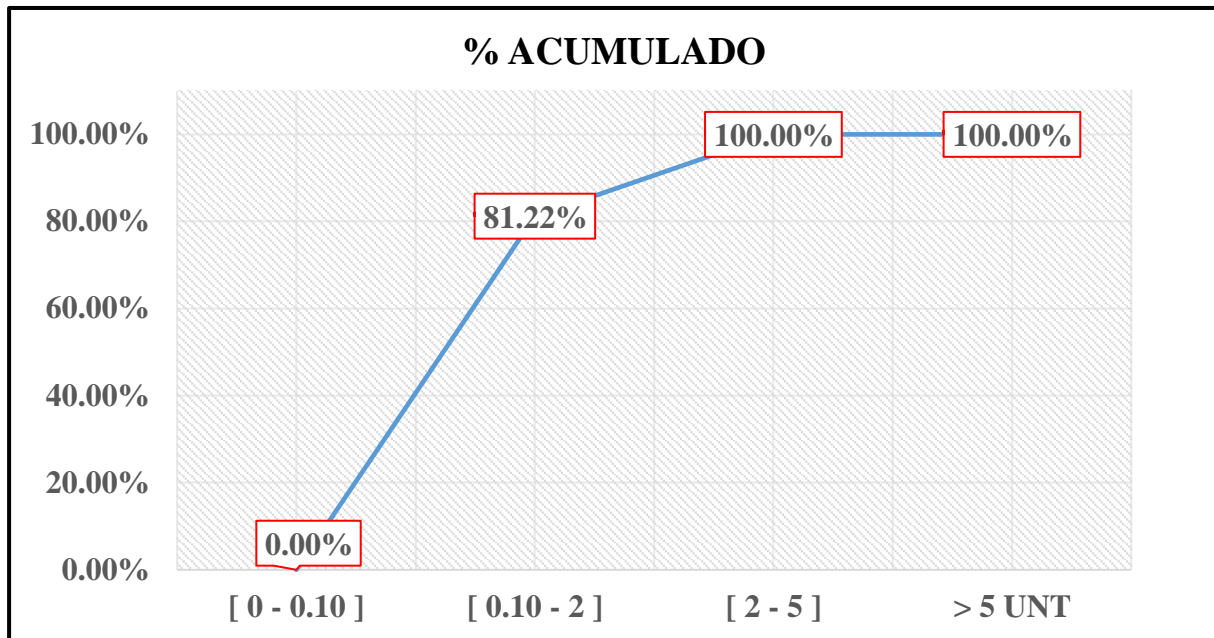
Tabla N° 44: Análisis de Frecuencia de la turbiedad del agua filtrada de enero a junio del 2019.

TURBIEDAD (UNT)	FRECUENCIA	%	% ACUMULADO
0.10	0.00	0.00%	0.00%
2.00	147.00	81.22%	81.22%
5.00	34.00	18.78%	100.00%
5 a mas	0.0	0.00%	100.00%
TOTAL =	181	100.00%	

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se observa que el 81.22% del tiempo se tuvo turbiedades menores a 2 UNT, de acuerdo a la escala valorativa la planta de tratamiento es eficiente. Sin embargo, según CEPIS para que se pueda garantizar la ausencia de huevos de parásitos en el agua tratada, la turbiedad del efluente de los filtros no debe tener más de 0.10 UNT, y ningún día se tuvo turbiedades menores a 0.10.

Tabla N° 45: Eficiencia del proceso de filtración.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.1 Eficiencia.

La fórmula utilizada para calcular la eficiencia del proceso de filtración es la siguiente:

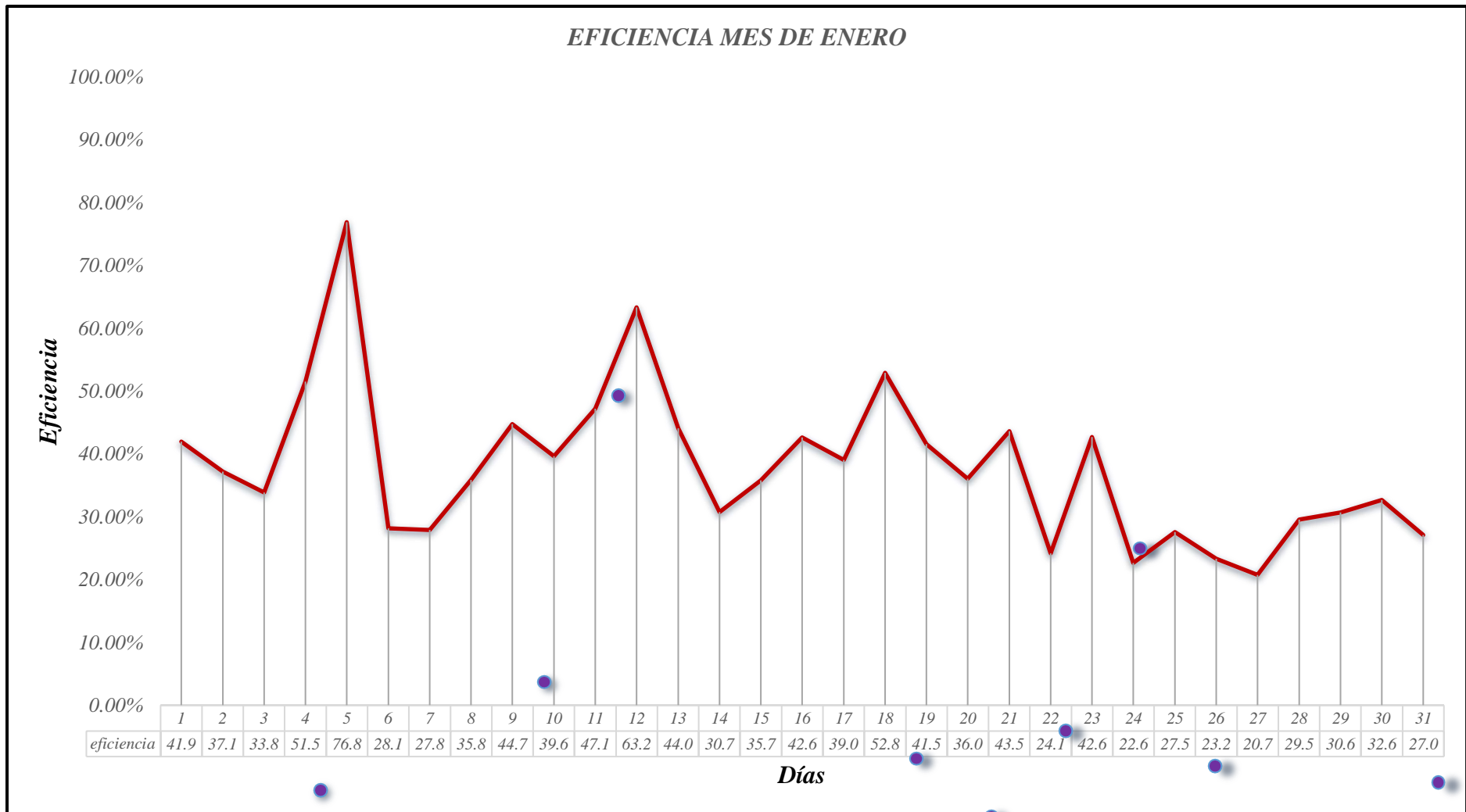
$$\text{Eficiencia (\%)} = \left(\frac{\text{Turbiedad (afluente)} - \text{Turbiedad (efluente)}}{\text{Turbiedad (afluente)}} \right) * 100$$

La cual viene dada en la norma técnica colombiana RAS 2000.

Se aplicó esta fórmula para calcular la eficiencia de cada mes que compone el estudio.



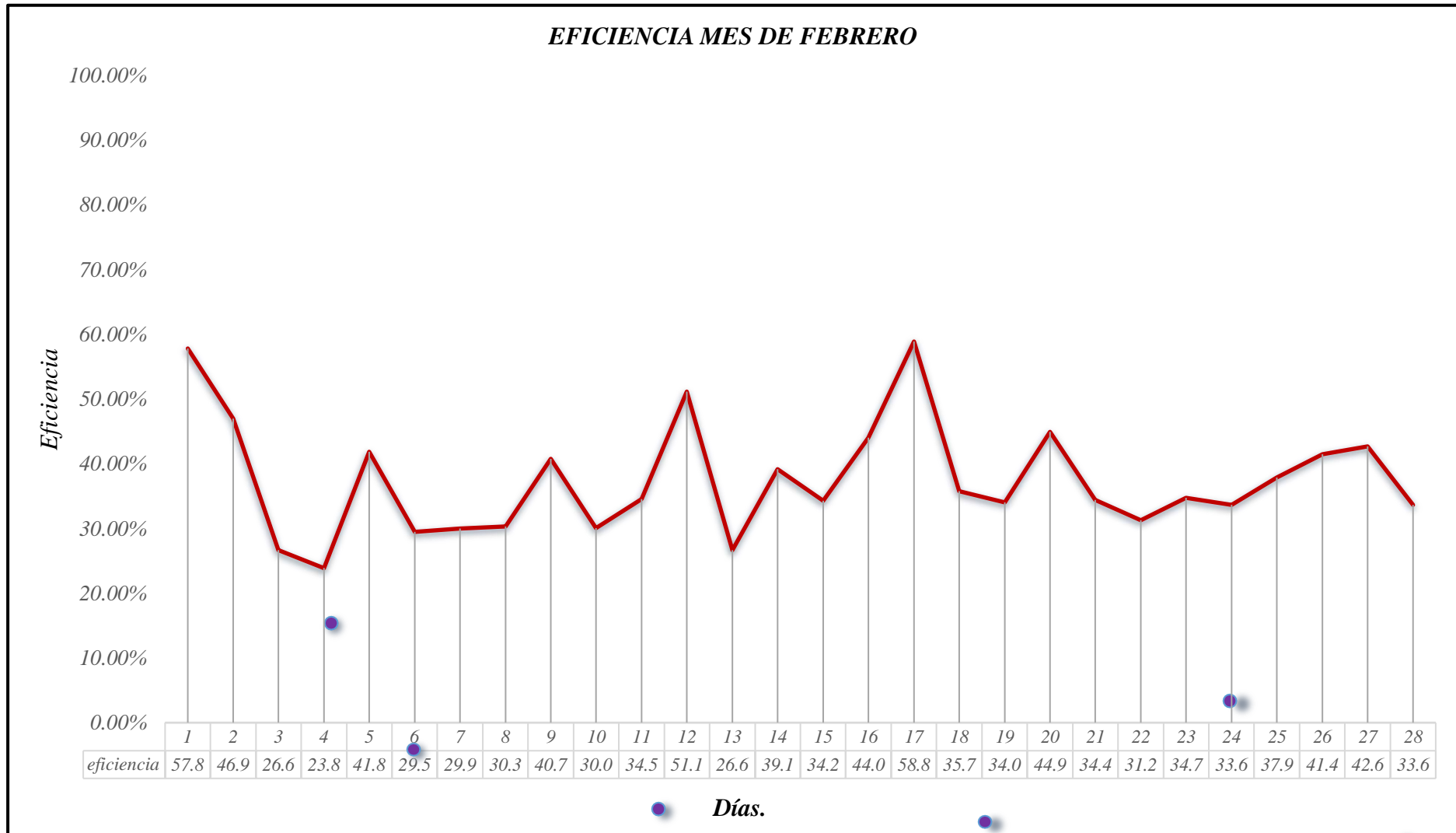
Figura N° 48: Eficiencia mes de enero - 2019.



Fuente: Elaboración propia.

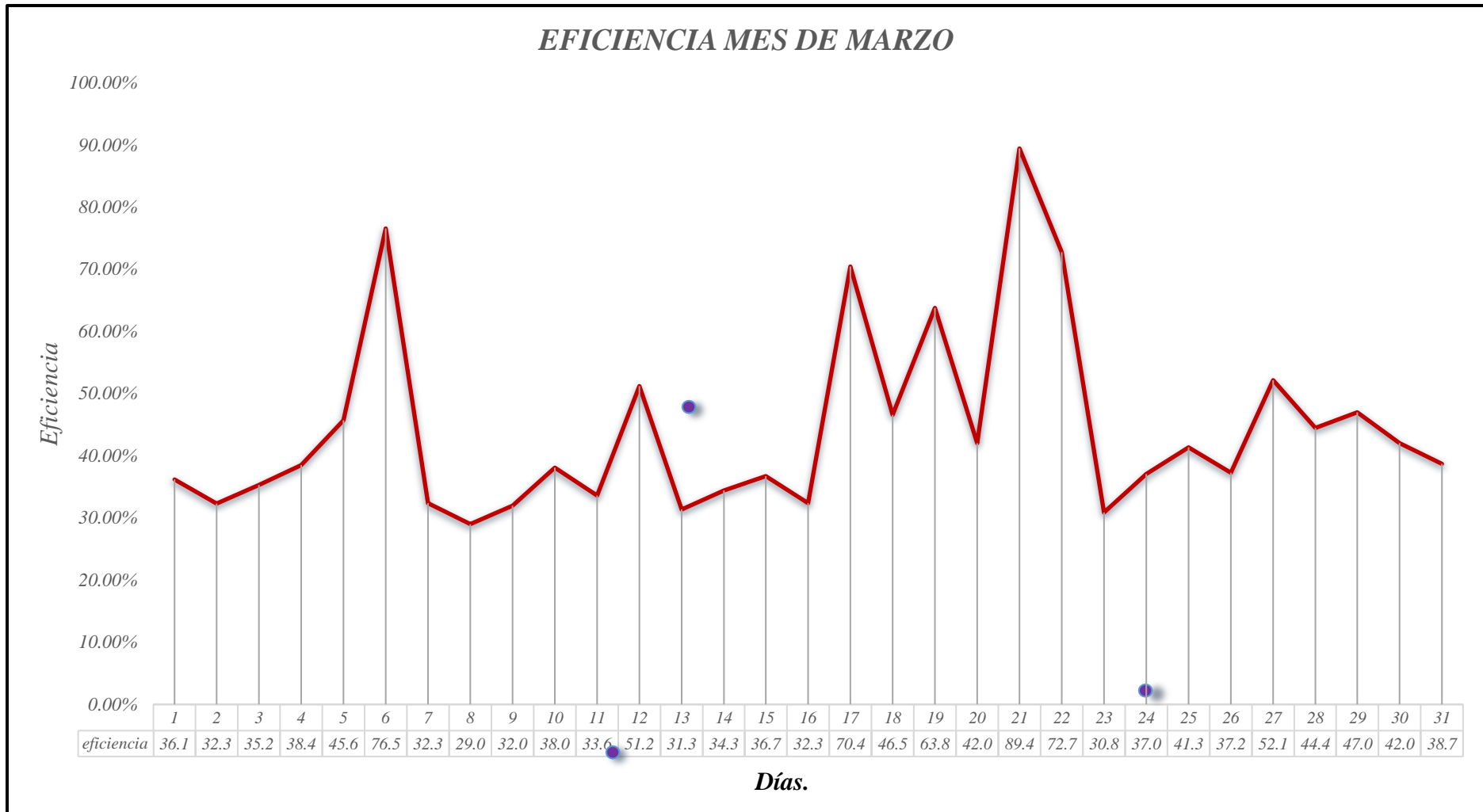


Figura N°49: Eficiencia mes de febrero - 2019.



Fuente: Elaboración propia.

