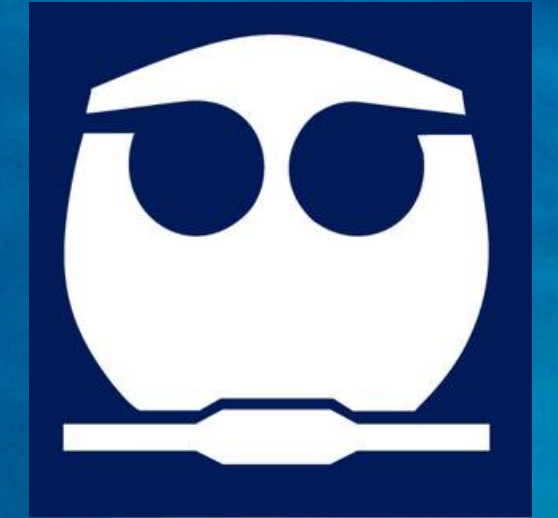




Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA
Programa de Estancias Cortas de investigación (PECI) 2026-2



EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA UTILIZANDO EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO

Responsables:

Dra. María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar Responsable del Grupo de investigación Formativa en Química Analítica Ambiental (GIFQAA) del Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, UNAM.

Dr. José Luz González Ch. Jefe del Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, UNAM



ELABORADO POR:
GARCÍA GÓMEZ MICHELLE
ARTEAGA PEREDA FRIDA GABRIELA
OLIVARES FERNANDEZ MAITE





Introducción

Agua

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-2021,
AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES
PERMISIBLES DE LA CALIDAD DEL AGUA

Tabla 1. Tipos de agua y su definición

Tipo de agua	Definición
Agua potable	Apta para consumo humano.
Agua residual	Agua cuya calidad fue modificada por actividades humanas.
Agua residual tratada	Agua residual sometida a procesos de tratamiento para mejorar su calidad.
Agua pluvial	Agua proveniente de la precipitación atmosférica.



Tipos de agua evaluados

- Agua potable (PUMAGUA: Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua | Bebederos cercanos al edificio A de la Facultad de Química, UNAM)
- Agua purificada (Planta purificadora de agua del Instituto Tecnológico de Milpa Alta)
- Agua pluvial

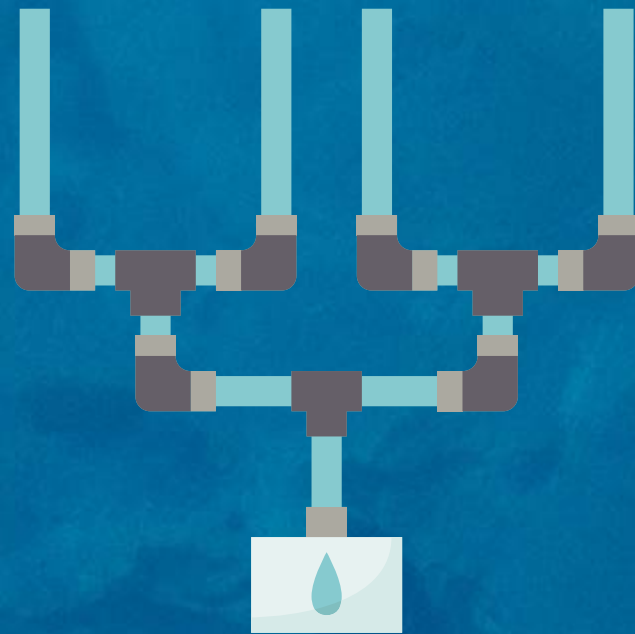




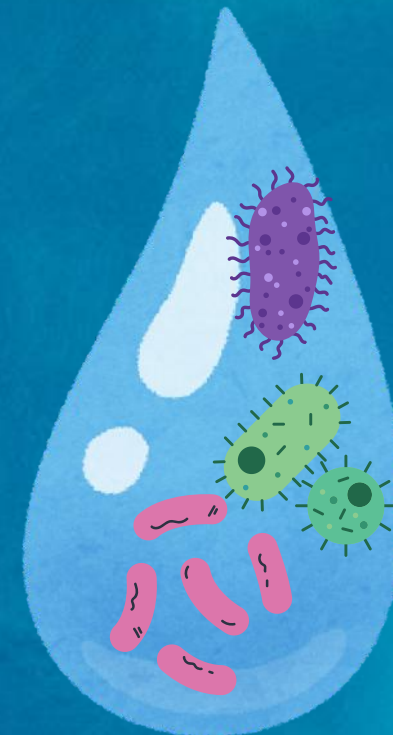
¿Por qué evaluar la calidad del agua?

- Evaluar la calidad del agua es necesario para proteger la salud humana, cuidar el medio ambiente y asegurar el uso correcto del recurso

Definir filtros y sistemas
Proteger tuberías



Prevenir infecciones



Protección de la salud
de ríos y lagos





Parámetros fisicoquímicos de calidad

Tabla 2. Normatividad a la que corresponden los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	¿Qué indica?	Norma
pH	Acidez o alcalinidad	NMX-AA-008-SCFI-2016
Conductividad	Concentración de especies iónicas	NMX-AA-093-SCFI-2018
SDT	Cantidad estimada de sólidos disueltos	Estimados a partir de conductividad
Temperatura	Influye en reacciones y propiedades del agua	NOM-127-SSA1-2021



Equipo multiparamétrico

El Medidor HI9812-51 de Hanna Instruments es un equipo portátil y económico diseñado para medir pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (TDS) y temperatura; utiliza la sonda multiparámetro **HI 1285-5**, la cual integra sensores de **pH, conductividad (EC), sólidos totales disueltos (TDS) y temperatura** en un solo cuerpo de polipropileno relleno con gel. Se conecta mediante un conector DIN e incluye un amplificador interno que reduce el ruido eléctrico de bombas o motores.





Principio de funcionamiento por parámetro



- **Medición de pH:** Utiliza una membrana de vidrio que genera un potencial eléctrico dependiente de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El circuito amplificador interno procesa esta señal de alta impedancia para evitar interferencias.
- **Medición de EC / TDS (Conductividad y Sólidos Disueltos):** Emplea un sensor amperométrico con dos clavijas de acero inoxidable. Al aplicar un voltaje alterno, la corriente que pasa entre las clavijas varía de forma proporcional a la cantidad de sales presentes.
- **Medición de Temperatura:** Un termistor integrado capta los cambios térmicos de la muestra, permitiendo que el medidor aplique una compensación automática fija (del 2 %/°C) sobre las lecturas de CE y TDS.

PUMAGUA (Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua de la UNAM)



La fuente de abastecimiento son tres pozos de extracción que se encuentran dentro de Ciudad Universitaria, y en los cuales se realiza la desinfección con hipoclorito de sodio a través de un sistema automático de desinfección antes de ser enviada al sistema de almacenamiento y distribución.

EXTRACCIÓN Y DESINFECCIÓN

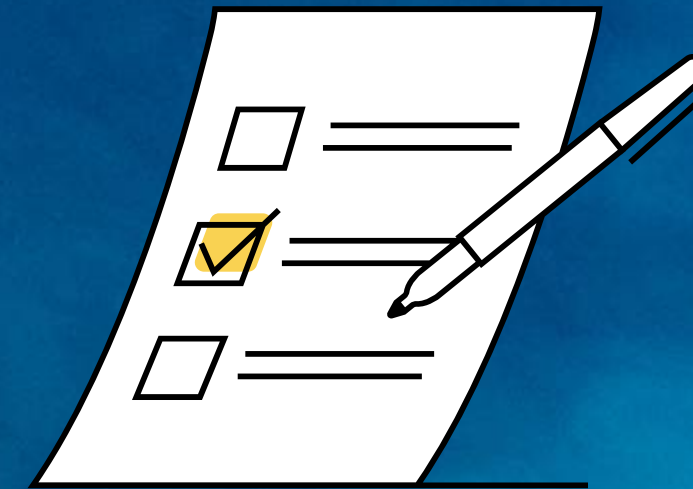
- **Pozo Química:** Extrae aproximadamente el 10% del total del agua que abastece a la universidad.
- **Inyección de cloro:** El agua extraída recibe un tratamiento automatizado con hipoclorito de sodio.
- **Control de niveles:** Se mantiene el cloro residual libre dentro de los límites de la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-2021).
- **Almacenamiento:** Tras la cloración, el agua pasa a tanques de regulación para distribuirse a los edificios y bebederos.

