

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA MAGNÉTICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL RÍO CAPLINA EN LA CIUDAD DE TACNA, 2024

**EVALUATION OF THE MAGNETIC TECHNIQUE FOR THE
WATER TREATMENT OF THE CAPLINA RIVER IN THE CITY OF
TACNA, 2024**

Sebastián André Fernández Dávila Figueroa

Investigador Independiente - Perú

Ericka Lucero García Laura

Investigador Independiente - Perú

Jaily Nelly Quispe Cárdenas

Investigador Independiente - Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15066

Evaluación de la técnica magnética para el tratamiento de agua del río Caplina en la ciudad de Tacna, 2024

Sebastián André Fernández Dávila Figueroa¹

sfernandezd@unjbg.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0000-7662-925X>

Investigador Independiente

Perú

Ericka Lucero García Laura

egarcial@unjbg.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-9806-6993>

Investigador Independiente

Perú

Jaily Nelly Quispe Cárdenas

jnquispe@unjbg.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-4271-7582>

Investigador Independiente

Perú

RESUMEN

En la actualidad, la necesidad de algún tratamiento eficiente para el agua es inaplazable, la técnica magnética aparece como una alternativa no invasiva y prometedora, capaz de alterar los parámetros fisicoquímicos del agua mejorando su calidad. En este artículo se evalúa la eficiencia de la técnica magnética para el tratamiento de agua del río Caplina en la ciudad de Tacna al comparar los parámetros fisicoquímicos pre y post tratamiento magnético. Se trabajó con 3 tratamientos: polo positivo del imán expuesto (+), polo negativo del imán expuesto (-) y polo positivo con polo negativo del imán expuestos (\pm) de los cuales se contó con 3 repeticiones (R1, R2 Y R3) c/u., obteniendo un total de 9 unidades experimentales. Después de 15 días de inducción magnética los parámetros fisicoquímicos del agua presentaron diferencias significativas respecto al control, la mayor variabilidad se evidenció en la turbidez al empezar con un valor de 42,79 NTU y acabando con un valor de 1,72 NTU lo que representa un porcentaje de remoción del 95,98 % respecto al polo negativo del imán (-), los parámetros de conductividad, sólidos totales disueltos, pH, salinidad, resistividad también presentaron diferencias significativas.

Palabras clave: agua de río, técnica magnética, parámetros fisicoquímicos, calidad, polos del imán

¹ Autor Principal

Correspondencia: sfernandezd@unjbg.edu.pe

Evaluation of the magnetic technique for the water treatment of the Caplina river in the city of Tacna, 2024

ABSTRACT

Nowadays, the need for an efficient treatment for water is urgent, the magnetic technique appears as a non-invasive and promising alternative, capable of altering the physicochemical parameters of water, improving its quality. In this article, the efficiency of the magnetic technique for the treatment of water from the Caplina River in the city of Tacna is evaluated by comparing the physicochemical parameters before and after magnetic treatment. Three treatments were used: positive pole of the exposed magnet (+), negative pole of the exposed magnet (-) and positive pole with negative pole of the exposed magnet (\pm) of which there were 3 repetitions (R1, R2 and R3) each, obtaining a total of 9 experimental units. After 15 days of magnetic induction, the physicochemical parameters of the water showed significant differences with respect to the control, the greatest variability was evident in the turbidity starting with a value of 42.79 NTU and ending with a value of 1.72 NTU, which represents a removal percentage of 95.98% with respect to the negative pole of the magnet (-), the parameters of conductivity, total dissolved solids, pH, salinity, resistivity also showed significant differences.

Keywords: river water, magnetic technique, physicochemical parameters, quality, magnet poles

Artículo recibido 02 octubre 2024

Aceptado para publicación: 10 noviembre 2024

INTRODUCCIÓN

Se reconoce al agua como un recurso finito, renovable, vital e indispensable para el desarrollo de la vida, todo ser vivo requiere de agua para poder subsistir. Sin embargo, en la ciudad de Tacna la presencia de contaminantes e impurezas en los cuerpos de agua es tan alarmante, que incluso se evidencian en el agua potable la cuál pasa por un tratamiento previo. Se realizó un estudio en Tacna donde el 48 % de distritos evaluados presentan un alto riesgo para la salud humana por consumir agua contaminada con arsénico, plomo y boro (Diresa, 2016). Además, Diresa en el 2016, realizó un estudio fisicoquímico del agua donde concluyó que, de las 52 localidades evaluadas, el 65 % presentaron niveles de arsénico por encima de los LMP (0.001 mg/L), obteniendo un promedio de arsénico en el agua potable en la ciudad de Tacna de 0.056 mg/L. Cabe resaltar que los metales pesados tienen la propiedad de bioacumulación y las personas que los ingieren ya sea mediante alimentos que fueron regados con agua contaminada o la misma ingesta de agua potable contaminada padecerán las consecuencias como el riesgo de desarrollar neoplasias malignas tales como cáncer de piel, pulmón, renal, vejiga u otros. (OMS, 2017). Entonces los tacneños expuestos dependen del sistema de salud, demandando medicamentos y tecnologías, a su vez, saturando el sistema de salud.