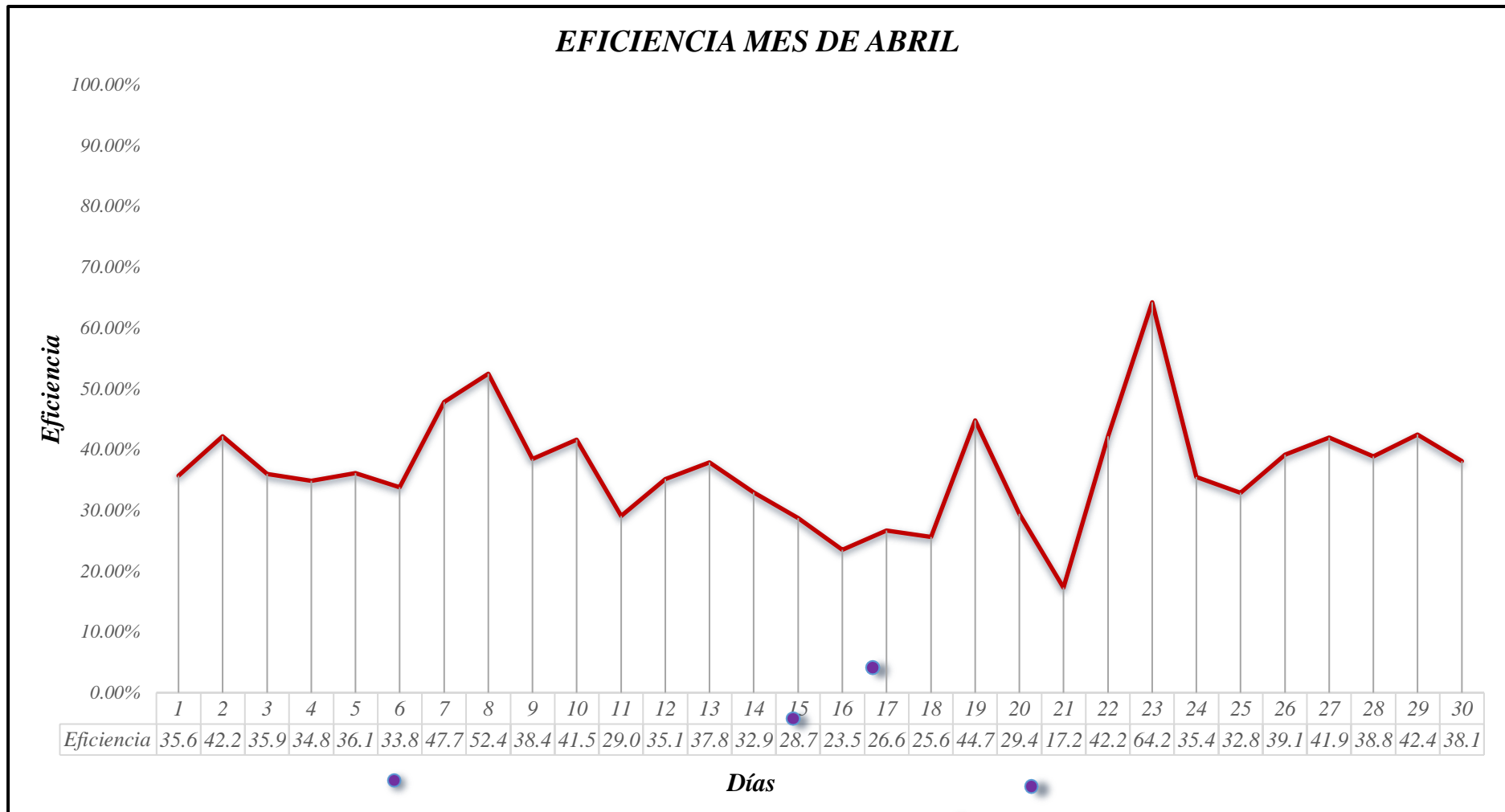
Figura N° 50: Eficiencia mes de marzo - 2019.



Fuente: Elaboración propia.



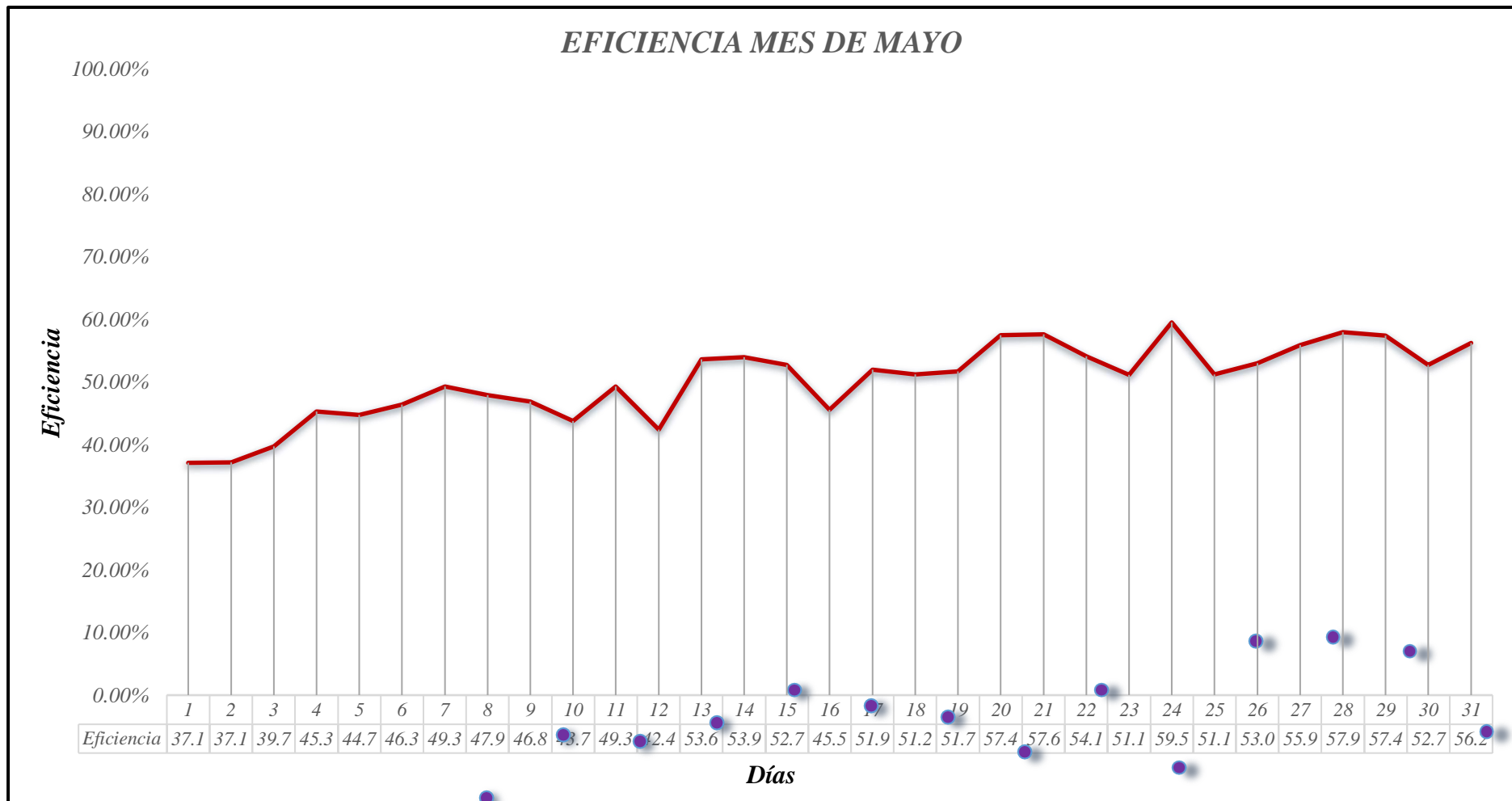
Figura N° 51: Eficiencia mes de abril - 2019.



Fuente: Elaboración propia.



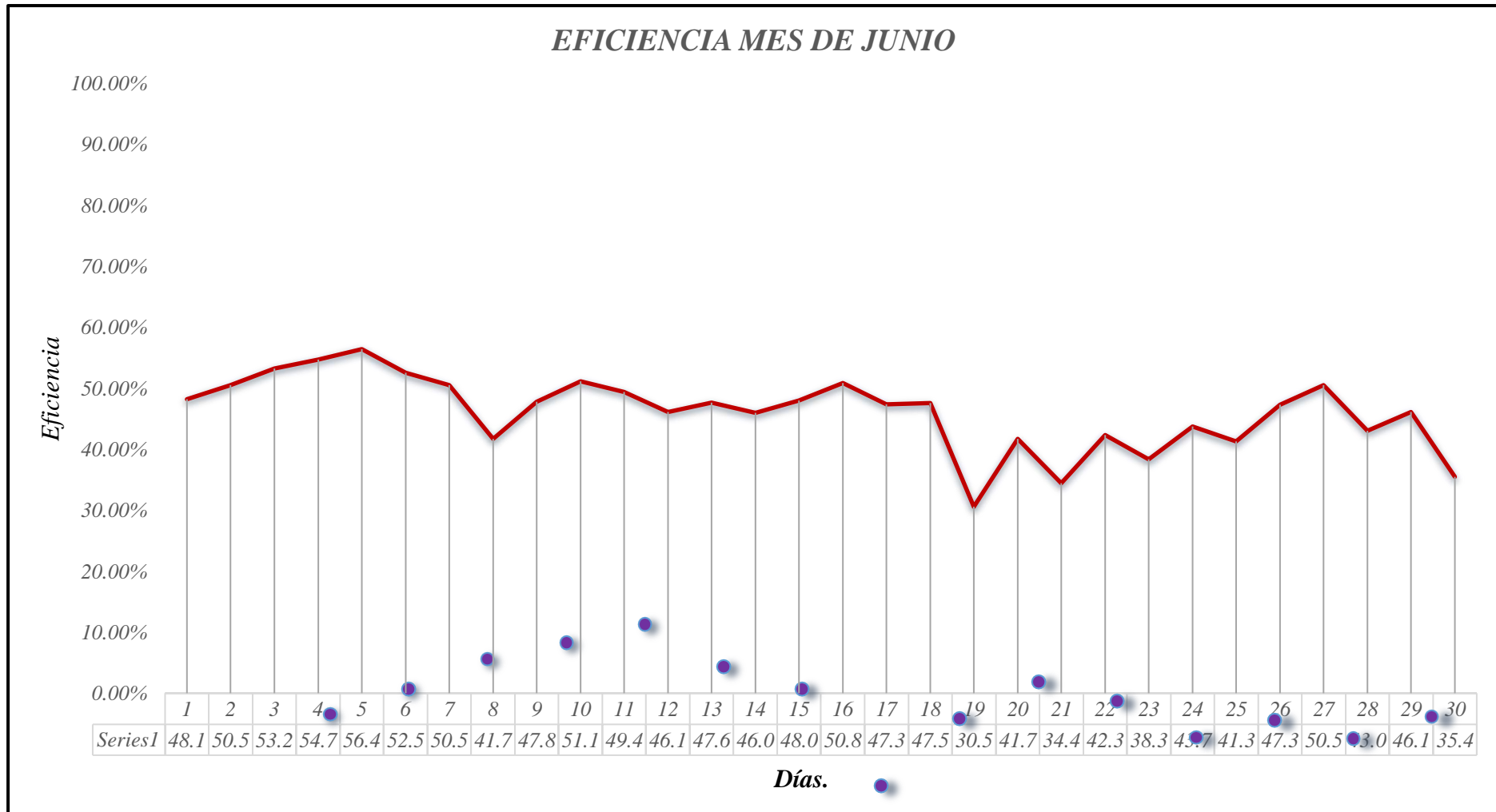
Figura N° 52: Eficiencia mes de mayo - 2019.



Fuente: Elaboración propia.



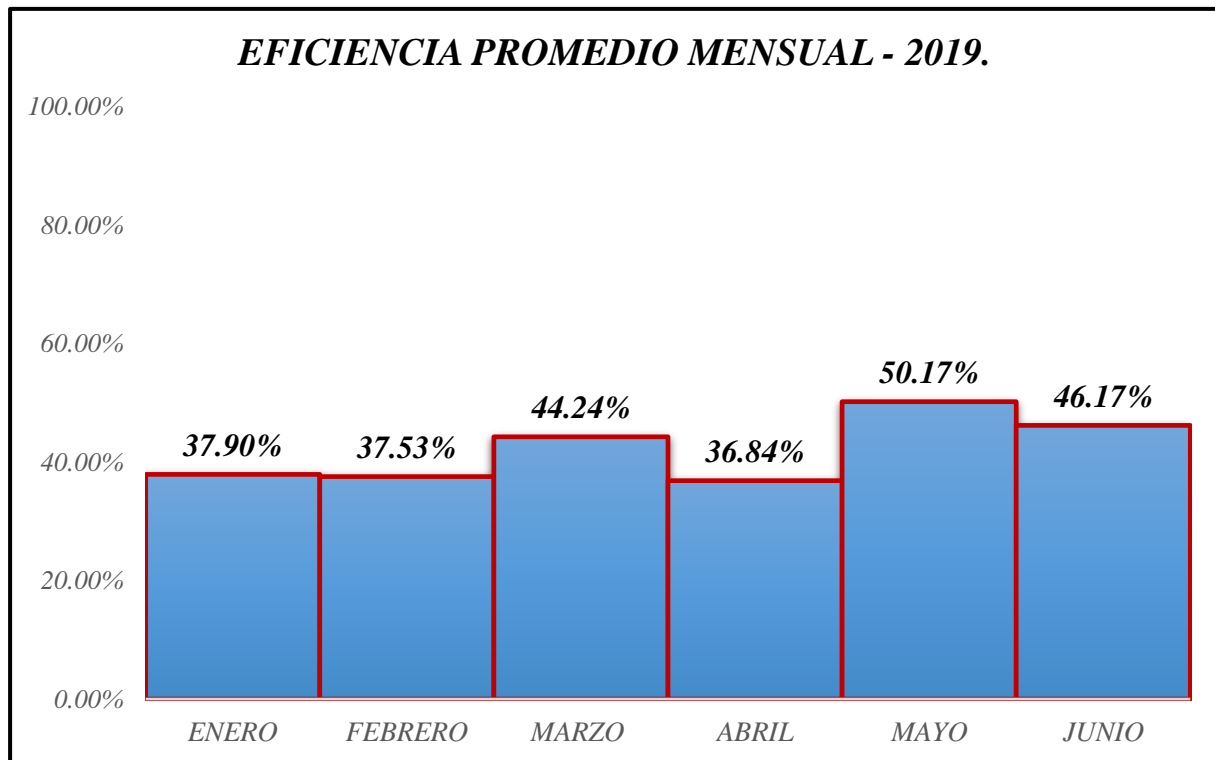
Figura N° 53: Eficiencia mes de junio, 2019



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un promedio mensual de las eficiencias diarias de los filtros, de enero a junio, para obtener un valor de eficiencia por mes, para de esa manera apreciar la variación de eficiencia de los filtros durante el periodo de estudio.

Figura N° 54: Eficiencia mensual enero a junio del 2019.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 62, se obtuvo una eficiencia promedio del periodo de estudio de 42.14%. La eficiencia de los filtros en cuanto a la remoción de turbiedad de acuerdo con la escala valorativa en la presente tesis es mala. Los meses que se obtuvieron altas turbiedades como son enero y febrero, la eficiencia disminuyo considerablemente, puesto que los filtros trabajaron con turbiedades altas, y la eficiencia del filtro se vio afectada por este parámetro.