MONITOREO Y CONTROL DE CALIDAD

- **Sensores en red:** Se mide de manera continua el cloro libre, la turbiedad, el pH, la temperatura y los sólidos disueltos totales.
- **Análisis de laboratorio:** El equipo de PUMAGUA revisa semanalmente muestras para descartar bacterias como coliformes totales y fecales, además de verificar nitratos y sulfatos.
- **Puntos de consumo:** El agua que llega a los dispensadores y bebederos es vigilada de forma rigurosa para garantizar que sea 100% potable y gratuita para la comunidad.

Objetivos

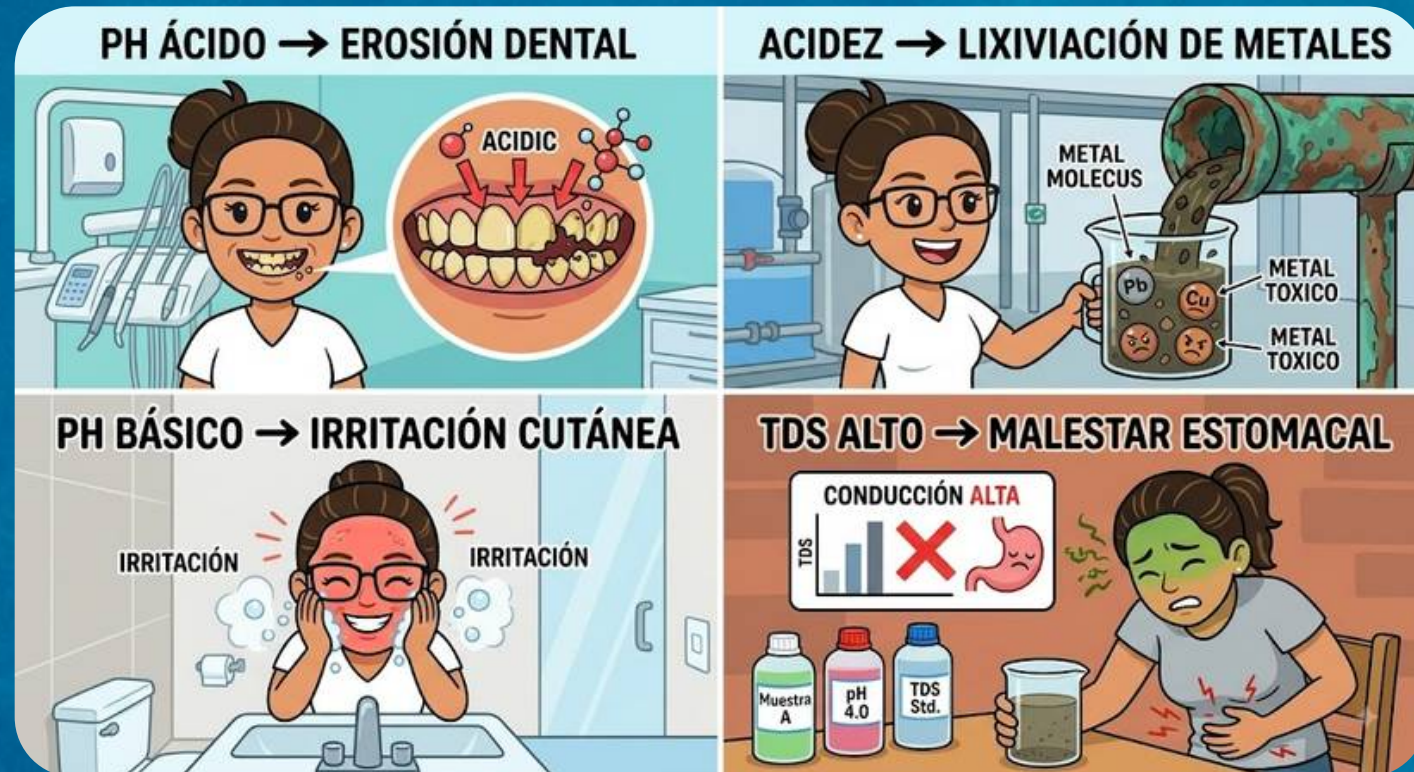
- Investigación formativa en normatividad ambiental con aplicación al análisis de calidad de agua
- Propuesta de diseño experimental para medición de parámetros físico-químicos utilizando equipo Hanna HI9812-51
- Aplicación de metodología analítica a muestras de agua
- Evaluación de resultados obtenidos con base en normatividad aplicable





Planteamiento del problema

El planteamiento de un método rápido y confiable de análisis de agua potable permite identificar problemas en el proceso de purificación y distribución, para prevenir problemas de salud en consumidores



[Imagen generada por IA]



[Imagen generada por IA]



Metodología

FLUJOGRAMA RESUMIDO DEL PROCESO DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUA



[Imagen generada por IA]

Muestreo



Figura 1. Muestreo en los dispensadores del PUMAGUA



Figura 3. Contenedores (rotoplaces) del ITMA



Figura 5. Muestreo en la planta purificadora de agua del ITMA



Figura 2. Medición de los parámetros de los dispensadores del PUMAGUA



Figura 4. Muestreo de los rotoplaces (contenedores) del ITMA



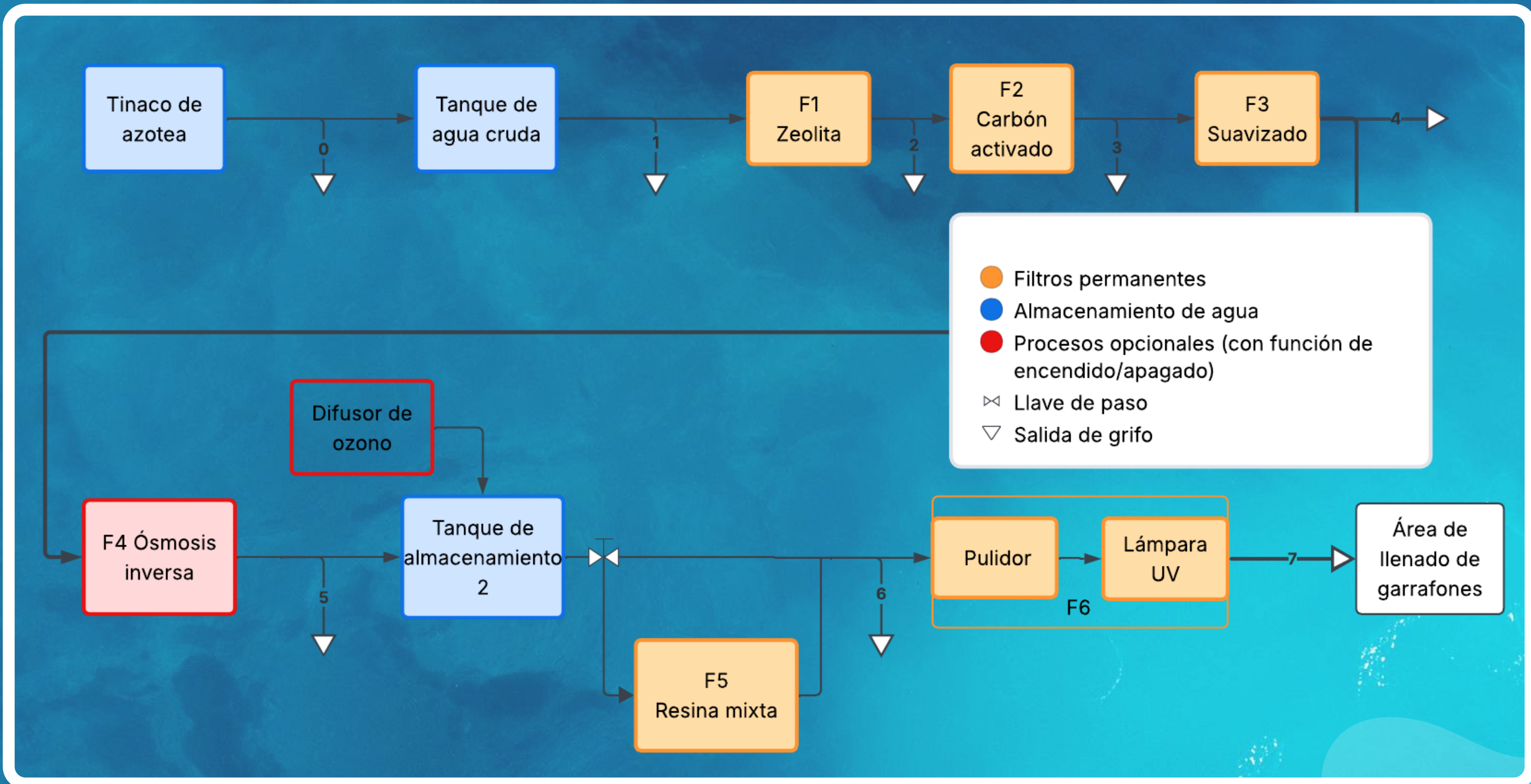
Figura 6. Medición de los parámetros fisicoquímicos de la purificadora de agua del ITMA