3.6.3 Turbiedad en los filtros.

En el siguiente cuadro podemos apreciar un promedio mensual de las turbiedades del mes de enero del presente año, de los diez filtros que se encuentran en la PTAP.

Tabla N° 46: Resumen del promedio de turbiedades en los filtros del mes de enero.

DÍA	PROMEDIO MENSUAL DE TURBIEDAD EN LOS FILTROS									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	2.59	2.48	2.71	2.58	2.83	2.71	2.47	2.81	2.69	2.55
2	2.45	2.91	2.55	2.57	2.69	2.66	3.12	2.74	2.80	2.72
3	2.46	2.73	2.53	2.63	2.08	2.21	2.19	2.32	2.23	2.66
4	2.28	2.81	2.49	2.61	1.81	2.35	2.77	2.60	2.50	1.99
5	2.15	3.73	2.90	3.55	3.36	2.33	3.37	2.82	3.26	2.65
6	2.49	2.48	2.32	2.35	2.26	2.48	2.32	1.70	2.40	2.24
7	2.62	2.69	1.79	2.62	2.16	2.70	2.66	1.68	2.25	2.72
8	2.62	2.52	2.23	2.53	2.53	2.64	2.68	2.03	2.33	2.58
9	2.67	2.24	2.37	2.28	2.18	2.41	2.35	2.21	2.32	2.16
10	2.79	2.75	2.69	2.88	2.60	2.52	2.66	2.49	2.71	2.43
11	2.80	2.80	2.49	2.90	2.66	2.60	2.59	2.59	2.67	2.57
12	2.57	2.55	2.41	2.56	1.97	2.51	2.51	2.32	2.41	2.13
13	2.70	2.15	2.09	2.50	2.52	2.60	2.13	2.12	2.59	2.63
14	3.09	2.41	2.81	2.61	2.63	2.88	2.30	2.62	2.46	2.93
15	2.66	2.97	2.65	1.85	2.01	2.80	3.13	2.72	1.80	2.10
16	2.01	2.45	2.33	2.05	2.12	1.87	2.57	2.32	2.03	2.30
17	2.85	2.19	2.28	2.72	1.95	2.45	2.54	2.37	2.55	2.32
18	3.13	3.15	3.17	3.15	3.14	3.06	3.33	3.37	3.48	2.75
19	2.85	2.16	2.47	2.93	2.29	2.50	2.44	2.37	2.73	2.59
20	2.57	2.15	1.95	2.54	2.14	1.75	2.25	1.79	2.31	2.24
21	2.27	1.98	1.86	2.35	2.48	2.60	2.29	1.45	2.11	2.23
22	2.93	2.91	2.94	2.94	2.77	2.88	2.78	2.71	2.78	2.51
23	2.84	2.89	3.06	3.01	3.37	3.31	3.33	3.22	2.68	2.50
24	2.84	2.79	2.83	2.81	2.54	3.09	2.65	2.43	2.80	3.00
25	2.83	2.82	2.58	2.90	2.91	2.82	2.49	2.87	3.16	3.26
26	2.54	2.54	2.58	2.18	2.54	1.75	2.80	2.15	2.73	2.98
27	2.78	2.56	2.19	2.67	2.55	2.61	2.84	2.27	2.69	2.76
28	3.14	1.56	2.88	3.00	2.83	3.02	3.22	1.77	2.58	2.62
29	2.38	2.37	1.64	2.56	2.41	2.33	2.45	2.14	2.57	2.14
30	2.21	2.46	2.58	2.26	2.35	1.90	2.55	1.73	1.91	0.00

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente cuadro podemos apreciar un promedio mensual de las turbiedades del mes de febrero del presente año, de los diez filtros que se encuentran en la PTAP.

Tabla N° 47: Resumen del promedio de turbiedades del mes de febrero

Día	PROMEDIO MENSUAL DE LA TURBIEDAD DE LOS FILTROS									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	2.44	1.93	2.21	2.37	2.44	2.38	2.08	2.54	2.58	
2	2.95	2.36	1.76	2.45	2.72	2.72	1.83	2.73	2.60	
3	2.60	2.62	2.55	2.05	2.46	2.63	2.66	2.06	2.11	2.17
4	2.27	2.35	2.33	1.67	2.29	2.25	2.34	1.71	2.19	2.26
5	2.32	2.22	2.54	2.56	2.71	2.28	2.04	2.36	2.31	2.77
6	2.42	2.34	2.48	1.90	2.19	2.10	2.35	2.12	1.51	2.95
7	2.23	2.31	2.00	1.97	2.20	2.48	2.31	2.11	2.30	1.82
8	2.09	2.27	1.82	2.26	1.83	1.99	1.77	1.92	2.10	2.95
9	1.86	2.19	2.03	1.80	2.06	1.74	2.04	2.01	1.53	2.02
10	2.08	2.12	2.23	2.07	1.95	2.05	2.03	1.35	2.25	2.11
11	1.81	2.10	2.52	1.69	1.85	1.63	2.50	0.87	2.89	2.38
12	2.38	1.98	1.98	1.83	2.39	1.77	2.18	2.41	2.36	2.44
13	2.23	1.34	2.23	2.09	2.61	1.74	1.73	2.08	2.25	1.95
14	1.39	1.67	1.30	1.57	1.81	0.94	1.68	1.39	2.06	1.61
15	2.16	2.10	1.80	1.95	1.56	1.91	1.10	1.21	1.73	1.67
16	1.67	1.84	1.68	1.96	1.07	1.42	1.68	1.64	1.61	1.33
17	2.80	2.90	2.67	3.39	2.80	2.59	3.06	1.78	3.24	3.05
18	1.89	2.60	2.42	2.31	2.32	2.78	2.66	1.69	2.86	2.68
19	1.41	1.52	1.42	1.72	1.68	1.60	1.58	1.66	1.53	1.44
20	1.66	1.43	1.59	1.58	1.64	1.35	1.38	1.61	1.40	1.54
21	1.55	1.64	1.67	1.63	1.64	1.44	1.88	1.50	1.62	1.81
22	1.43	1.61	1.44	1.75	1.56	1.54	1.51	1.35	1.52	1.73
23	1.41	1.40	1.49	1.28	1.49	1.37	1.55	1.35	1.34	1.40
24	1.54	1.54	1.69	1.06	1.41	1.26	0.92	1.42	1.05	1.38
25	1.35	0.91	0.96	0.75	0.88	1.17	0.87	1.35	0.75	1.26
26	1.50	1.53	1.68	1.44	1.15	0.99	1.47	1.13	1.38	1.07
27	1.62	1.51	1.45	1.62	1.21	1.18	1.30	1.33	1.10	1.33
28	1.54	1.54	1.69	1.06	1.41	1.26	0.92	1.42	1.05	1.38

Fuente: Elaboración propia



En el siguiente cuadro podemos apreciar un promedio mensual de las turbiedades del mes de marzo del presente año, de los diez filtros que se encuentran en la PTAP.

Tabla N° 48: Resumen del promedio de turbiedades del mes de marzo

día	PROMEDIO TURBIEDAD EN LOS FILTROS									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	1.14	1.59	1.62	1.63	1.52	1.46	0.87	1.40	1.77	1.38
2	1.39	1.50	1.56	1.47	1.47	1.47	0.74	1.27	1.25	1.48
3	1.47	1.87	1.38	1.17	1.58	1.33	1.49	1.08	1.48	1.27
4	1.62	1.61	1.35	1.41	1.68	1.56	1.48	1.44	1.45	1.52
5	2.41	2.30	2.74	2.32	2.21	2.51	2.56	1.69	2.88	2.65
6	1.70	1.64	1.75	1.66	1.57	1.83	1.70	1.81	1.80	1.65
7	2.00	2.01	1.87	1.86	1.52	1.83	1.89	1.05	2.02	2.14
8	1.49	1.47	1.43	1.39	1.48	1.50	1.51	1.47	1.56	1.38
9	1.66	1.26	1.31	1.65	1.76	1.71	1.63	1.63	1.48	1.57
10	1.15	1.85	1.72	1.24	1.66	1.16	1.65	1.61	1.46	1.77
11	1.49	1.36	1.60	1.47	1.80	1.49	1.55	1.73	1.38	1.75
12	1.46	1.28	1.26	2.09	1.96	1.88	1.96	1.36	1.97	1.97
13	1.38	0.72	1.86	1.74	1.62	2.58	1.63	1.86	1.56	1.78
14	1.78	1.72	1.61	1.43	1.52	1.68	1.29	1.64	1.72	1.53
15	1.67	1.40	1.49	1.58	1.47	1.63	1.52	1.60	1.47	1.30
16	1.45	1.31	1.32	1.52	1.48	1.55	1.45	1.53	1.47	1.34
17	2.30	2.74	2.05	2.55	2.19	2.70	2.40	2.22	2.74	2.23
18	1.50	1.56	1.46	1.73	1.71	1.60	24.68	1.68	1.91	1.73
19	2.19	2.56	1.59	3.44	2.35	1.80	2.41	1.81	3.01	2.10
20	1.64	0.86	1.62	1.18	1.70	1.80	0.95	1.75	1.16	1.68
21	1.05	1.43	1.04	0.85	0.78	1.06	1.36	0.95	0.97	0.80
22	1.51	0.84	0.77	1.15	1.16	0.84	0.97	0.93	1.67	1.54
23	1.86	1.64	1.59	2.12	1.88	1.68	1.82	1.55	1.88	2.18
24	1.76	1.90	1.79	1.81	1.80	1.07	1.71	1.78	1.67	1.54
25	1.88	1.97	1.85	2.03	1.23	1.22	1.70	1.75	1.99	1.35
26	1.80	1.41	1.49	1.24	1.57	1.64	1.35	1.14	1.30	1.64
27	1.18	0.94	1.13	1.50	1.30	1.18	0.98	1.03	1.53	1.66
28	1.23	0.69	0.78	1.36	1.35	1.26	1.22	0.67	1.24	1.30
29	0.90	0.48	0.83	1.07	1.01	0.56	0.65	0.97	0.75	0.95
30	0.99	0.56	0.51	0.91	0.88	0.86	0.79	0.66	0.87	0.92
31	1.42	0.95	1.17	0.98	1.19	1.12	1.09	1.05	1.10	1.07

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro podemos apreciar un promedio mensual de las turbiedades del mes de abril del presente año, de los diez filtros que se encuentran en la PTAP.

Tabla N° 49: Resumen del promedio de turbiedades del mes de abril

día	PROMEDIO TURBIEDAD EN LOS FILTROS									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	1.31	1.13	0.99	0.87	0.97	0.82	1.08	0.93	0.84	1.02
2	0.80	0.75	0.81	0.77	0.93	0.90	0.68	0.65	0.73	1.03
3	0.88	0.72	0.64	0.88	0.70	0.85	0.72	0.70	0.80	0.76
4	0.79	0.77	0.66	0.82	0.82	0.96	0.76	0.89	0.70	0.67
5	0.83	0.61	0.66	0.82	0.68	0.84	0.78	0.71	0.95	0.98
6	0.86	0.58	0.70	0.76	0.68	0.84	0.80	0.78	0.65	0.65
7	0.99	0.75	0.81	0.75	0.65	0.72	0.80	0.60	0.70	0.74
8	0.62	0.58	0.56	0.50	0.61	0.50	0.52	0.60	0.57	0.81
9	0.68	0.65	0.42	0.79	0.54	0.58	0.49	0.63	0.72	0.42
10	0.70	0.59	0.72	0.71	0.60	0.60	0.47	0.77	0.62	0.71
11	0.60	0.53	0.61	0.75	0.60	0.54	0.50	0.48	0.84	0.57
12	0.58	0.56	0.74	0.43	0.70	0.56	0.45	0.67	0.54	0.46
13	0.61	0.68	0.51	0.68	0.44	0.43	0.68	0.43	0.47	0.33
14	0.65	0.59	0.97	0.70	0.49	0.79	0.70	0.97	0.78	0.56
15	0.82	0.70	0.63	0.46	0.68	0.59	0.82	0.62	0.68	0.52
16	0.89	0.48	0.63	0.61	0.65	0.73	0.58	0.54	0.50	0.55
17	0.68	0.41	0.55	0.75	0.59	0.53	0.62	0.85	0.58	0.74
18	0.73	0.90	0.63	0.69	0.60	0.68	0.94	0.74	0.71	0.69
19	0.72	0.73	1.05	0.75	0.66	1.02	0.97	0.76	0.72	0.70
20	0.63	0.52	1.02	0.74	0.63	0.79	0.69	0.85	0.72	0.76
21	0.69	0.59	0.79	0.63	0.94	0.84	0.70	0.70	0.75	1.00
22	0.71	0.51	0.50	0.59	0.60	0.58	0.63	0.65	0.50	0.62
23	0.59	0.51	0.49	0.76	0.63	0.73	0.43	0.61	0.52	0.61
24	0.68	0.56	0.74	0.52	0.72	0.67	0.56	0.39	0.68	0.53
25	0.83	0.88	0.40	0.52	0.59	0.55	0.69	0.47	0.59	0.66
26	0.55	0.56	0.42	0.67	0.66	0.56	0.42	0.53	0.81	0.85
27	0.42	0.45	0.71	0.55	0.39	0.52	0.62	0.53	0.60	0.43
28	0.60	0.64	0.48	0.98	0.51	0.52	0.74	0.66	0.84	0.97
29	0.57	0.73	0.85	0.64	0.74	0.48	0.58	0.70	0.61	0.58
30	0.59	0.67	0.68	0.82	0.79	0.70	0.69	0.64	0.69	0.97

Fuente: Elaboración propia



En el siguiente cuadro podemos apreciar un promedio mensual de las turbiedades del mes de mayo del presente año, de los diez filtros que se encuentran en la PTAP.

Tabla N° 50: Resumen del promedio de turbiedades del mes de mayo

día	PROMEDIO DE TURBIEDAD EN LOS FILTROS									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	0.43	0.50	0.83	0.69	0.53	0.61	0.93	0.39	0.33	0.75
2	0.57	0.57	0.62	0.62	0.60	0.55	0.70	0.50	0.52	0.79
3	0.32	0.61	0.49	0.44	0.45	0.57	0.45	0.30	0.30	0.85
4	0.61	0.34	0.68	0.33	0.53	0.33	0.40	0.28	0.54	0.42
5	0.80	0.47	0.56	0.36	0.54	0.82	0.54	0.46	0.32	0.50
6	0.72	0.56	0.57	0.39	0.50	0.70	0.56	0.42	0.50	0.63
7	0.46	0.43	0.35	0.55	0.53	0.41	0.43	0.39	0.36	0.51
8	0.49	0.49	0.78	0.75	0.50	0.50	0.46	0.36	0.70	0.54
9	0.55	0.69	0.41	0.50	0.53	0.58	0.79	0.57	0.41	0.57
10	0.44	0.42	0.60	0.70	0.53	0.38	0.42	0.47	0.48	0.40
11	0.42	0.63	0.65	0.65	0.40	0.53	0.63	0.46	0.60	0.43
12	0.85	0.59	0.54	0.55	0.50	0.57	0.76	0.73	0.57	0.62
13	0.51	0.39	0.36	0.50	0.56	0.50	0.37	0.45	0.52	0.56
14	0.81	0.53	0.70	0.40	0.52	0.65	0.42	0.65	0.36	0.48
15	0.50	0.37	0.53	0.70	0.51	0.63	0.47	0.51	0.71	0.50
16	0.48	0.47	0.55	0.50	0.63	0.44	0.57	0.50	0.47	0.75
17	0.65	0.52	0.38	0.64	0.45	0.41	0.61	0.55	0.47	0.62
18	0.45	0.69	0.50	0.77	0.52	0.76	0.60	0.33	0.39	0.52
19	0.57	0.47	0.63	0.68	0.61	0.48	0.67	0.42	0.56	0.55
20	0.47	0.51	0.61	0.60	0.49	0.40	0.43	0.48	0.51	0.65
21	0.51	0.74	0.71	0.60	0.43	0.45	0.35	0.57	0.29	0.57
22	0.67	0.42	0.42	0.43	0.48	0.67	0.44	0.41	0.37	0.32
23	0.41	0.41	0.31	0.35	0.58	0.45	0.58	0.48	0.68	0.45
24	0.35	0.57	0.38	0.65	0.37	0.39	0.34	0.33	0.42	0.60
25	0.40	0.48	0.77	0.66	0.54	0.82	0.42	0.83	0.46	0.47
26	0.44	0.64	0.34	0.37	0.82	0.71	0.43	0.36	0.49	0.57
27	0.34	0.45	0.34	0.40	0.75	0.61	0.50	0.42	0.46	0.56
28	0.85	0.52	0.36	0.38	0.57	0.53	0.49	0.76	0.45	0.46
29	0.89	0.45	0.51	0.52	0.55	0.44	0.90	0.65	0.31	0.41
30	0.68	0.35	0.48	0.52	0.46	0.41	0.78	0.69	0.47	0.56
31	0.72	0.31	0.32	0.35	0.57	0.42	0.58	0.80	0.41	0.70

Fuente: Elaboración propia



En el siguiente cuadro podemos apreciar un promedio mensual de las turbiedades del mes de junio del presente año, de los diez filtros que se encuentran en la PTAP.

Tabla N° 51. Resumen del promedio de turbiedades del mes de junio

día	PROMEDIO DE LA TURBIEDAD EN LOS FILTROS									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	0.57	0.32	0.32	0.32	0.47	0.45	0.46	0.57	0.35	0.41
2	0.31	0.43	0.34	0.34	0.50	0.46	0.45	0.39	0.37	0.34
3	0.57	0.60	0.43	0.51	0.47	0.52	0.52	0.42	0.43	0.48
4	0.43	0.46	0.41	0.46	0.48	0.68	0.79	0.65	0.57	0.45
5	0.59	0.55	0.47	0.42	0.77	0.53	0.55	0.40	0.41	0.78
6	0.54	0.58	0.48	0.54	0.69	0.51	0.59	0.51	0.62	0.74
7	0.44	0.47	0.40	0.47	0.49	0.44	0.50	0.46	0.41	0.40
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.41	0.41	0.37	0.38	0.38	0.44	0.46	0.42	0.41	0.43
10	0.65	0.77	0.51	0.82	0.80	0.92	0.78	0.76	0.76	0.57
11	0.72	0.76	0.44	0.56	0.48	0.54	0.60	0.51	0.58	0.63
12	0.49	0.53	0.35	0.45	0.43	0.44	0.54	0.45	0.55	0.44
13	0.57	0.60	1.22	1.32	0.51	0.63	0.66	0.56	0.49	0.49
14	0.58	0.53	0.55	0.58	0.40	0.56	0.44	0.62	0.69	0.55
15	0.44	0.49	0.47	0.45	0.48	0.51	0.46	0.48	0.61	0.62
16	0.44	0.42	0.39	0.41	0.54	0.44	0.53	0.61	0.51	0.52
17	0.46	0.55	0.43	0.50	0.55	0.53	0.52	0.49	0.57	0.67
18	0.68	0.68	0.67	0.74	0.55	0.53	0.65	0.78	0.30	0.58
19	0.80	0.91	0.75	0.86	0.84	0.69	0.80	0.86	0.68	0.92
20	0.81	0.72	0.69	0.61	0.79	0.94	0.76	0.63	0.81	0.76
21	0.72	0.55	0.62	0.60	0.63	0.70	0.67	0.56	0.61	0.58
22	0.60	0.42	0.49	0.62	0.45	0.53	0.41	0.44	0.56	0.48
23	0.64	0.61	0.45	0.52	0.44	0.49	0.36	0.39	0.61	0.62
24	0.54	0.58	0.46	0.57	0.57	0.46	0.41	0.65	0.44	0.48
25	0.60	0.55	0.52	0.52	0.43	0.49	0.44	0.51	0.56	0.51
26	0.50	0.48	0.43	0.66	0.57	0.61	0.66	0.48	0.43	0.66
27	0.63	0.63	0.46	0.56	0.52	0.68	0.76	0.68	0.51	0.49
28	0.50	0.67	0.55	0.62	0.64	0.64	0.74	0.46	0.63	0.63
29	0.52	0.48	0.41	0.69	0.76	0.51	0.53	0.58	0.68	0.52
30	0.58	0.50	0.38	0.84	0.89	0.77	0.49	0.60	0.68	0.51

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.1 Eficiencia de los filtros.

Mediante la siguiente fórmula, se calculó la eficiencia de los filtros de acuerdo con el promedio mensual previamente mostrado en las anteriores tablas. Considerando como la turbiedad del efluente la turbiedad de agua cruda, y la turbiedad del efluente como la turbiedad de los filtros.

$$Eficiencia (\%) = \left(\frac{Turbiedad (afluente) - Turbiedad (efluente)}{Turbiedad (afluente)} \right) * 100$$

Tabla N° 52: Eficiencia de los filtros, enero 2019.

DIA	EFICIENCIA% EN LOS FILTROS.									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
1	46.27%	48.55%	43.78%	46.47%	41.29%	43.78%	48.76%	41.70%	44.19%	47.10%
2	44.82%	34.46%	42.57%	42.12%	39.41%	40.09%	29.73%	38.29%	36.94%	38.74%
3	40.58%	34.06%	38.89%	36.47%	49.76%	46.62%	47.10%	43.96%	46.14%	35.75%
4	59.79%	50.44%	56.08%	53.97%	68.08%	58.55%	51.15%	54.14%	55.91%	64.90%
5	85.36%	74.61%	80.26%	75.83%	77.13%	84.14%	77.06%	80.80%	77.81%	81.96%
6	40.57%	40.81%	44.63%	43.91%	46.06%	40.81%	44.63%	59.43%	42.72%	46.54%
7	33.67%	31.90%	54.68%	33.67%	45.32%	31.65%	32.66%	57.47%	43.04%	31.14%
8	37.77%	40.14%	47.03%	39.90%	39.90%	37.29%	36.34%	51.78%	44.66%	38.72%
9	44.72%	53.62%	50.93%	52.80%	54.87%	50.10%	51.35%	54.24%	51.97%	55.28%
10	38.27%	39.16%	40.49%	36.28%	42.48%	44.25%	41.15%	44.91%	40.04%	46.24%
11	50.18%	50.18%	55.69%	48.40%	52.67%	53.74%	53.91%	53.91%	52.49%	54.27%
12	71.22%	71.44%	73.01%	71.33%	77.94%	71.89%	71.89%	74.02%	73.01%	76.15%
13	49.81%	60.04%	61.15%	53.53%	53.16%	51.67%	60.41%	60.59%	51.86%	51.12%
14	34.12%	48.61%	40.09%	44.35%	43.92%	38.59%	50.96%	44.14%	47.55%	37.53%
15	40.89%	34.00%	41.11%	58.89%	55.33%	37.78%	30.44%	39.56%	60.00%	53.33%
16	56.30%	46.74%	49.35%	55.43%	53.91%	59.35%	44.13%	49.57%	55.87%	50.00%
17	35.67%	50.56%	48.53%	38.60%	55.98%	44.70%	42.66%	46.50%	42.44%	47.63%
18	47.13%	46.79%	46.45%	46.79%	46.96%	48.31%	43.75%	43.07%	41.22%	53.55%
19	38.31%	53.25%	46.54%	36.58%	50.43%	45.89%	47.19%	48.70%	40.91%	43.94%
20	39.81%	49.65%	54.33%	40.52%	49.88%	59.02%	47.31%	58.08%	45.90%	47.54%
21	53.77%	59.67%	62.12%	52.14%	49.49%	47.05%	53.36%	70.47%	57.03%	54.58%
22	22.28%	22.81%	22.02%	22.02%	26.53%	23.61%	26.26%	28.12%	26.26%	33.42%
23	42.28%	41.26%	37.80%	38.82%	31.50%	32.72%	32.32%	34.55%	45.53%	49.19%
24	26.04%	27.34%	26.30%	26.82%	33.85%	19.53%	30.99%	36.72%	27.08%	21.88%
25	30.47%	30.71%	36.61%	28.75%	28.50%	30.71%	38.82%	29.48%	22.36%	19.90%
26	29.64%	29.64%	28.53%	39.61%	29.64%	51.52%	22.44%	40.44%	24.38%	17.45%
27	27.03%	32.81%	42.52%	29.92%	33.07%	31.50%	25.46%	40.42%	29.40%	27.56%
28	18.02%	59.27%	24.80%	21.67%	26.11%	21.15%	15.93%	53.79%	32.64%	31.59%
29	31.21%	31.50%	52.60%	26.01%	30.35%	32.66%	29.19%	38.15%	25.72%	38.15%
30	37.75%	30.70%	27.32%	36.34%	33.80%	46.48%	28.17%	51.27%	46.20%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

Las demás tablas de cálculo de eficiencia se encuentran en el ítem anexos.

Se realizó un promedio mensual de la eficiencia de los filtros.

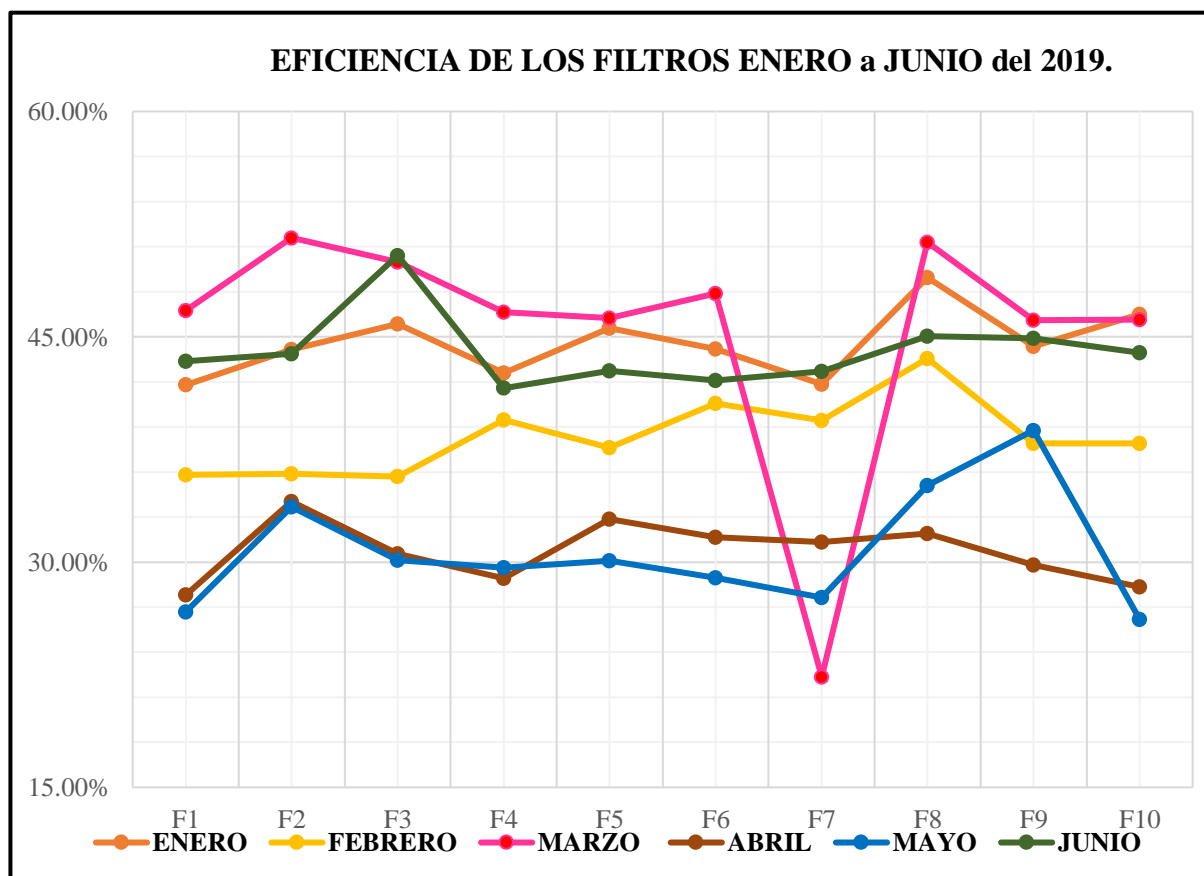
Tabla N° 53: Eficiencia promedio enero - junio 2019.

MES	EFICIENCIA% EN LOS FILTROS.									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
ENERO	41.79%	44.16%	45.87%	42.60%	45.58%	44.17%	41.85%	48.94%	44.37%	46.50%
FEBRERO	35.80%	35.89%	35.69%	39.47%	37.62%	40.55%	39.43%	43.56%	37.91%	37.91%
MARZO	46.76%	51.59%	49.98%	46.63%	46.24%	47.88%	22.36%	51.28%	46.12%	46.15%
ABRIL	27.80%	34.03%	30.55%	28.92%	32.86%	31.64%	31.34%	31.92%	29.81%	28.37%
MAYO	26.67%	33.69%	30.12%	29.63%	30.10%	28.96%	27.62%	35.09%	38.77%	26.20%
JUNIO	43.36%	43.85%	50.42%	41.58%	42.73%	42.11%	42.70%	45.03%	44.88%	43.95%

Fuente: Elaboración propia.

En el presente grafico se puede observar la variación de eficiencia simultáneamente de los 10 filtros.