Metodología

Tabla 3. Información de los equipos y materiales utilizados

Material / Equipo	Información	Grado de reactivos
Medidor multiparamétrico	Hanna HI9812-51	No aplica
Solución buffer de referencia pH 4.0 ± 0.01 rosa	Marca Meyer Lote: G0923767	Grado Estándar de Calibración
Solución buffer de referencia pH 7.0 ± 0.01 amarillo	Marca Meyer Lote: G01240	Grado Estándar de Calibración
Solución buffer de referencia pH 10.0 ± 0.02 azul	Marca Meyer Lote: G0123010	Grado Estándar de Calibración
Solución de calibración TDS	TDS=1382 ppm Marca HANNA Instruments Lote: 0260	Trazable a material de referencia certificado por el NIST
Solución de calibración EC	EC=1413 µS/cm Marca HANNA Instruments Lote: 8572	Trazable a material de referencia certificado por el NIST

Diagrama: Planta purificadora de agua ITNM-Milpa Alta





Resultados

Evaluación de precisión y exactitud de los parámetros analizados (pH, conductividad y SDT) utilizando las soluciones estándar

Tabla 4. Evaluación de precisión como % desviación estándar relativa (DER) y exactitud como % de recuperación

	pH			Conductividad (µS/cm)	SDT (ppm)
Valor verdadero	4	7	10	1413	1382
$\bar{x}$	4.07	7	9.83	1363.33	1380
%DER	1.42	0	0.59	4.72	0
%Recuperación	101.41	100	98.24	96.49	99.86



EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA UTILIZANDO EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO

Tabla 5. Resultados de pH analizado en la planta purificadora del ITMA comparados con lo que establece la normatividad

Toma de agua	Muestra	pH	Promedio	¿Cumple con la Norma?
Resina mixta	Control	8.2	8.2	Si
Cisterna de azotea	P-0-Cruda-1	7.7	7.9	Si
	P-0-Cruda-2	7.9		
	P-0-Cruda-3	8		
Tanque de almacenamiento	P-1-Cruda-1	7.8	7.8	Si
Filtro de zeolita	P-2-Zeo-1	8.2	8.2	Si
Filtro de carbón activado	P-3-CA-1	8.6	8.6	No
Filtro suavizador	P-4-Suav-1	8.3	8.2	Si
	P-4-Suav-2	8.2		
	P-4-Suav-3	8.2		
Ósmosis reversa	P-5-Osmo-1	7.7	7.6	Si
	P-5-Osmo-2	7.6		
	P-5-Osmo-3	7.6		
Ozono	P-6-O3-1	8.2	8.2	Si
Toma de garrafones	P-7-Final-1	5.7	5.4	No
	P-7-Final-2	5.3		
	P-7-Final-3	5.2		
Intervalo (NOM-127-SSA1-2021)		6.5 - 8.5		

Resultados



Tabla 6. Resultados de pH analizado en grifo y dispensador para consumo del PUMAGUA comparados con la normatividad

Toma de agua	Muestra	pH	Promedio	¿Cumple con la Norma?
Grifo del laboratorio 3A	1-Grifo-L3A	7.5	7.5	Si
	2-Grifo-L3A	7.5		
	3-Grifo-L3A	7.5		
Dispensadores y bebederos de PUMAGUA en el edificio A (Numerados según proximidad al vestíbulo)	1-Dis-1	7.4	7.4	Si
	1-Beb-1	7.5	7.5	Si
	2-Dis-1	7.6	7.6	Si
	2-Beb-1	7.6	7.6	Si
	3-Dis-1	7.6	7.6	Si
Intervalo (NOM-127-SSA1-2021)		6.5 - 8.5		



Tabla 7. Resultados de conductividad analizado en la planta purificadora del ITMA comparados con lo que establece la normatividad

Toma de agua	Muestra	Conductividad (µS/cm)	Promedio (µS/cm)	¿Cumple con la Norma?
Resina mixta	Control	10	10	Si
Cisterna de azotea	P-0-Cruda-1	230	120	Si
	P-0-Cruda-2	230		
	P-0-Cruda-3	230		
Tanque de almacenamiento	P-1-Cruda-1	230	110	Si
Filtro de zeolita	P-2-Zeo-1	230	120	Si
Filtro de carbón activado	P-3-CA-1	330	170	Si
Filtro suavizador	P-4-Suav-1	260	130	Si
	P-4-Suav-2	260		
	P-4-Suav-3	250		
Ósmosis reversa	P-5-Osmo-1	50	10	Si
	P-5-Osmo-2	20		
	P-5-Osmo-3	20		
Ozono	P-6-O3-1	20	10	Si
Toma de garrafrones	P-7-Final-1	20	10	Si
	P-7-Final-2	20		
	P-7-Final-3	20		
Límite Máximo Permisible (S.I. 99/2023)		2500 µS/cm		

Tabla 8. Resultados de conductividad analizado en grifo y dispensador para consumo del PUMAGUA comparados con la normatividad

Toma de agua	Muestra	Conductividad (µS/cm)	Promedio	¿Cumple con la Norma?
Grifo del laboratorio 3A	1-Grifo-L3A	470	470	Si
	2-Grifo-L3A	470		
	3-Grifo-L3A	480		
Dispensadores y bebederos de PUMAGUA en el edificio A (Numerados según proximidad al vestíbulo)	1-Dis-1	480	480	Si
	1-Beb-1	480	480	Si
	2-Dis-1	480	480	Si
	2-Beb-1	490	490	Si
	3-Dis-1	480	480	Si
Límite Máximo Permisible (S.I. No. 99/2023)		2500 µS/cm		

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA UTILIZANDO EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO



Tabla 9. Resultados de sólidos totales disueltos analizados en la planta purificadora del ITMA comparados con lo que establece la normatividad