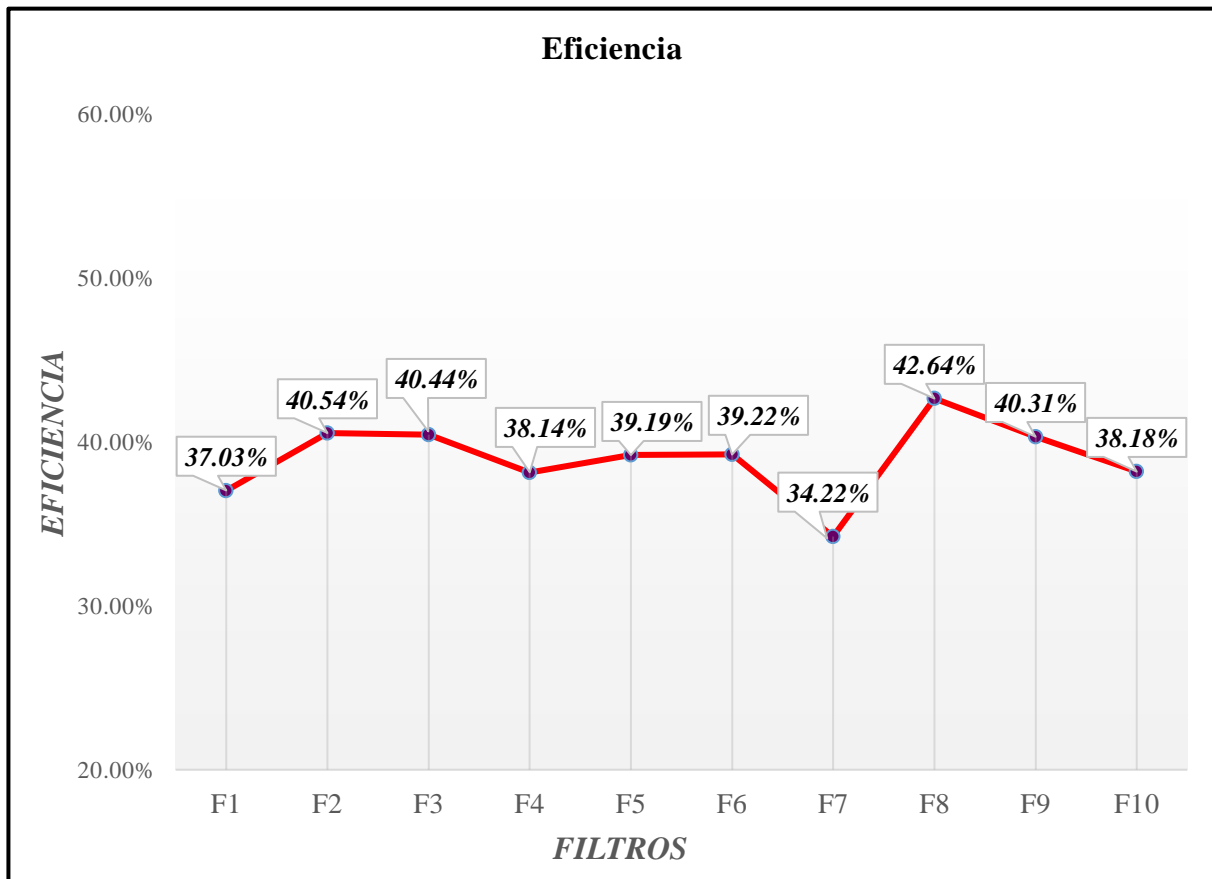
Figura N° 55: Eficiencia de los filtros, del promedio mensual enero a junio del 2019.



Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó el promedio de enero a junio de la eficiencia de los filtros y se obtuvo la eficiencia total de los 10 filtros.

Figura N° 56: Eficiencia promedio de los filtros.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

3.6.3.1. Parámetros físicos – químicos.

Se realizó un promedio mensual de los datos de pH, color, conductividad y alcalinidad.

Tabla N° 54. Promedio mensual pH, color, conductividad y alcalinidad, enero 2019.

N°	AGUA CRUDA				AGUA TRATADA		
	PH	COLOR	CONDUCTIVIDAD	ALCALINIDAD	PH	COLOR	CONDUCTIVIDAD
01	7.78	18.00	395.00	75.81	7.63	7.00	399.00
02	7.99	20.00	397.00		7.86	8.00	401.00
03	8.09	19.00	396.00		7.82	8.00	402.00
04	7.89	20.00	397.00		7.40	8.00	403.00
05	7.85	18.00	377.00		7.38	8.00	393.00
06	7.73	19.00	380.00		7.49	8.00	386.00
07	7.57		360.00		7.51	7.00	369.00
08			384.00		7.80	8.00	387.00
09	7.89	19.00	384.00		7.64	8.00	387.00
10			385.00	77.81	7.71	8.00	389.00
11	7.85	20.00	386.00		7.50	9.00	390.00
12	7.69	21.00	401.00		7.41	8.00	388.00
13	7.91	19.00	388.00		7.59	7.00	392.00
14	7.86	20.00	405.00		7.59	8.00	407.00
15	7.59		410.00		7.54	7.00	412.00
16	7.76	21.00	406.00	75.81	7.68	7.00	405.00
17	7.49	20.00	369.00		7.45	8.00	415.00
18					7.56	8.00	415.00
19	7.76	19.00	396.00		7.58	7.00	413.00
20	7.65	19.00	385.00		7.79	8.00	384.00
21	7.71	20.00	392.00		7.60	7.00	391.00
22	7.50	19.00	400.00	76.81	7.66	7.00	385.00
23		19.00	399.00		7.59	8.00	387.00
24	7.88	19.00	392.00		7.49	7.00	398.00
25	7.76	17.00	362.00		7.46	7.00	365.00
26	7.50	19.00	369.00		7.41	6.00	391.00
27	7.47	18.00	381.00		7.40	7.00	381.00
28	7.64	20.00	386.00		7.49	7.00	387.00
29	7.62	19.00	386.00		7.47	7.00	387.00
30	7.79	20.00	385.00		7.56	8.00	390.00
31	7.81	19.00	383.00		7.60	7.00	379.00
32	7.83	18.00	391.00		7.80	7.00	395.00
33	7.48	18.00	392.00		7.40	8.00	394.00
34	7.69	17.00	389.00		7.40	7.00	396.00
35	7.81	18.00	390.00		7.46	8.00	396.00
PROMEDIO	7.74	19.07	388.18	76.56	7.56	7.51	393.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 55: promedio mensual pH, color, conductividad y alcalinidad, febrero 2019.

N°	AGUA CRUDA				AGUA TRATADA		
	PH	COLOR	CONDUCTIVIDAD	ALCALINIDAD	PH	COLOR	CONDUCTIVIDAD
01	7.53	17.00	360.00		7.42	7.00	387.00
02	7.72	18.00	361.00		7.53	6.00	364.00
03	7.66	17.00	358.00		7.50	5.00	370.00
04	8.01	18.00	356.00		7.79	8.00	357.00
05	7.58	18.00	373.00		7.41	7.00	371.00
06	7.70	16.00	375.00		7.48	6.00	374.00
07	7.62	18.00	383.00		7.31	8.00	386.00
08	7.62	18.00	382.00		7.48	8.00	386.00
09	7.59	17.00	385.00		7.53	8.00	388.00
10	7.93	18.00	329.00		7.89	6.00	357.00
11		16.00	358.00		7.59	6.00	366.00
12	7.72	18.00	373.00		7.55	7.00	366.00
13	7.63	17.00	348.00		7.49	6.00	359.00
14	7.73	16.00	345.00		7.46	6.00	345.00
15	7.90	18.00	344.00		7.89	6.00	341.00
16	7.85	16.00	352.00		7.77	7.00	353.00
17	7.70	15.00	354.00		7.82	7.00	349.00
18	7.76	16.00	334.00		7.86	5.00	341.00
19	7.71	14.00	339.00		7.69	6.00	351.00
20	7.70	16.00	351.00		7.46	6.00	354.00
21	7.66	15.00	352.00		7.58	6.00	755.00
22	7.79	17.00	336.00		7.79	6.00	359.00
23	7.78	16.00	320.00		7.62	7.00	323.00
24	7.76	15.00	380.00		7.61	8.00	360.00
25	7.92	16.00	369.00		7.79	7.00	358.00
26	7.80	14.00	372.00		7.74	8.00	369.00
27	7.73	15.00	374.00		7.86	7.00	362.00
28	7.74	16.00	371.00		7.74	7.00	373.00
29	7.68	16.00	370.00		7.59	7.00	373.00
30	7.76	17.00	369.00		7.77	6.00	732.00
31	7.78	18.00	351.00		7.79	6.00	359.00
32	7.83	16.00	346.00		7.86	6.00	343.00
PROMEDIO	7.74	16.50	358.44		7.65	6.63	385.34

Fuente: Elaboración propia.

Las demás tablas de promedio se adjuntan en el ítem Anexos.

3.6.3.1.1. pH.

Se obtuvo un promedio mensual del ph, tanto de agua cruda como de agua tratada.

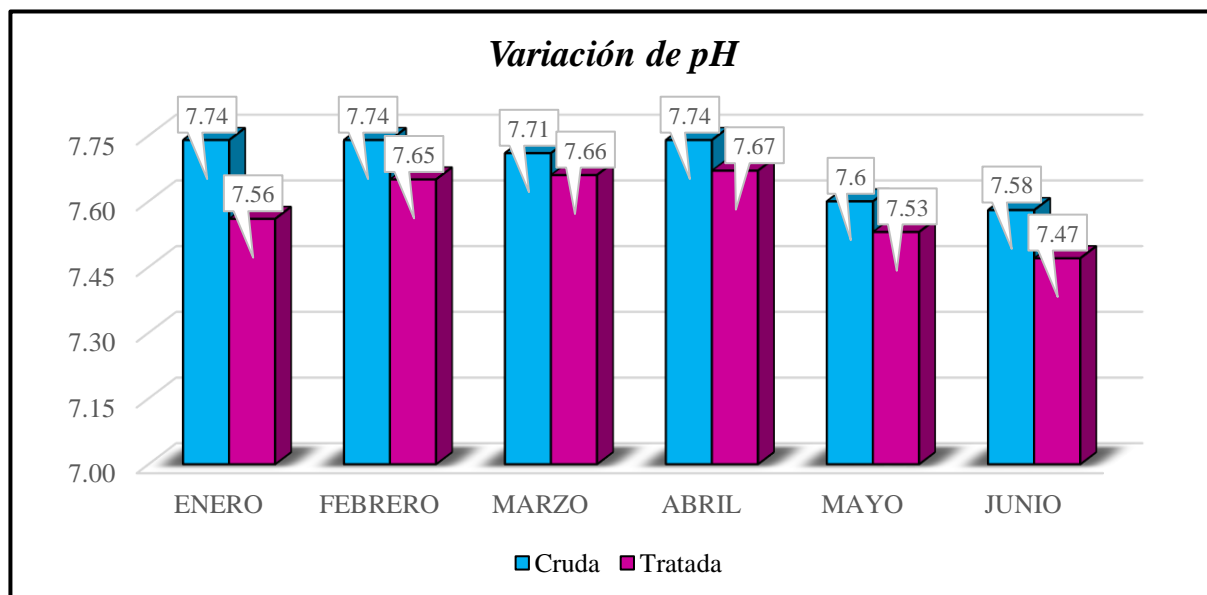
Tabla N° 56: ph promedio mensual 2019.

MES	AGUA	
	Cruda	Tratada
ENERO	7.74	7.56
FEBRERO	7.74	7.65
MARZO	7.71	7.66
ABRIL	7.74	7.67
MAYO	7.6	7.53
JUNIO	7.58	7.47
Promedio	7.69	7.59

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un gráfico para observar de mejor manera la variación de estos valores a lo largo del periodo de estudio, podemos observar en el gráfico que el pH disminuye en los meses de mayo y junio, meses en los cuales la turbiedad fue baja. Del promedio obtenido para valores de ph se obtuvo 7.69 y para agua tratada 7.59, ambos valores se encuentran dentro de los parámetros exigidos por DIGESA, el cual indica que el valor de pH debe encontrarse en el rango de 6.5 a 8.

Figura N° 57: Gráfico de variación de pH, enero a junio 2019.



Fuente: Elaboración propia

Se realizó una comparación de estos valores, de acuerdo con parámetros especificados en las normas de calidad de agua DIGESA y RAS 2000.

Tabla N° 57: Comparación de resultados de acuerdo con el reglamento de DIGESA y RAS 2000

Ph – PTAP Santa Ana	DIGESA	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
7.69, 7.59	6.5 – 8.5	6.5 - 9	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.1.2. Color.

Se obtuvo un promedio mensual del color, tanto de agua cruda como del agua tratada los meses de enero a junio del presente año.

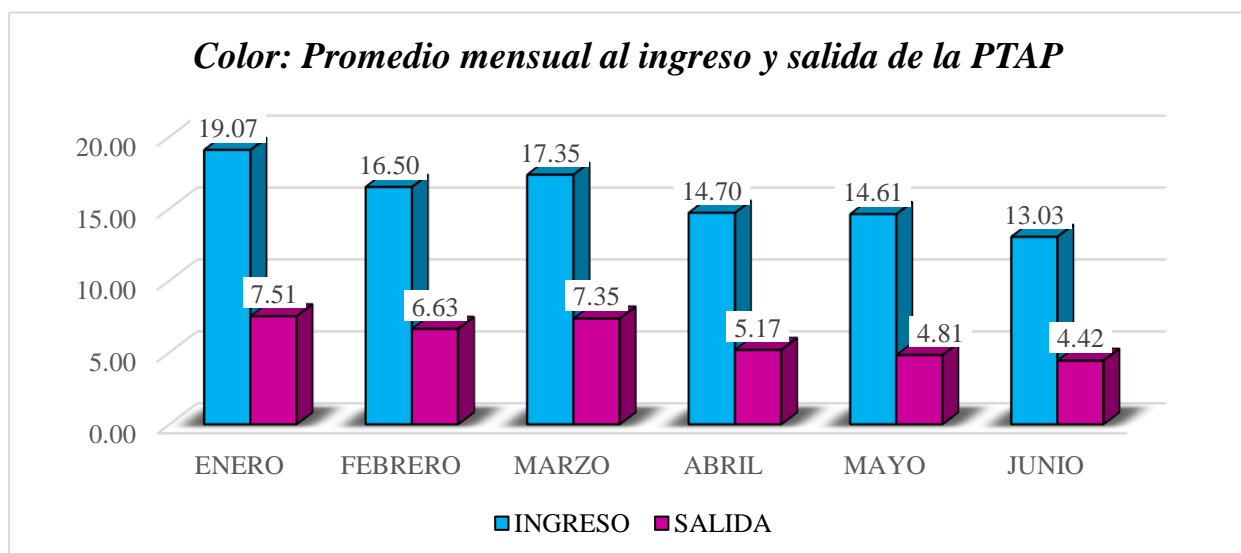
Tabla N° 58: Promedio mensual del color, 2019.

MES	AGUA	
	INGRESO	SALIDA
ENERO	19.07	7.51
FEBRERO	16.50	6.63
MARZO	17.35	7.35
ABRIL	14.70	5.17
MAYO	14.61	4.81
JUNIO	13.03	4.42
Promedio	15.87	5.98

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la comparación del color del agua que ingresa y sale de la PTAP.

Figura N° 58: Gráfico de variación del color, enero a junio 2019.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se verifican los resultados obtenidos con las normas utilizadas en la presente investigación.

Tabla N° 59: Comparación de los valores obtenidos de color, aplicando el reglamento de DIGESA y RAS 2000.

Color – PTAP Santa Ana (agua cruda)	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
15.87 UC	15 UC	10 – 20 UC	NO	SI
Color – PTAP Santa Ana (agua tratada).	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
5.98 UC	15 UC	15 UC	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

Según DIGESA el límite máximo permisible para el color del agua cruda es de 15 UC, el agua cruda de la PTAP Santa Ana – Cusco no cumple con este valor.

Según RAS 2000 el límite máximo permisible se encuentre entre los valores de 10 a 20 UC, el agua cruda de la PTAP Santa Ana – Cusco, cumple con estos valores.

Para el agua tratada el límite máximo permisible según DIGESA y RAS 2000 es de 15 UC, de acuerdo a los datos obtenidos, el agua tratada cumple con los parámetros especificados por ambas normas.

3.6.3.1.3. Conductividad.

Se obtuvo un promedio mensual de los resultados obtenidos durante los meses de enero a junio del presente año.

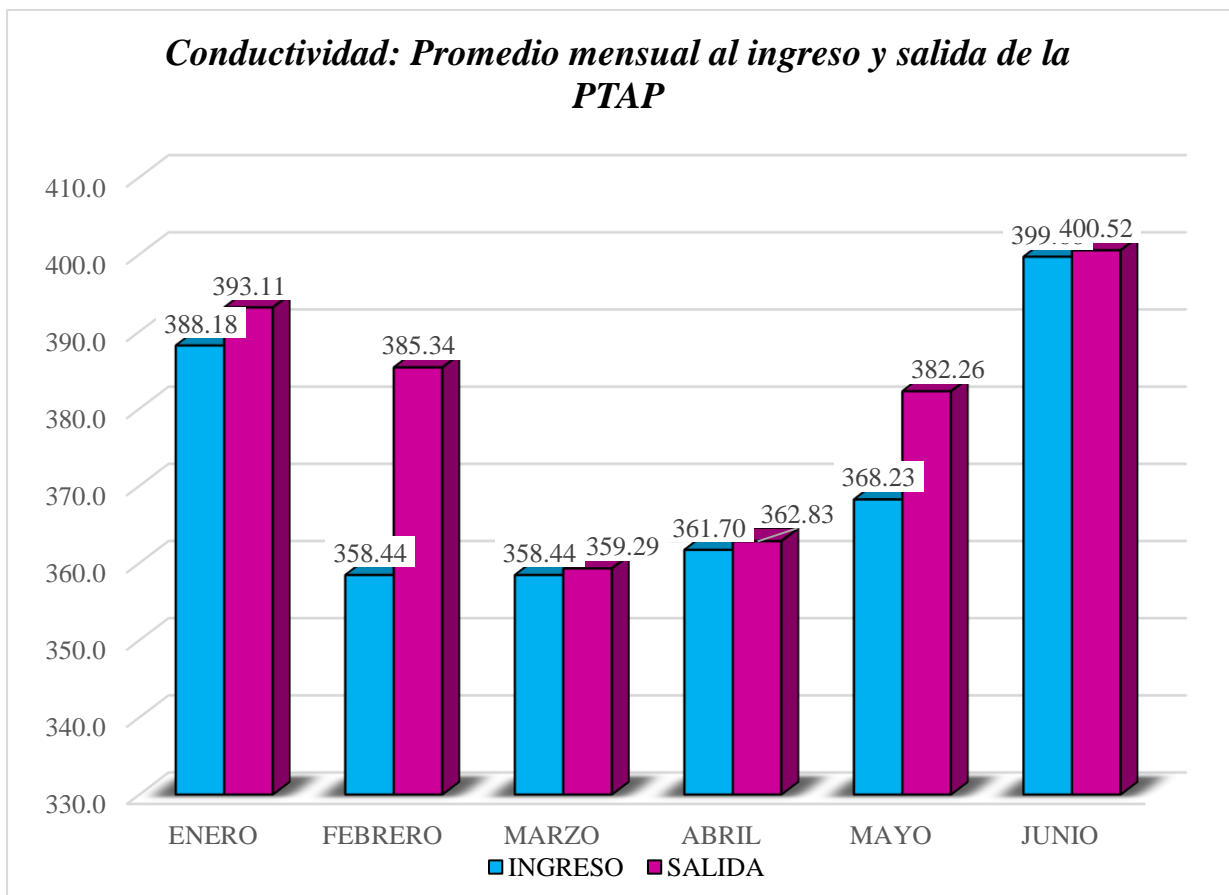
Tabla N° 60: Promedio mensual de conductividad, 2019.

MES	AGUA	
	INGRESO	SALIDA
ENERO	388.18	393.11
FEBRERO	358.44	385.34
MARZO	358.44	359.29
ABRIL	361.70	362.83
MAYO	368.23	382.26
JUNIO	399.68	400.52
Promedio	372.44	380.55

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la comparación de los meses estudiados de acuerdo con la conductividad del agua de ingreso y salida de la PTAP.

Figura N° 59: Gráfico de variación de conductividad, enero a junio 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 61: Comparación de los valores obtenidos de color, aplicando el reglamento de DIGESA y RAS 2000.

Conductividad – PTAP Santa Ana (ingreso)	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
372.44	1500	50 – 1000	SI	SI
Conductividad – PTAP Santa Ana (salida)	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
380.55	1500	50 - 1000	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

La conductividad eléctrica tiene como valor máximo permisible de 1500 µmho/cm en ambas normas. De acuerdo con los resultados obtenidos podemos dar como resultado que cumple con ambas normas.

3.6.3.1.4. Alcalinidad.

De acuerdo con la tabla siguiente, podemos apreciar que solo se obtuvo valores de alcalinidad para el mes de enero.

Tabla N° 62: Promedio mensual de alcalinidad, enero a junio 2019.

MES	UNIDAD	Agua cruda	Agua tratada
ENERO	mg/L	76.56	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Según DIGESA y RAS 2000 el límite máximo permisible es 250 mg/L, tanto para agua cruda como para agua tratada, la PTAP Santa Ana, cumple con ambos parámetros.

3.6.3.1.5. Parámetros restantes.

Se obtuvieron los promedios mensuales de los meses de estudio, y estos se evaluaron con la normativa respectiva.

Tabla N° 63: Parámetros físicos químicos - PTAP Santa Ana – Cusco.

PROMEDIO ENERO - JUNIO 2019			
PARAMETROS FISICO - QUIMICOS	Unidad de Medida	LMP - MINSA	PTAP SANTA ANA
Solidos Totales Disueltos	mg/L	1,000	283
Salinidad	---	---	0.1
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	500	165.88
Calcio	mg/L Ca ⁺⁺	250	57.51
Magnesio	mg/L Mg ⁺⁺	---	5.55
Cloruros	mg/L	250	11.35
Sulfatos	mg/L	250	103.35
Nitrogeno-Nitratos	mg/L	50	0.84
Coliformes Totales	UFC/100 mL	0	0
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	0	0

Fuente: EPS SEDACUSCO – Laboratorio de calidad de agua.

Los parámetros físicos - químicos restantes fueron comparados con las normas OS.020 y RAS 2000, y se obtuvieron los siguientes resultados:

PTAP SANTA ANA

Solidos totales disueltos	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
283	1000	1000	SI	SI
Salinidad	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
0.1	-----	0	SI	NO
Dureza	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
165.88	500	160	SI	NO
Cloruros	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
11.35	250	250	SI	SI
Sulfatos	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
103.35	250	250	SI	SI
Nitrógeno, nitratos	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
0.84	50	10	SI	SI

Tabla N° 64: Comparación de valores obtenidos de parámetros físicos químicos, con las normas DIGESA y RAS 2000

Fuente: Elaboración propia.

Para poder hallar la eficiencia de los parámetros físicos – químicos, se dividió el total del porcentaje entre el número de valores obtenidos para que cada resultado tenga un porcentaje específico, cuando el resultado cumple se le pone el porcentaje obtenido y cuando no, el porcentaje asumido será 0%. Al realizar la suma de los porcentajes se obtiene la eficiencia en base al 100%.

Tabla N° 65: Evaluación de eficiencia de parámetros físicos- químicos PTAP Santa Ana – Cusco

Parámetros físicos - químicos	¿Cumple con la norma?		% de eficiencia según normas	
	DIGESA	RAS 2000	DIGESA	RAS 2000
pH agua cruda	SI	SI	8.33%	8.33%
pH agua tratada	SI	SI	8.33%	8.33%
Color agua cruda	NO	SI	0.00%	8.33%
Color agua tratada	SI	SI	8.33%	8.33%

Conductividad agua cruda	SI	SI	8.33%	8.33%
Conductividad agua tratada	SI	SI	8.33%	8.33%
Solidos totales disueltos	SI	SI	8.33%	8.33%
Alcalinidad total	SI	SI	8.33%	8.33%
Dureza total	SI	NO	8.33%	0.00%
Cloruros	SI	SI	8.33%	8.33%
Sulfatos	SI	SI	8.33%	8.33%
Nitrógenos, nitratos	SI	SI	8.33%	8.33%
Parámetros físicos - químicos	TOTAL =		91.6%	91.6%

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.2. Parámetros microbiológicos.

Se obtuvo promedio de enero a junio de los parámetros microbiológicos:

Tabla N° 66: Promedio de valores de parámetros microbiológicos enero a junio del 2019

PROMEDIO ANUAL			AÑO 2019						Prom
PARAMETROS	UNIDAD	LMP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
Col. Totales	NMP/100ml	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Col. Termo tolerantes	NMP/100ml	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bact. Heterotróficas	UFC/mL	500	0.6	0.7	0.0	0.6	1.9	0.0	0.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 67: Comparación de valores obtenidos de parámetros microbiológicos, con las normas DIGESA y RAS 2000.

Col. totales	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
0	500	100	SI	SI
Col. Termotolerantes	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
0	0	0	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

Para poder hallar la eficiencia de los parámetros microbiológicos, se dividió el total del porcentaje entre el número de valores obtenidos para que cada resultado tenga un porcentaje específico, cuando el resultado cumple se le pone el porcentaje obtenido y cuando no, el porcentaje asumido será 0%. Al realizar la suma de los porcentajes se obtiene la eficiencia en base al 100%.

Tabla N° 68: Evaluación de eficiencia de parámetros microbiológicos PTAP Santa Ana – Cusco

Parámetros microbiológicos	¿Cumple con la norma?		% de eficiencia según normas	
	DIGESA	RAS 2000	DIGESA	RAS 2000
Col. totales	SI	SI	50.00%	50.00%
Col. Termotolerantes	SI	SI	50.00%	50.00%
Parámetros microbiológicos	TOTAL =		100.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.3. Parámetros inorgánicos.

Tabla N° 69: Parámetros inorgánicos - PTAP Santa Ana – Cusco.

PROMEDIO ENERO - JUNIO 2019			
PARAMETROS FISICO - QUIMICOS	Unidad de Medida	LMP - MINSA	PTAP SANTA ANA
Cloro Residual	mg/L	>0.5	1.28

Fuente: EPS SEDACUSCO – Laboratorio de calidad de agua.

Tabla N° 70: Comparación de valores obtenidos de parámetros inorgánicos, con las normas DIGESA y RAS 2000.

Cloro residual – PTAP Santa Ana	DIGESA (LMP)	RAS 2000	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	RAS 2000
1.28 mg/L	> 0.5 mg/L	0.2 – 1 mg/L	SI	NO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 71: Evaluación de eficiencia de parámetros inorgánicos PTAP Santa Ana – Cusco.

Parámetros inorgánicos	¿Cumple con la norma?		% de eficiencia según normas	
	DIGESA	RAS 2000	DIGESA	RAS 2000
Cloro residual	SI	NO	100.00%	0.00%
Parámetros inorgánicos	TOTAL =		100.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.4. Eficiencia total de calidad de agua – PTAP Santa Ana.

En el siguiente cuadro resumen, se aprecian las eficiencias calculadas previamente de acuerdo con la calidad de agua, evaluando los resultados obtenidos con el reglamento de DIGESA y la norma técnica colombiana RAS 2000.



Tabla N° 72: Resumen de eficiencia según reglamento de DIGESA y RAS 2000.

PARÁMETROS	% de eficiencia según normas	
	DIGESA	RAS 2000
Parámetros físicos – químicos	91.6%	83.33%
Parámetros microbiológicos	100.00%	100.00%
Parámetros inorgánicos	100.00%	00.00%
Promedio de resultados =	97.2 %	61.11 %

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Lavado de filtros.

3.6.4.1. Caudal que se pierde por lavado.

De acuerdo con las alturas obtenidas de la poza de evacuación, se calculó el volumen que se pierde por lavado, cabe resaltar que solo se obtuvieron datos de los meses enero, febrero y junio.

Se realizó un promedio mensual del caudal que se pierde por lavado, de acuerdo con el área y las alturas de la poza de descarga.



Tabla N° 73: Volumen de perdida de caudal, enero 2019.

N°	H m	Área m ²	Volumen m ³
1	1.68	44.16	74.19
2	1.59	44.16	70.21
3	1.71	44.16	75.51
4	1.66	44.16	73.31
5	1.85	44.16	81.70
6	1.67	44.16	73.75
7	1.72	44.16	75.96
8	1.70	44.16	75.07
9	1.63	44.16	71.98
10	1.70	44.16	75.07
11	1.65	44.16	72.86
12	1.60	44.16	70.66
13	1.59	44.16	70.21
14	1.70	44.16	75.07
15	1.58	44.16	69.77
16	1.75	44.16	77.28
17	1.67	44.16	73.75
18	1.63	44.16	71.98
19	1.58	44.16	69.77
20	1.59	44.16	70.21
21	1.66	44.16	73.31
22	1.59	44.16	70.21
23	1.72	44.16	75.96
24	1.55	44.16	68.45
25	1.57	44.16	69.33
26	1.72	44.16	75.96
27	1.68	44.16	74.19
28	1.69	44.16	74.63
29	1.61	44.16	71.10
30	1.54	44.16	68.01
31	1.60	44.16	70.66
TOTAL =			2260.11 m3

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 74: Volumen de perdida de caudal, febrero 2019.

N°	H m	Área m ²	Volumen m ³
1	1.62	44.16	71.539
2	1.65	44.16	72.864
3	1.67	44.16	73.747
4	1.75	44.16	77.280
5	1.69	44.16	74.630
6	1.70	44.16	75.072
7	1.65	44.16	72.864
8	1.73	44.16	76.397
9	1.68	44.16	74.189
10	1.80	44.16	79.488
11	1.74	44.16	76.838
12	1.82	44.16	80.371
13	1.65	44.16	72.864
14	1.76	44.16	77.722
15	1.67	44.16	73.747
16	1.72	44.16	75.955
17	1.65	44.16	72.864
18	1.60	44.16	70.656
19	1.76	44.16	77.722
20	1.73	44.16	76.397
21	1.69	44.16	74.630
22	1.80	44.16	79.488
23	1.68	44.16	74.189
24	1.59	44.16	70.214
25	1.70	44.16	75.072
26	1.75	44.16	77.280
27	1.66	44.16	73.306
28	1.78	44.16	78.605
TOTAL =			2106 m3

Fuente: Elaboración propia.



Tabla N° 75: Volumen de perdida de caudal, junio 2019

Nº	H m	Área m ²	Volumen m ³
1	1.65	44.16	72.86
2	1.79	44.16	79.05
3	1.66	44.16	73.31
4	1.76	44.16	77.72
5	1.60	44.16	70.66
6	1.68	44.16	74.19
7	1.68	44.16	74.19
8	1.59	44.16	70.21
9	1.62	44.16	71.54
10	1.70	44.16	75.07
11	1.64	44.16	72.42
12	1.57	44.16	69.33
13	1.85	44.16	81.70
14	1.72	44.16	75.96
15	1.80	44.16	79.49
16	1.71	44.16	75.51
17	1.64	44.16	72.42
18	1.59	44.16	70.21
19	1.64	44.16	72.42
20	1.56	44.16	68.89
21	1.72	44.16	75.96
22	1.61	44.16	71.10
23	1.67	44.16	73.75
24	1.86	44.16	82.14
25	1.70	44.16	75.07
26	1.60	44.16	70.66
27	1.63	44.16	71.98
28	1.69	45.16	76.32
29	1.59	46.16	73.39
30	1.68	47.16	79.23
TOTAL =			2074 m³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 76: Resumen caudal que se pierde por lavado

MES	M3
ENERO	2260
FEBRERO	2106
JUNIO	2074
TOTAL =	6440 m3

Fuente: Elaboración propia.

El volumen que se pierde por lavado varía significativamente de acuerdo con el periodo de estudio, y aproximadamente se pierde por mes un volumen de 2100 m3 por mes. El volumen total hallado en estos tres meses fue de 6440 m3, lo que significaría una pérdida de 6'440,000.00 litros.

3.6.4.2. Tiempo de lavado.

Se realizó el promedio diario del tiempo de lavado, para calcular el tiempo estimado de lavado de los filtros.

Tabla N° 77: Promedio del tiempo de lavado, 5 de febrero 2019.