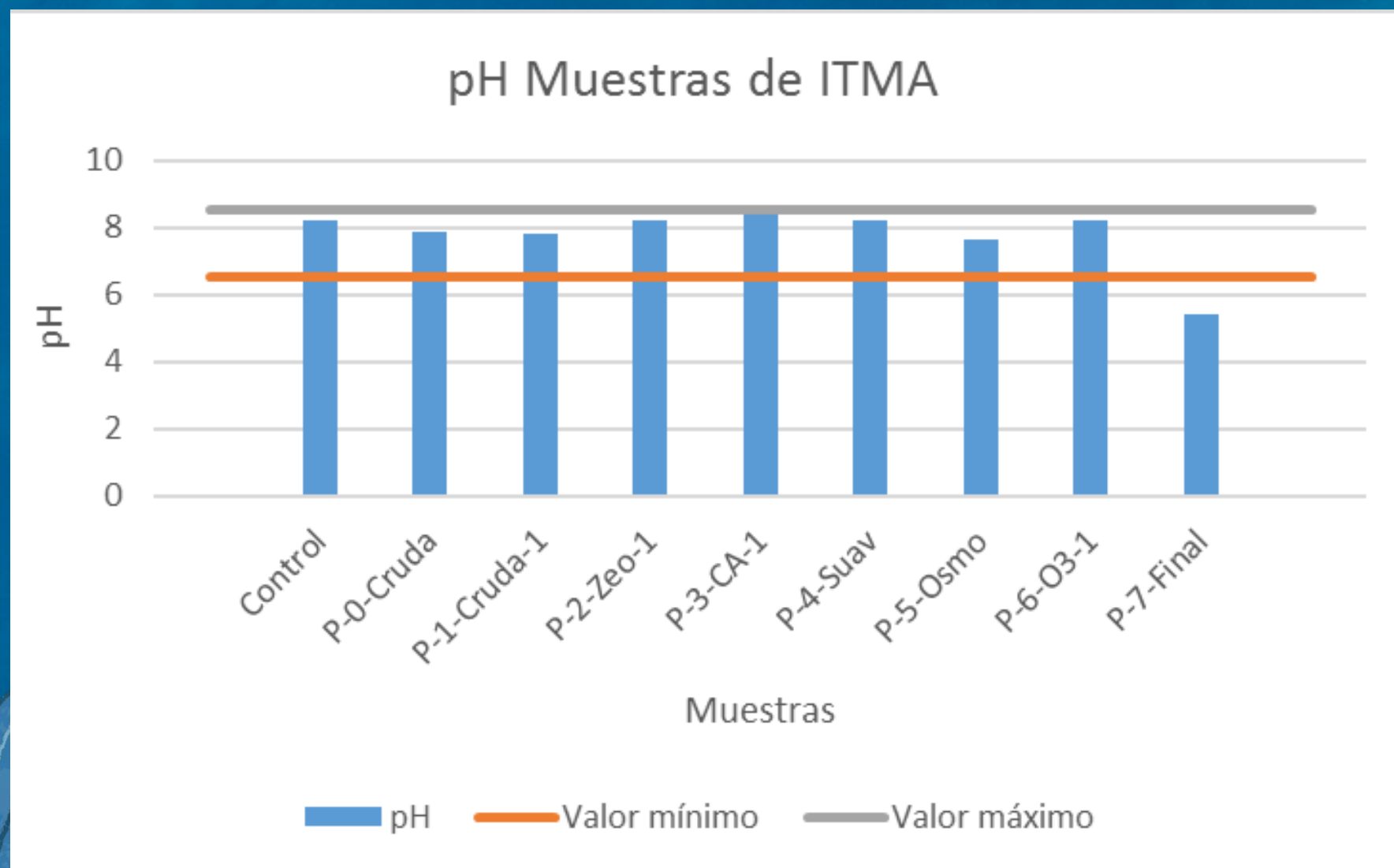
Toma de agua	Muestra	Sólidos totales disueltos (ppm)	Promedio (ppm)	¿Cumple con la Norma?
Resina mixta	Control	10	10	Si
Cisterna de azotea	P-0-Cruda-1	110	120	Si
	P-0-Cruda-2	120		
	P-0-Cruda-3	120		
Tanque de almacenamiento	P-1-Cruda-1	110	110	Si
Filtro de zeolita	P-2-Zeo-1	120	120	Si
Filtro de carbón activado	P-3-CA-1	170	170	Si
Filtro suavizador	P-4-Suav-1	130	130	Si
	P-4-Suav-2	130		
	P-4-Suav-3	130		
Ósmosis reversa	P-5-Osmo-1	20	10	Si
	P-5-Osmo-2	10		
	P-5-Osmo-3	10		
Ozono	P-6-O3-1	10	10	Si
Toma de garrafones	P-7-Final-1	10	10	Si
	P-7-Final-2	10		
	P-7-Final-3	10		
Límite Máximo Permissible (NOM-127-SSA1-2021)		1000 ppm		

Tabla 10. Resultados de sólidos totales disueltos analizados en grifo y dispensador para consumo del PUMAGUA comparados con la normatividad

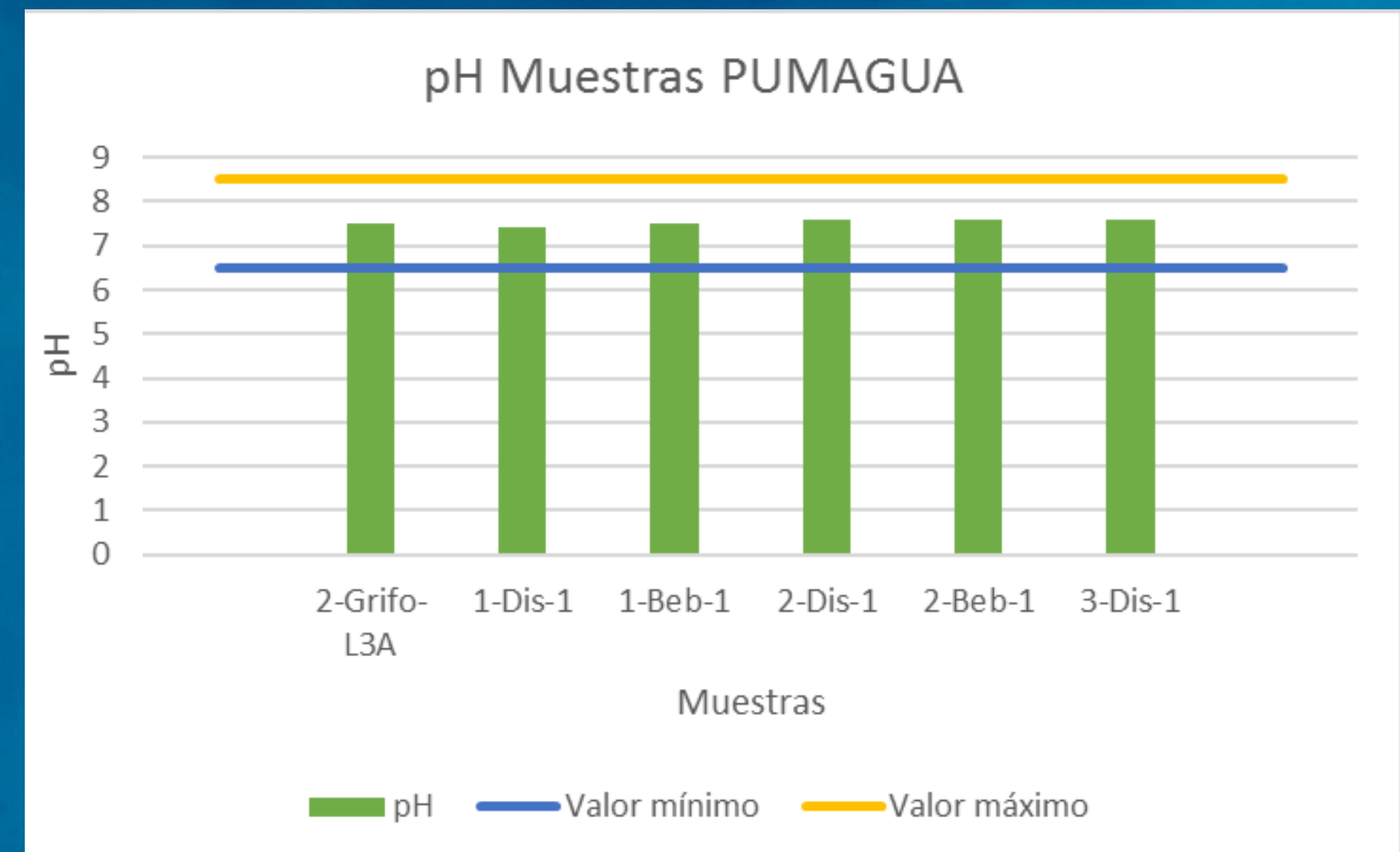
Toma de agua	Muestra	Sólidos totales disueltos (ppm)	Promedio (ppm)	¿Cumple con la Norma?
Grifo del laboratorio 3A	1-Grifo-L3A	240	240	Si
	2-Grifo-L3A	240		
	3-Grifo-L3A	240		
Dispensadores y bebederos de PUMAGUA en el edificio A (Numerados según proximidad al vestíbulo)	1-Dis-1	240	240	Si
	1-Beb-1	240	240	Si
	2-Dis-1	240	240	Si
	2-Beb-1	250	250	Si
	3-Dis-1	240	240	Si
Límite Máximo Permisible (NOM-127-SSA1-2021)		1000 ppm		