FILTROS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VACIADO			1		1	1		1		1
LLENADO			1		1	1		1		1
LAVADO			10		6	10		6		6
ENJUAGUE			10		12	10		11		12
TIEMPO TOTAL			22 min		20 min	22 min		19 min		20 min
Promedio tiempo =	21 min									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 78: Promedio del tiempo de lavado, 24 de febrero 2019.

FILTROS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VACIADO	1	1	1	1			1	1	1	
LLENADO	1	1	1	1			1	1	1	
LAVADO	10	8	8	6			6	10	6	
ENJUAGUE	10	8	10	11			13	8	12	
TIEMPO TOTAL	22 min	18 min	20 min	19 min			21 min	20 min	20 min	
Promedio =	20 min									

Fuente: Elaboración propia.

De los promedios diarios realizados, se obtuvo el siguiente cuadro resumen.



Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	19	20	20	20	19	18
2	19	20	19	20	18	18
3	19	19	20	19	19	18
4	18	19	19	19	18	18
5	21	21	20	20	18	19
6	18	21	20	20	18	18
7	18	20	20	19	17	19
8	18	20	20	20	18	19
9	18	20	20	20	16	18
10	17	20	20	17	2	19
11	18	20	19	19	18	18
12	19	20	20	19	20	17
13	19	21	20	20	18	18
14	18	20	20	21	19	18
15	18	20	18	18	18	19
16	18	21	19	17	19	17
17	18	19	20	18	19	17
18	20	20	18	19	19	16
19	19	20	21	20	20	16
20	20	20	20	19	19	18
21	19	20	18	21	20	20
22	20	20	20	19	20	19
23	20	19	21	19	18	18
24	19	20	19	18	20	18
25	19	0	20	19	19	19
26	20	20	20	19	19	18
27	19	20	20	19	18	16
28	20	20	20	20	18	18
29	20		20	18	19	17
30	20		19	18	17	19
31			19		18	
Prom =	19 min	19 min	20 min	19 min	18 min	18 min

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el promedio diario mensual, para hallar el tiempo promedio utilizado en el lavado.

Tabla N° 80: Promedio mensual de tiempo de lavado.

Enero	19 min
Febrero	19 min
Marzo	20 min
Abril	19 min
Mayo	18 min
Junio	18 min
Promedio =	19 min

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo estimado de tiempo utilizado en el lavado de los filtros es de 19 min.

3.6.4.3. Eficiencia de lavado de los filtros.

La norma OS.020 y RAS 2000 brindan valores mínimos para el tiempo de lavado.

Tabla N° 81: Eficiencia de lavado de filtros.

PARÁMETROS	% de eficiencia según normas		Cumplimiento de la norma	
	OS.020	RAS 2000	OS.020	RAS 2000
Tiempo de lavado	-----	>10 min	---	Si
TOTAL =			100.00 %	100.00 %

Fuente: Elaboración propia.

3.6.5. Eficiencia total del sistema.

Tabla N° 82: Eficiencia total sistema de filtración.

PARÁMETROS	% de eficiencia según normas	
	OS.020	RAS 2000
Turbiedad	42.14%	42.14%
Calidad de material filtrante	0.00 %	75.00 %
Calidad de agua	97.2 %	61.11 %
Tiempo de lavado	100.00%	100.00%
TOTAL =	59.84 %	69.56 %

Fuente: Elaboración propia.

4 Capítulo 4 : Resultados.

4.1 Eficiencia de la PTAP Santa Ana – Cusco.

La evaluación realizada a la PTAP Santa Ana – Cusco, aplicando las normas OS.020 y RAS 2000 presenta los siguientes resultados:

Tabla N° 83: Eficiencia de la PTAP Santa Ana - Cusco

PARÁMETROS	% de eficiencia según normas	
	OS.020	RAS 2000
Turbiedad	42.14%	42.14%
Calidad de material filtrante	0.00 %	75.00 %
Calidad de agua	97.2 %	61.11 %
Tiempo de lavado	100.00%	100.00%
TOTAL =	59.84 %	69.56 %

Fuente: Elaboración propia.

- La evaluación realizada a la PTAP Santa Ana aplicando la norma OS.020, dio como resultado una eficiencia de 59.84%
- La evaluación realizada a la PTAP Santa Ana aplicando la norma técnica colombiana RAS 2000, dio como resultado una eficiencia de 69.56%

4.2 Calidad del material filtrante de acuerdo con el CEPIS.

De los ensayos de calidad del material filtrante a la arena de la PTAP Santa Ana – Cusco, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Es arena fina con $T_e = 0.608$ mm.
- Tiene un $C_u = 1.53$.
- Tiene una dureza de 3 en la escala de Mohs.
- Contiene 1.80 gr de material que pasa la malla 200.

Tabla N° 84: Comparación de valores obtenidos de la arena fina de la PTAP Santa Ana –

Arena de Chancay	CEPIS	¿Cumple con la norma?
Contiene 1.80 gr de material que pasa la malla 200	Libre de material silíceo de granos duros libre de arcilla, limo o materia orgánica.	NO
3 escala de Mohs	≤ 3 en la escala de Mohs	SI
$D_{10} = 0.608$	Tamaño efectivo 0.50 – 0.60 mm	NO
$C_u = 1.53$	$C_u < 1.5$	NO

Fuente: Elaboración propia.

La arena fina no cumple con los parámetros especificados en el CEPIS.

4.3 Calidad de agua según parámetros de DIGESA.

Tabla N° 85: Parámetros de calidad de Agua evaluadas según reglamento de DIGESA

Parámetro	Valor	DIGESA	Cumplimiento de la norma	
			DIGESA	
PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS	pH agua cruda	7.69	6.5 – 8.5	SI
	pH agua tratada	7.59	6.5 – 8.5	SI
	Color de ingreso	15.87	15	NO
	Color de salida	5.98	15	SI
	Conductividad agua cruda	372.44	1500	SI
	Conductividad agua tratada	380.55	1500	SI
	Sólidos totales disueltos	283	1000	SI
	Alcalinidad total	0.1	-----	SI
	Dureza total	165.88	500	SI
	Cloruros	11.35	250	SI
	Sulfatos	103.35	250	SI
	Nitrógenos, nitratos	0.84	50	SI
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	Col. totales	0	500	SI
	Col. Termotolerantes	0	0	SI
PARÁMETROS INORGÁNICOS	Cloro residual	1.28	> 0.5	SI

Fuente: Elaboración propia.

La PTAP Santa Ana cumple con los parámetros físicos - químicos, microbiológicos e inorgánicos establecidos por DIGESA.



4.4 Tiempo óptimo de lavado.

Tabla N° 86: Resumen de Tiempo de lavado.

Enero	19 min
Febrero	19 min
Marzo	20 min
Abril	19 min
Mayo	18 min
Junio	18 min
Promedio =	19 min

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo óptimo de lavado calculado de acuerdo con los datos obtenidos es de 19 min.

5 Capítulo 5 : Discusión

- a. ¿Cuál es la diferencia de los resultados obtenidos de los ensayos a la arena y los resultados establecidos en la norma peruana OS.020 y la norma colombiana RAS 2000?

La diferencia de los resultados obtenidos de acuerdo a las dos normas utilizadas se presentan a continuación en los siguientes cuadros; donde podemos ver que las especificaciones técnicas del material filtrante utilizado en la PTAP Santa Ana proveniente de Lima – Chancay contiene 1.8 gr de material que pasa la malla 200, y tiene un valor de 3 en la escala de Mohs.

Tabla N° 87. Especificaciones técnicas del material filtrante.

Especificaciones técnicas del material filtrante		
Arena Chancay	OS.020	RAS 2000
	Material laminar o micáceo < 1%	-
Contiene 1.80 gr de material que pasa la malla 200	Material silíceo de granos duros libre de arcilla, limo o materia orgánica.	Contenido bajo de cenizas y material volátil, libre de mica, polvo, arcilla, limo y materiales extraños.
3 escala de Mohs	7 en la escala de Mohs	3.5 en la escala de Mohs
	Solubilidad del HCl al 40% durante 24 hrs < 5%	-

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al espesor y las características granulométricas la arena utilizada en la PTAP proveniente de Lima – Chancay tiene un tamaño efectivo (D10) de 0.608 mm; el cual no se encuentra dentro de los parámetros de ninguna de las normas. Tiene un coeficiente de uniformidad de 1.53 el cual no cumple con la normal OS.020 pero si cumple con la norma colombiana RAS 2000.

Tabla N° 88. Espesor y Características granulométricas.

Espesor y características granulométricas		
Arena Chancay	OS.020	RAS 2000
	Espesor 0.60 - 0.75 mm	-
D10 = 0.608 mm	Tamaño efectivo 0.5 - 0.6 mm	Tamaño efectivo 0.35 - 0.45 mm

Cu = 1.53	Cu <= 1.5	Cu = 1.35 - 1.7
-----------	-----------	-----------------

Fuente: Elaboración propia

b. ¿Cuál es el aporte de la investigación?

- Se realizó la evaluación de la eficiencia de los filtros de la PTAP Santa Ana – Cusco utilizando la norma peruana OS.020 y la norma colombiana RAS 2000, identificando parámetros y valores de la norma colombiana que podrían ser incorporados en la norma peruana, permitiendo conocer el funcionamiento de los filtros y la operación de los procesos unitarios en la PTAP Santa Ana – Cusco.
- Se realizó la digitalización de los manuales de operación y funcionamiento de la EPS SEDACUSCO S.A. los cuales servirán para futuras investigaciones y se podrá tener fácil acceso a dichos manuales mediante la presente tesis de investigación.

c. ¿Qué parámetros de la norma colombiana RAS 2000, deberían ser incluidas en la norma OS.020?

Tabla N° 89: Parámetros de la norma colombiana que deben ser incluidos en la norma OS.020

Fórmula para el cálculo de eficiencia de los filtros	$Eficiencia (\%) = \left(\frac{Turbiedad (afluente) - Turbiedad (efluente)}{Turbiedad (afluente)} \right) * 100$
Localización del filtro	Debe ofrecer una buena visibilidad al operador a fin de facilitar el control de la operación de lavado. Por eso mismo el área filtrante debe quedar a la vista del operador.
Selección del equipo de filtración	La selección del tipo de filtro debe justificarse, así como las características particulares del mismo, en cuanto al número de unidades, medio filtrante, lavado, recolección, drenaje, etc.
Altura del agua sobre el lecho	La altura del agua sobre el lecho puede ser variable o constante, según el tipo de control que se use, pero no puede ser inferior a 0.5 m. El lecho filtrante en ningún momento debe trabajar seco.
Operación del filtro	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evitar turbulencias indebidas y agitación de la arena en el llenado del filtro. 2. Mantener una buena coagulación del agua, ajustando la dosis óptima permanentemente para obtener el mejor filtrado. 3. Determinar la turbiedad, el color y la pérdida de carga en el efluente del filtro. 4. No producir pérdida de carga negativa en el lecho filtrante. 5. Lavar el filtro cuando éste alcance la pérdida de carga máxima permitida por el sistema o cuando la calidad del agua alcance el límite máximo permitido por las normas, utilizando las velocidades adecuadas a las características del medio filtrante, de acuerdo con las recomendaciones del diseñador y la experiencia.
Operación de lavado del filtro	El lavado debe hacerse cada vez que la pérdida de carga es igual a la presión estática sobre el fondo del lecho, o la calidad del efluente desmejore. La mayoría de los problemas del filtro se originan en un lavado deficiente incapaz de desprender la película que recubre los granos del lecho, romper las grietas o cavidades en donde se acumula el material que trae el agua y transportar el material desde el interior del lecho hasta las canaletas de lavado. Ver Pág. 65 – pág. 66
Tanque de almacenamiento de agua tratada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar la operación de las válvulas según el régimen de servicio. 2. Medir el caudal distribuido. 3. Aforar el caudal de ingreso al tanque.

	4. Controlar la calidad del agua almacenada. 5. Vaciar y lavar el tanque cuando se detecten sedimentos, en especial residuos de cal. 6. Desinfección de tanques.
Modalidad de lavado de filtros	VER TABLA 79
Sistema de drenaje	VER TABLA 80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 90: Modalidad de lavado de filtros – RAS 2000

LAVADO ASCENDENTE CON AGUA		AGITACIÓN AUXILIAR		Medio filtrante con que se una este lavado
Tipo	Descripción	Tipo	Descripción	
De alta velocidad (0.6 a 1.0 m/min)	Se usa velocidad constante durante el lavado con fluidización de todas las capas del medio filtrante y estratificación de partículas	Sin agitación auxiliar	Se usa lavado ascendente solo	Arena fina sola arena y antracita
		Con agua	Chorros Fijos	Arena fina sola arena y antracita
			Chorros rotatorios	
Con aire	Aire sin flujo de agua ascendente primero y agua sola después	Arena fina sola arena y antracita, antracita sola		
De baja velocidad (0.3 a 0.45 m/min)	Velocidad inicial más baja durante la primera fase del lavado que durante la segunda sin fluidización en ambas.	Con aire	Primero aire simultáneamente con el agua y luego agua sola a una velocidad mayor.	Arena gruesa sola o antracita sola.
De baja velocidad seguida de alta velocidad (0.3 a 0.45 + 0.60 a 1 m/min)	Velocidad baja durante la primera fase de lavado sin fluidificación y alta durante la segunda con fluidificación de partículas.	Con aire	Primero, aire simultáneamente con un flujo de agua ascendente bajo y después agua sola con alta velocidad.	Arena gruesa sola.

Nota: Por arena fina se entiende la arena de un $T_e = 0.45$ a 0.55 mm y arena gruesa la de un $T_e = 0.8$ a 2.4 mm.

Fuente: (RAS, 2000)

Tabla N° 91: Sistema de drenaje

Tipo	Consiste en	Se usa con
Tubería perforada	Tubo principal y laterales perforados, se emplea con grava, bloques difusores o boquillas insertadas	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta o baja velocidad descendente
Falsos fondos	Bloques perforados de arcilla	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta velocidad ascendente
	Bloques o canales perforadas en acero o plástico para uso con o sin grava	Lavado con aire primero y agua después o con aire y agua simultáneamente, con alta o baja tasa de lavado
	Boquillas de cola corta	Lavado con solo agua y alta velocidad ascendente con o sin lavado superficial
	Boquillas de cola larga	Lavado con aire y agua simultáneamente para baja velocidad ascendente



	Prefabricados de concreto para uso con grava	Lavado mutuo con agua de un filtro con el flujo de los otros, para velocidad ascendente. Para el lavado mutuo pueden utilizarse los otros sistemas adecuándolos debidamente
Placas porosas	Placas flexibles para reemplazo de grava	Lavado con aire y agua o agua sola según el dren y alta velocidad ascendente

Fuente: (RAS, 2000)

d. ¿Qué diferencias relevantes se encontraron entre la norma peruana OS.020 y la norma colombiana RAS 2000?

- La norma colombiana ofrece un rango más amplio de valores para algunos parámetros.

Parámetros	OS.020	RAS 2000
Turbiedad	5 UNT	5 UNT
pH	6.5 – 8.5	6.5 – 9
Color agua cruda	15	10 – 20
Color agua tratada	15	15
Conductividad ingreso	1500	10 – 1000
Conductividad salida	1500	10 – 1000
Alcalinidad	250	250
Sólidos disueltos	1000	1000
Salinidad		0.1
Dureza	500	160
Cloruros	250	250
Sulfatos	250	250
Nitrógenos, nitrato	50	10
Coliformes totales	500	100
Col. Termo tolerantes	0	0

- La norma peruana OS.020 realiza más ensayos de calidad para el material filtrante como son:
 - ✚ Pérdidas por ignición
 - ✚ Solubilidad al HCL (ácido clorhídrico)
 - ✚ Peso específico de la arena
 - ✚ Contenido de carbón
 - ✚ Solubilidad al NaOH (Hidróxido de sodio)
- La norma colombiana RAS 2000 brinda una guía para realizar la operación de los filtros y del lavado de los filtros, parámetros que no presenta la norma peruana OS.020.



e. ¿Estos resultados se podrían plantear en otra Planta de Tratamiento de Agua Potable del mismo tipo de funcionamiento?

Si, ya que se encuentra en elaboración un expediente de una nueva PTAP en el sector de Piuray, con la evaluación realizada a los filtros se podrían aplicar los resultados y las recomendaciones obtenidas en esta nueva Planta, para que así los valores de turbiedad que ingresen a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa Ana sean más bajos y esta pueda tener una mayor eficiencia en su funcionamiento.

f. ¿Cuáles son los aspectos positivos y negativos que se puedan considerar en esta investigación?

Dentro de los aspectos positivos a considerar de la investigación el más relevante es que los diez filtros trabajan simultáneamente durante las 24 horas del día por lo que fue fácil realizar una evaluación de estos constantemente y satisfacer las dudas propuestas por la investigación. Este aspecto será relevante en estudios futuros que se quieran realizar dentro de la PTAP Santa Ana – Cusco.

Por otro lado, un aspecto negativo de la investigación es que los filtros utilizados en la PTAP son de uso poco común dentro del diseño de las otras Plantas de Tratamiento de Agua Potable, por lo que los valores obtenidos de estos solo se podrán aplicar a sistemas del mismo tipo de Diseño de PTAP. Otros dos aspectos negativos que pudimos observar dentro de la PTAP Santa Ana Cusco es la falta de floculadores, se utiliza mucha cantidad de agua para lavar los filtros y esta no se reusa de ningún forma. La cantidad de agua que se utiliza para lavar los filtros podría tratarse y utilizarse para el riego.

g. ¿Por qué los valores altos de turbiedad afectan en el tratamiento de agua potable?

La turbiedad del agua que procede de la laguna de Piuray incrementa su volumen en los meses de épocas de lluvia, la lluvia hace que el sedimento vuelva a quedar en contacto con el agua, aumentando la sedimentación y, además, elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias por lo cual incrementa la demanda de cloro.

h. ¿Los meses de estudio fueron una muestra representativa de la eficiencia de la PTAP durante un año de funcionamiento de esta?

Si, como ya se mencionó anteriormente, los meses elegidos fueron debido al estado meteorológico de la ciudad del Cusco, y estos meses fueron representativos porque estuvieron dentro de la época de lluvias y la época de secas.



i. ¿La continuidad en el funcionamiento de los filtros es una limitante para esta investigación?

No, porque el funcionamiento constante de estos hace que la investigación haya sido proporcionada de abundantes datos, por lo que pudimos encontrar los resultados que queríamos sin objeciones.

j. ¿Cómo se podría mejorar el funcionamiento de los filtros mediante una nueva propuesta?

- Proponer un nuevo tipo de toberas de cola larga, o toberas que tengan espaciamiento reducido para dificultar el paso del material filtrante y mejorar el proceso de filtración, asimismo podría incrementarse el número de toberas por filtro, debido a que por filtro aproximadamente se tienen 960 toberas, cuando la capacidad es para 1000 toberas.
- Proponer una nueva granulometría mediante un nuevo material filtrante, que cumpla con las características especificadas en la norma OS.020.
- En lugar del material filtrante utilizar nanofiltros, el tamaño de los poros es de 15 nanómetro de diámetro, lo cual evita el paso de virus y bacterias, reduce el paso de los sólidos disueltos y elimina la dureza del agua.

**Glosario.****Fuente de abastecimiento de agua.**

Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

Pretratamiento.

En la etapa de pretratamiento se plantean los procesos encaminados a Remoción del material flotante, Remoción del material suspendido y procesos de oxidación, es importante tener en cuenta que estos se pueden realizar por medio de tecnologías físicas y/o mecánicas. En cuanto a la remoción de material se pueden utilizar diferentes procesos entre los que se cuenta con rejillas, mallas y las trampas de grasa y aceite.

Tratamiento – clarificación-coagulación.

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. Consecuente con lo anterior para este proceso se requiere de la aplicación al agua, de compuestos químicos que permitan las reacciones necesarias, en Colombia se utilizan como coagulantes: sulfato de aluminio, aluminato de sodios, sales de hierro, cloruro férrico y sulfato ferroso.

Agitación hidráulica.

Movimiento obtenido al aprovechar la energía del agua para producir turbulencia.

Agitación mecánica.

Movimiento obtenido mediante dispositivos mecánicos (paletas, aspas, etc.) para producir turbulencia.

Agua dura.

Agua que contiene cationes divalentes y sales disueltas en concentraciones tales que interfieren con la formación de la espuma del jabón.

Agua potable.

Agua que reúne los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos.

Alcalinidad.

Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3).

**Análisis fisicoquímico del agua.**

Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis microbiológico del agua.

Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Análisis organoléptico.

Se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

Carbón activado.

Forma de carbón altamente adsorbente, usada para remover material orgánico disuelto causante del mal sabor, color y olor del agua.

Caudal de diseño.

Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

Coagulación.

Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

Coagulantes.

Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Desarenador.

Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación. Dosificación. Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.

Escherichiacoli (e-coli).

Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de los Entero bacteriáceas y se caracteriza por poseer las enzimas Galactosidasa y Glucoroanidasa.

**Filtración.**

Operación mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

Floculación.

Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

Fluidificación

Darle mayor fluidez a una sustancia.

Falso piso.

Canal o espacio ubicado debajo del drenaje. Este canal debe tener como mínimo 40 centímetros de altura.

Período de diseño.

Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

Prueba de jarras.

Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta, sirve para simular en pequeña escala el comportamiento de los coagulantes y floculantes.

Punto de muestreo.

Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua.

Tasa constante de filtración

Condición de operación de un filtro en la que se obliga a éste a operar a un mismo caudal a pesar de la reducción de la capacidad del filtro por efecto de la colmatación.

Turbidímetro.

Es un instrumento que a través del análisis óptico determina la cantidad de sustancias en un líquido, se emplea en la medición de partículas en suspensión en un líquido o gas disuelto, tiene como principio de funcionamiento la detección de las partículas con una fuente de haz lumínico y un detector de luz fijado a 90° de haz horizontal.

Puede ser un instrumento portátil o fijo. (Mingot, 1988).



Conclusiones

Conclusión N°01

Se logró demostrar la hipótesis general “La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco aplicando la norma OS.020 es menor que el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000”.

La eficiencia obtenida del proceso de filtración aplicando la norma OS.020 fue de 59.87%, y la eficiencia obtenida por la norma técnica colombiana RAS 2000 fue de 69.56%. La eficiencia obtenida por la norma OS.020 es menor que la obtenida por la norma colombiana RAS 2000.

Conclusión n°02

Se logró demostrar la sub - hipótesis N°01 “La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de Agua Potable Santa Ana – Cusco aplicando a la norma OS.020 se encuentra en un rango de 40 – 60%”, La eficiencia obtenida de acuerdo con los parámetros establecidos por la norma OS.020 es del 59.87%, valor que se encuentra dentro del rango 40 – 60%. Lo cual indica que la eficiencia de acuerdo con la norma peruana OS.020 es regular.

Conclusión n°03

Se logró demostrar la sub - hipótesis N°02: “La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando el reglamento técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000, se encuentra en un rango del 60 - 80%”, la eficiencia obtenida aplicando la norma colombiana RAS 2000 es de 69.56%, valor que se encuentra dentro del rango 60 – 80%, lo cual indica una eficiencia buena.

Conclusión n°04

No se logró demostrar la sub - hipótesis N°03: “El material filtrante de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco, cumple con los ensayos de calidad de acuerdo a la normativa del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio Ambiente (CEPIS).”, el material filtrante no cumple con los parámetros establecidos por CEPIS debido a que:

- Tiene un Cu mayor al establecido por CEPIS.
- Presenta material fino que pasa la malla 200.
- La arena de la PTAP Santa Ana tiene un tamaño efectivo mayor al establecido por CEPIS.



Conclusión n°05

Se logró demostrar la sub - hipótesis “Los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos de calidad de agua se encuentran dentro de los rangos especificados en el reglamento de calidad de agua de DIGESA.” Los parámetros físicos químicos, microbiológicos y bacteriológicos se encuentran dentro de los parámetros establecidos por DIGESA.

Conclusión n°06

No se logró demostrar la sub - hipótesis “El periodo óptimo de lavado en los filtros de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco es de 4 - 8 min.” Ya que el periodo de lavado de los filtros en la PTAP Santa Ana – Cusco es de 19 min.



Recomendaciones

- En el procedimiento de llenado manual de datos de los formatos utilizados por EPS SEDACUSCO debe incluirse la verificación de los datos por un responsable debido a que, al ser llenados manualmente, quien ha realizado el registro de datos puede cometer errores que luego provoquen errores en futuras investigaciones y controles propios de la empresa.
- La turbiedad del efluente de los filtros no es igual al efluente del reservorio por lo que se recomienda a la EPS SEDACUSCO realizar la limpieza y mantenimiento del reservorio.
- Se recomienda usar los resultados para futuras investigaciones dentro de la PTAP Santa Ana - Cusco, teniendo en cuenta las limitaciones de esta investigación, se puede proponer el uso de un nuevo tipo de toberas, de similares características a las que se encuentran en uso o con un espaciamiento más pequeño para que el proceso de filtración mejore debido a que las toberas dificultan el paso del material filtrante a través del filtro.
- Se recomienda que para futuros estudios de la eficiencia dentro de la PTAP Santa Ana – Cusco se haga uso de los meses de julio a diciembre ya que estos no fueron de estudio dentro de esta investigación, entonces se podría arrojar nuevos porcentajes de eficiencia de acuerdo con las variaciones que tengan estos.
- Se recomienda para futuras tesis de investigación realizar una evaluación y propuesta de mejoramiento sobre el proceso de floculación, debido a que en la PTAP Santa Ana solo hay tanques de agitación rápida, en los cuales se inyecta el floculante y funcionan a una velocidad mínima.
- Se recomienda para las futuras tesis de investigación realizar una propuesta de diseño para el tratamiento del caudal que se pierde por lavado, para que este pueda ser utilizado ya sea para consumo o para riego.
- Se recomienda para las futuras tesis de investigación, realizar una evaluación y propuesta de mejora a la planta auxiliar de la PTAP Santa Ana Cusco, debido a que está actualmente no se encuentra en funcionamiento y presenta falencias en su diseño.



Bibliografía

- Angelone, S. (2006). *Permeabilidad de Suelos*. Rosario.
- Barraqué, C. (1979). Manual Técnico del agua. En *Capítulo 9: Filtración*. Paris: Degremont.
- CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Vol. 1). Lima, Perú.
- Corrales, R. L. (2016). Evaluación y Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Centro Poblado de Yauri, distrito de Yauri, provincia de Espinar, región Cusco. Arequipa, Perú.
- Explorable. (17 de Mayo de 2009). Obtenido de Explorable.com:
<https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico>
- Henry Loaiza. (2011). *Wordpress.com*. Obtenido de <https://henryloaisiga.files.wordpress.com/2011/12>
- INEI. (2014). *Estimaciones y Proyecciones de Población por sexo de las principales ciudades 2000-2015. Boletín especial N° 23*. Lima, Perú.
- Juberay, C. (2011). *Procesos de Tratamientos de Aguas, Coagulación y Floculación*. Santa Ana de Coro.
- Kasetsu, N. (2017). *Tipos de coagulantes y floculantes*.
- Maldonado Yactayo, V. (2004). En CEPIS, *Capítulo 7. Sedimentación* (Vol. II, págs. 3-12). Lima, Perú.
- Maldonado, V. (2004). En CEPIS, *Capítulo 9. Filtración* (Vol. II, págs. 83-112). Lima, Perú.
- Mingot, G. (1988). *Ecured.cu*.
- OMS. (2004). *Normas de Calidad de Agua*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>
- OS.020. (2009). *Plantas de tratamiento de agua Potable*. Lima, Perú.
- Pro, G. E. (19 de octubre de 2019). *Google Earth Pro*.
- QUIMINET. (11 de ENERO de 2007). *QUIMINET.COM*. Obtenido de QUIMINET: Proceso de cianuración para lograr el pH operacional adecuado.
- RAS. (2000). *Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico*. Bogota, Colombia.
- Red Peruana de Gestores de Educación. (s.f.). *EDUGESTORES*. Obtenido de <https://www.edugestores.pe/docs/escala-valorativa/#:~:text=Es%20un%20conjunto%20de%20criterios,de%20Educaci%C3%B3n%20P%C3%BAblica%2C%202011>.



Romero, M. (2017). *Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar* . Obtenido de

<http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING->

[PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf](http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf)

Sampieri, R. H. (2017). *Metodología de la investigación* (Vol. 6ta edición). Ciudad de

México, México: Editorial Mc Graw Hill Education.

SEDACUSCO. (2018). *Plan de Mitigación de Riesgos asociado al PMO 2013 - 2018 de la*

EPS SEDACUSCO S.A. Cusco.

SEDAPAL. (2000). *Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación*. Lima, Perú.

SUNASS. (2013). *Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de*

Gestión aplicable a la Empresa de Servicio de agua potable y alcantarillado

SEDACUSCO S.A.



ANEXOS



Tabla N° 92. Matriz de consistencia.

PROBLEMA GENERAL.	OBJETIVO GENERAL.	HIPÓTESIS GENERAL.
¿Cuál será la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 y el reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000?	Evaluar la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 y el reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000.	La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 es menor que el reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	HIPÓTESIS ESPECÍFICO.
1. ¿Cuál será la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020?	1. Evaluar la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020.	1. La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la norma OS.020 se encuentra en un rango de 40 - 60%.
2. ¿Cuál será la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando el reglamento técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000?	2. Evaluar la eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando el reglamento técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000.	2. La eficiencia del proceso de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando el reglamento técnico del Sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000, se encuentra en un rango del 60 - 80%.
3. ¿Cuál será el resultado de evaluar mediante ensayos de calidad las condiciones del material filtrante de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la normativa del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio Ambiente (CEPIS)?	3. Evaluar mediante ensayos de calidad las condiciones del material filtrante de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco aplicando la normativa del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio Ambiente (CEPIS).	3. El material filtrante de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco, cumple con los ensayos de calidad de acuerdo a la normativa del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio Ambiente (CEPIS).



<p>4. ¿Cumple el efluente de los filtros de la planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos de calidad de agua especificados en el reglamento de calidad de agua de DIGESA?</p>	<p>4. Determinar el cumplimiento de la calidad del efluente de los filtros de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana – Cusco con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos de calidad de agua especificados en el reglamento de calidad de agua de DIGESA.</p>	<p>4. Los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos de calidad de agua se encuentran dentro de los rangos especificados en el reglamento de calidad de agua de DIGESA.</p>
<p>5. ¿Cuál es el periodo óptimo de lavado en los filtros de la Planta de tratamiento de agua Potable Santa Ana - Cusco?</p>	<p>5. Determinar el periodo óptimo de lavado en los filtros de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco.</p>	<p>5. El periodo óptimo de lavado en los filtros de la Planta de tratamiento de agua potable Santa Ana - Cusco es de 4 - 8 min.</p>

Fuente: Elaboración propia