Resultados

Gráfica 1. Resultados de pH analizado en la planta purificadora (ITMA)

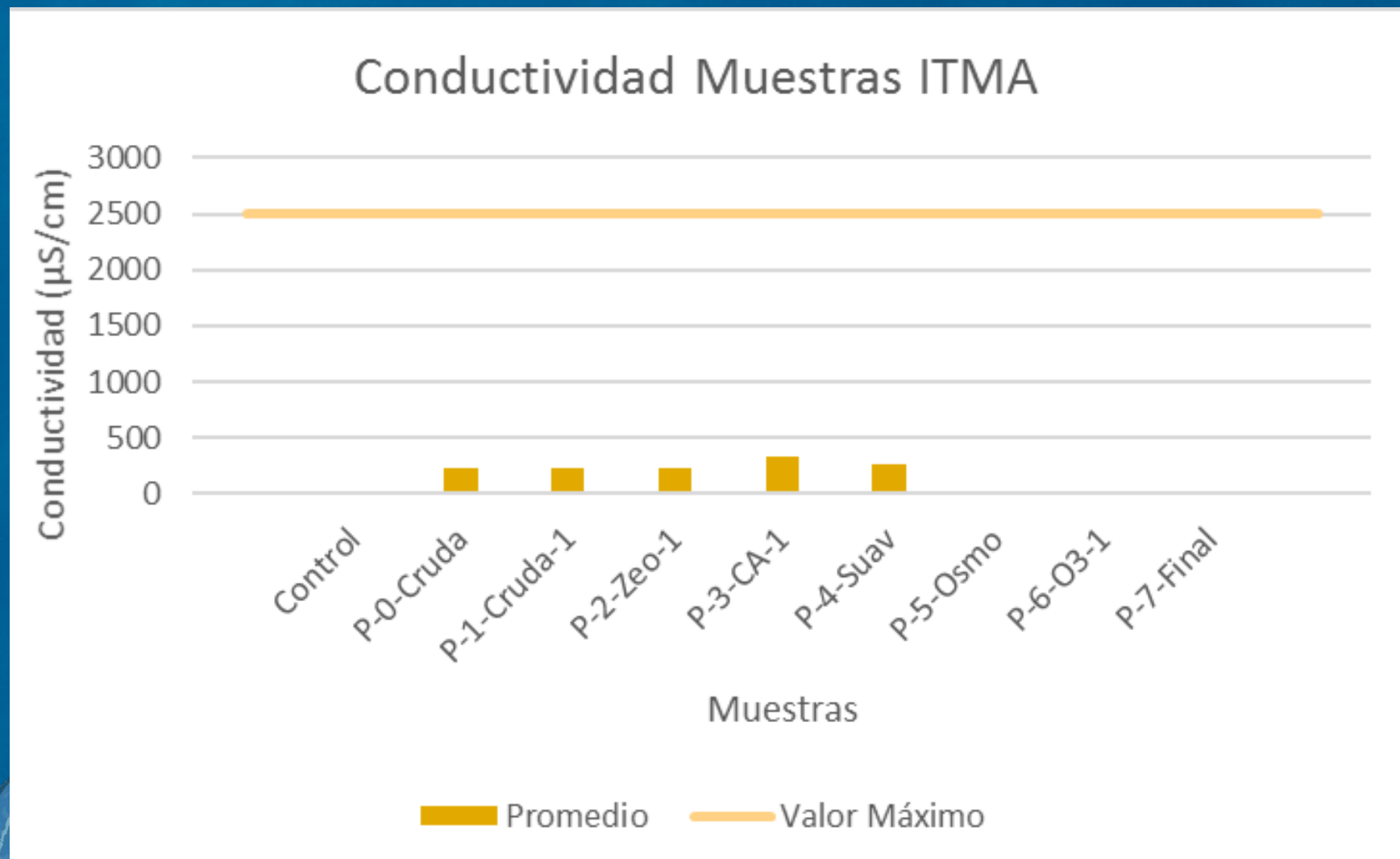


Gráfica 2. Resultados de pH analizado en grifo y dispensador para consumo del PUMAGUA

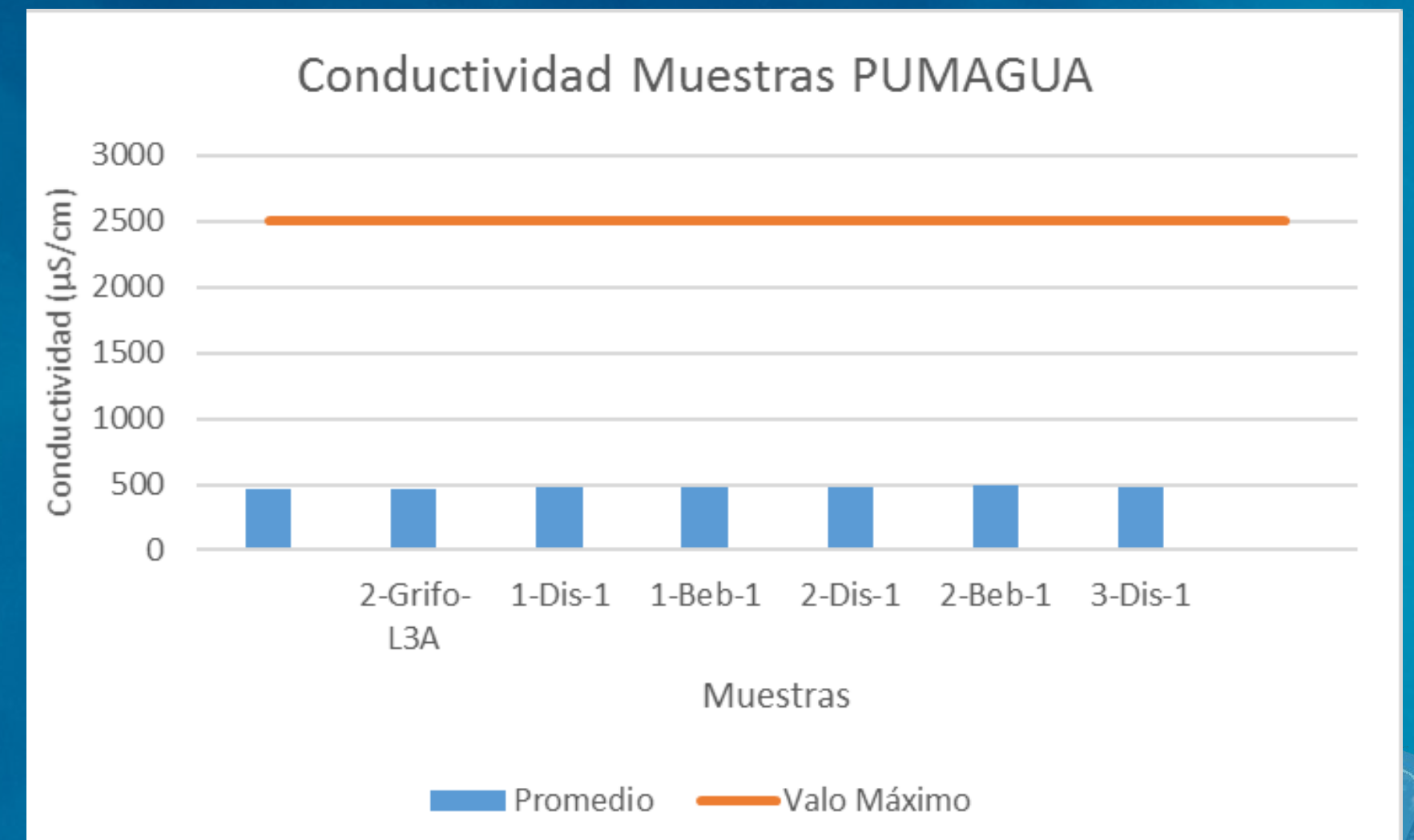


Resultados

Gráfica 3. Resultados de conductividad analizado en la planta purificadora (ITMA)

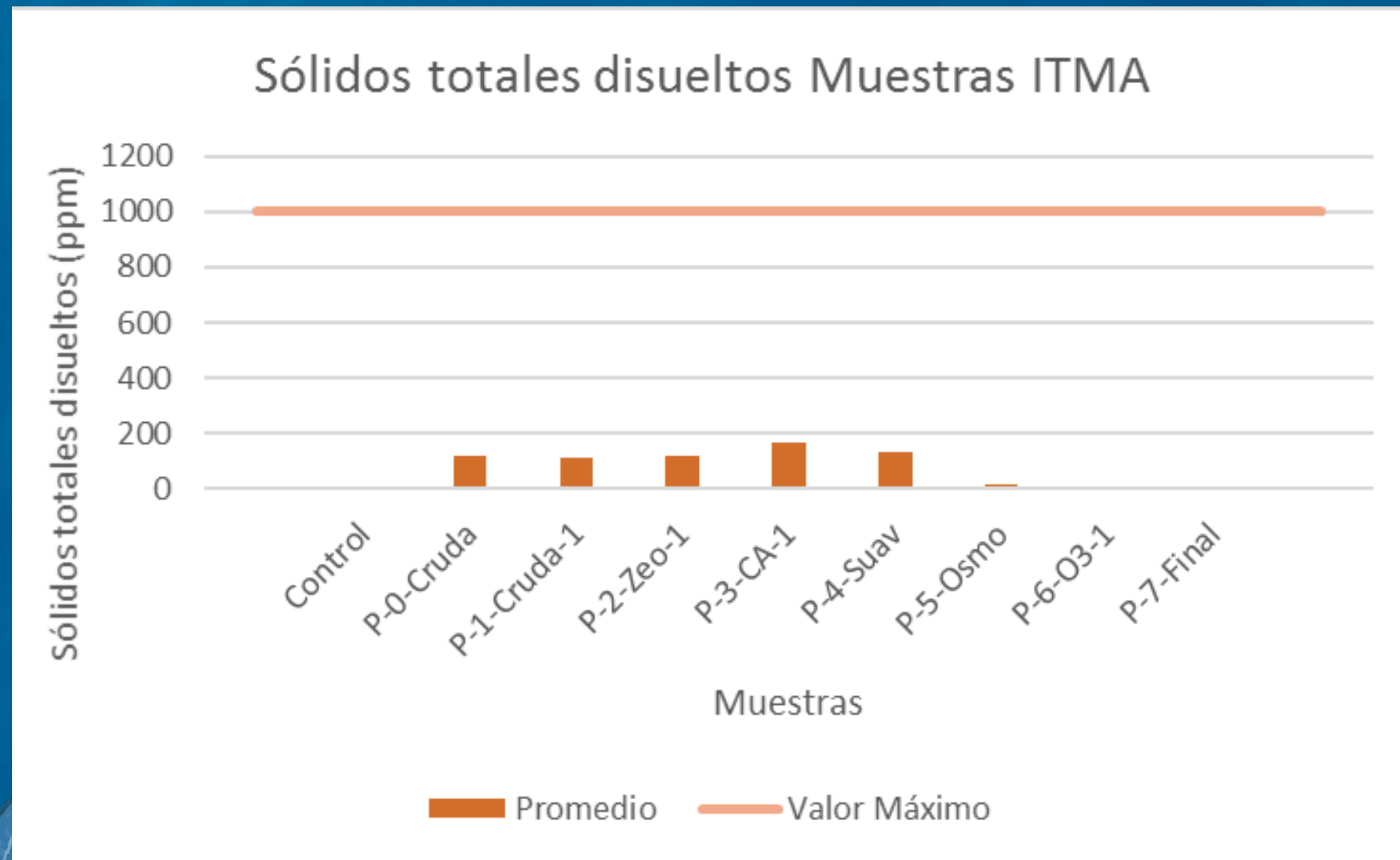


Gráfica 4. Resultados de conductividad analizado en grifo y dispensador para consumo del PUMAGUA

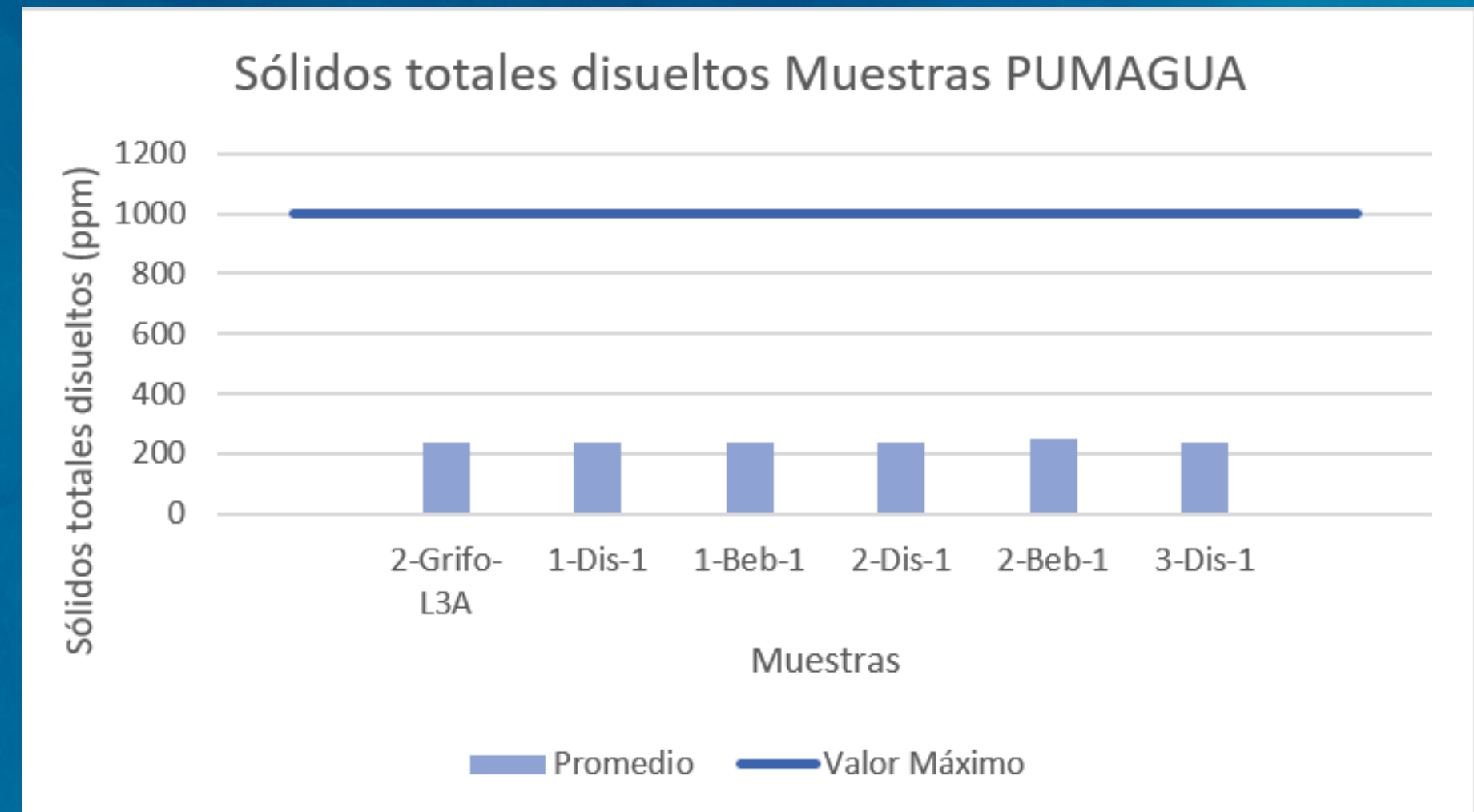


Resultados

Gráfica 5. Resultados de sólidos totales disueltos analizados en la planta purificadora (ITMA)



Gráfica 6. Resultados de sólidos totales disueltos analizados en grifo y dispensador para consumo del PUMAGUA



Discusión

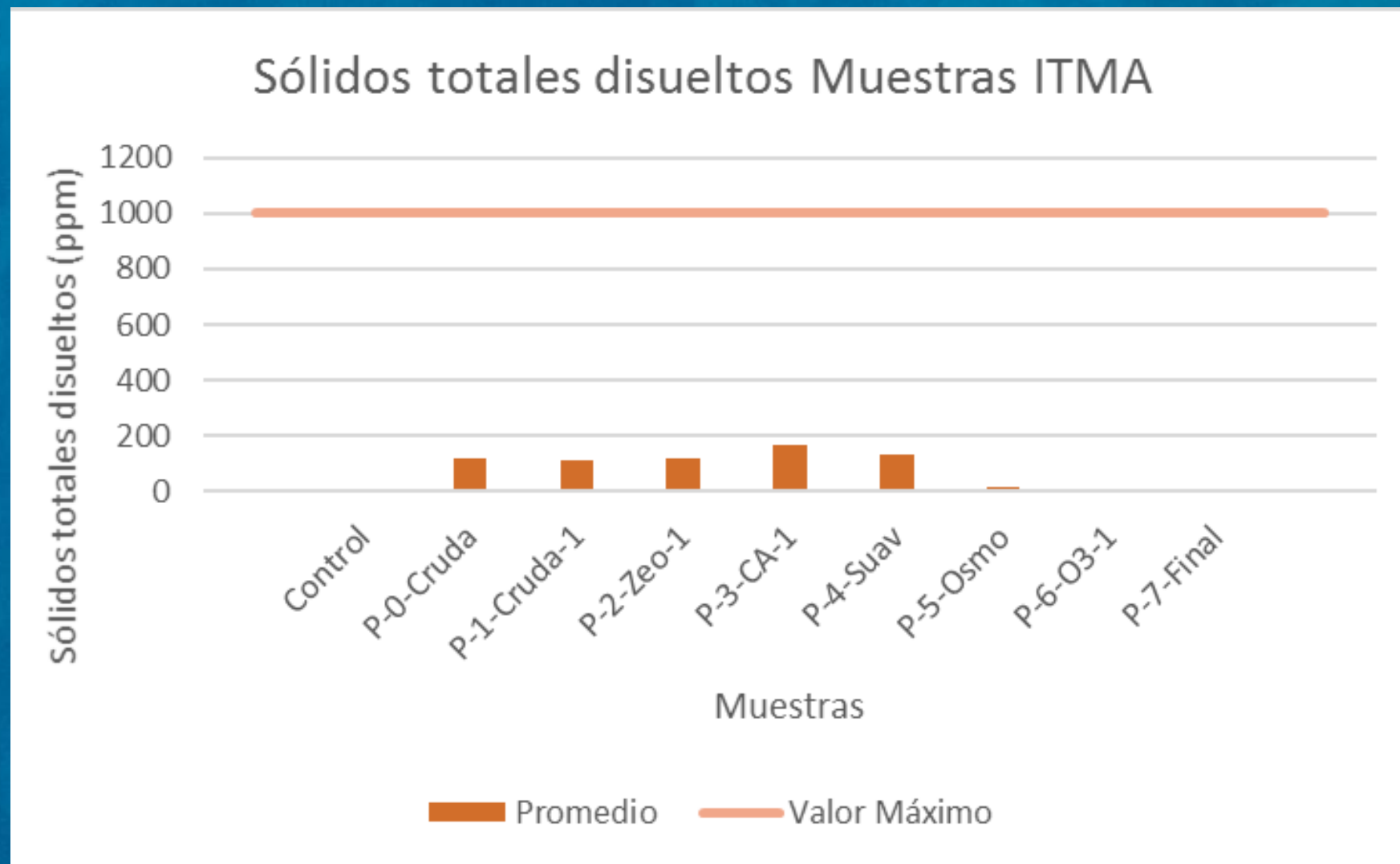
Tabla 11. Precisión como %DER para muestras de planta purificadora de agua ITNM Milpa Alta

	%DER (%)		
	pH	Conductividad	TDS
Cisterna	1.9	0	4.9
Suavizador	0.7	2.2	0
Ósmosis	0.8	57.7	43.3
Consumo	4.9	0	0

Sólidos disueltos totales



Gráfica 2. Resultados de SDT analizado en la planta purificadora (ITNM)



SDT < 200 ppm

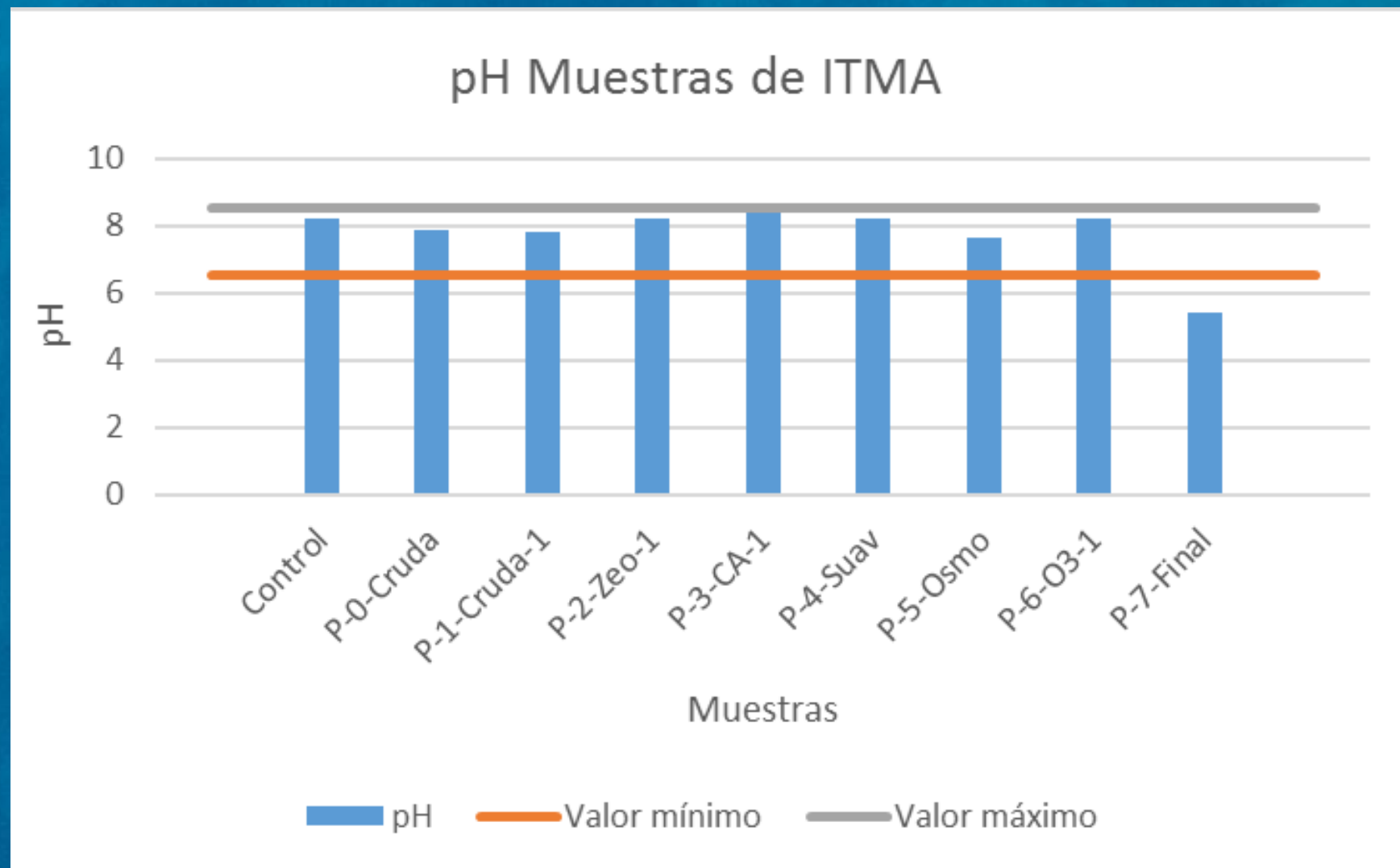
No hay un límite inferior para la cantidad de sólidos totales disueltos en agua potable.

La evolución de la concentración de SDT a lo largo del proceso resalta la eliminación de impurezas del agua en el proceso de ósmosis reversa.

Agua de salida: Planta purificadora ITNM Milpa Alta



Gráfica 1. Resultados de pH analizado en la planta purificadora (ITNM)



pH < 6.5

- No cumple con la normatividad mexicana
- No necesariamente indica daño a la salud
- Dado que las tuberías en la planta son de plástico, no provoca contaminación por metales.

Causa: Disolución de CO_2 del ambiente debido al bajo valor de sólidos totales disueltos (10 ppm)

Posible solución: Introducir un proceso de mineralización después del pulidor y lámpara UV

Conclusiones

- ✓ El multiparamétrico permitió obtener mediciones rápidas y confiables.
- ✓ La ósmosis inversa fue la etapa que produjo la mayor disminución de conductividad y SDT.
- ✓ El sistema PUMAGUA presentó valores homogéneos en todos los puntos de muestreo dentro de los valores normativos.
- ✓ El agua pluvial presentó baja mineralización y un pH ácido.
- ✓ En el agua tratada del ITMA, los sólidos totales disueltos (SDT) disminuyeron considerablemente; sin embargo, el pH final se encontró por debajo del intervalo establecido en la NOM-127-SSA1-2021 para agua de consumo humano, posiblemente por el bajo contenido de minerales, sin embargo; no se considera un daño a la salud ya que sus tuberías son de PVC.



Figura 7. Fotografía tomada en la planta purificadora de agua del ITMA

Agradecimientos Académicos

Directora M.en D. Fátima Yaraset Mendoza Montero. Directora del Instituto Tecnológico Nacional de Milpa Alta QFB. Joaquina Villegas Castillo

Ing. Jibrahan Homir Mondragón Santana

Alumnas de la carrera de Ing. Bioquímica:

Nayeli Iglesias Sánchez y Berenice Hernández Mejía

Dra. Daniela Franco Bodek

M. en C. Silvia Citlalli Gama González

Dra. Anaí Chiken Soriano

Dra. Minerva Monroy Barreto

Alumnos de la carrera de Q: Rodríguez Pacheco Oscar Uriel y Acoltzi Amador Diego

Alumno de la carrera de QFB: Sustayta Azuara Manuel Arturo

Alumno de la carrera de QA: Vera Jiménez Marcus Ian

Alumno de la carrera de IQ: Tovar Facundo Elvis Alejandro

C. Osvaldo Ríos

Referencias



1. Hanna Instruments Chile. 2024. Sonda multiparamétrica de PH / CE / TDS - HI1285-51 | Hanna Instruments Chile.
<https://hannachile.com/producto/sonda-multiparametrica-de-ph-ce-tds-hi1285-51>
2. Secretaría de Economía. 2016. Análisis de agua – Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba (NMX-AA-008-SCFI-2016). Diario Oficial de la Federación.
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>
3. Secretaría de Economía. 2000. NMX-AA-093-SCFI-2013. ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA – MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-093-1984). Dirección General de Normas.
4. Secretaría de Economía. 2016. Análisis de agua – Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba (NMX-AA-034-SCFI-2015). Diario Oficial de la Federación.
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>
5. Secretaría de Salud. 2022. NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación. TF 20260306 Proyecto DGAPA-UNAM PAPIME PE201324.
6. Lipps, W. C., Braun-Howland, E. B., & Baxter, T. E. 2023. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA Press.
7. Guía para clientes. Muestreo de agua para análisis microbiológico. (s.f.). PRIMUS LABORATORIOS DE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.
8. Secretaría de Economía. NMX-AA-003/2-SCFI. Análisis de agua – Muestreo – Parte 2: Guía para las técnicas de muestreo.
<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy0909/proy-nmx-aa-003-2-scfi008.pdf>
9. Secretaría de Economía. NMX-AA-003/3-SCFI. Análisis de agua – Muestreo – Parte 3: Guía para la preservación y manejo de las muestras. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/AA/proy0909/proy-nmx-aa-003-3-scfi008.pdf>





Referencias

- 9.
10. Est. I.Q. Elvis Alejandro Tovar Facundo. 2026. Guía Residuos EATF 20260306 Proyecto DGAPA-UNAM PAPIME PE201324.
https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/20154/mod_resource/content/2/Gu%C3%ADa%20Residuos%20EATF%2020260306.pdf
11. El presente procedimiento corresponde al acondicionamiento interno establecido por el Grupo de Investigación Formativa en Química Analítica Ambiental (GIFQAA) para minimizar el riesgo de contaminación de los recipientes de muestreo. Este procedimiento complementa las recomendaciones generales para el manejo y acondicionamiento de envases descritas en la NMX-AA-003/2-SCFI y la NMX-AA-003/3-SCFI, relativas a las técnicas de muestreo y a la preservación y manejo de muestras de agua.
12. Secretaría de Economía. (2013). *NMX-AA-007-SCFI-2013. Análisis de agua—Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas—Método de prueba (cancela la NMX-AA-007-SCFI-2000)*. Dirección General de Normas.
13. European Union (Drinking Water) Regulations 2023. S.I. 99/2023. Statutory Office, Dublin.
14. Gemini. 2026. Flujograma resumido del proceso de muestreo y análisis de agua [Generador de imágenes de IA]. Google.
<https://gemini.google.com>
15. Islam, R. 2017. Assessment of pH and total dissolved substances (TDS) in the commercially available bottled drinking water. *IOSR Journal of Nursing and Health Science (IOSR-JNHS), 6*(5), 35–40
16. Google. 2026. Secuencia en formato de caricatura sobre los efectos en la salud del agua potable fuera de parámetros de pH, conductividad y sólidos totales disueltos [Imagen generada por inteligencia artificial]. Gemini.



**¡Gracias por
su atención!**