Según un informe de la OMS y el Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia (2017) 2,1 billones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura y 340.000 niños menores de cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas, el agua no potable y el saneamiento deficiente son las causas principales de la mortalidad infantil. La diarrea infantil asociada a la escasez de agua, saneamientos inadecuados, aguas contaminadas con agentes patógenos y falta de higiene- causa la muerte a 1,5 millones de niños al año (OMS, 2017).

Los tacneños que usan este recurso hídrico en sus actividades cotidianas, sólo se sentencian a un futuro no formidable, al tener agua de mala calidad y contaminada se contaminan a ellos mismos e incluso a los alimentos, considerando lo anterior, se requiere de alguna técnica capaz de remover los contaminantes presentes en los cuerpos de agua en la ciudad de Tacna, la técnica magnética aparece como alternativa para brindarnos agua de calidad para beber ya que estabiliza las moléculas del agua y de esa forma aprovechamos los máximos beneficios de tomar agua magnetizada, de calidad y a su vez, reduciendo el riesgo a enfermedades. Las técnicas electromagnéticas previenen los efectos de la dureza

del agua sin agregar o quitar compuestos y minimizando los depósitos de incrustaciones, además las técnicas magnéticas son una buena alternativa a los tratamientos clásicos de reducción de la dureza del agua porque estas técnicas no invasivas son económicas y no necesitan que se agreguen productos químicos al agua. (Rajczakowski, 2018) estudió el efecto del magnetismo en la adsorción de metales pesados como el cobre, el níquel o el cadmio y demostraron que la aplicación de campos magnéticos aumenta la eficiencia del proceso de adsorción, y es posible acelerar e incrementar la adsorción de metales pesados.

Por lo tanto, en esta investigación se plantea evaluar la eficiencia de la técnica magnética para el tratamiento de agua del río Caplina en la ciudad de Tacna. El primer objetivo fue: Determinar si el estado actual de los parámetros fisicoquímicos del río Caplina cumplen con los ECA aprobados por el Minam. El segundo objetivo fue: Comparar los parámetros fisicoquímicos del río Caplina pre y post tratamiento magnético en la ciudad de Tacna, haciendo uso de imanes de neodimio de alto gaussaje (G) con el fin de inducir un campo magnético al agua que teóricamente hará que mejoren sus propiedades y su calidad.

METODOLOGÍA

La presente investigación tiene un diseño experimental porque se manipularon variables de estudio y porque se pretende evaluar la técnica magnética aplicada a las unidades experimentales que previamente han sido seleccionadas, con un enfoque cuantitativo debido a que se recopilaban datos que posteriormente serán analizados. Se trabajaron con 3 tratamientos: Polo positivo expuesto (+), polo negativo expuesto (-) y polo positivo con polo negativo expuestos (\pm) y se aplicaron 3 repeticiones (R1, R2 Y R3) para cada tratamiento, obteniendo un total de 9 unidades experimentales, tal y como se muestra en la tabla 01.

Tabla 1. Diseño experimental para el desarrollo de la investigación

		Imanes de neodimio
		R1
	Polo positivo (+)	R2
		R3
		R1
Polo expuesto	Polo negativo (-)	R2

	R3
	R1
Polo positivo con polo negativo (\pm)	R2
	R3

Población y Muestra

La población en esta investigación es el agua del río Caplina que fluye por la ciudad de Tacna y la muestra fue extraída del río Caplina, en la intersección de la avenida Los Ángeles con la calle Granada. Se extrajo una muestra de 2,5 L la cual se dispuso en 9 envases de vidrio (material que no impide el flujo magnético)

Métodos estadísticos utilizados

Para el procesamiento de la información se hará uso del software estadístico IBM SPSS Statistics 20, con el cual se realizó la tabulación de los datos obtenidos, además de la obtención de las tablas y figuras de información. Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) para los tratamientos usando la prueba estadística ANOVA para examinar si las diferencias entre las medias de los grupos son significativas, si se determina que existen diferencias significativas entre las medias, se aplica la prueba post hoc Tukey.

Variables

En la tabla 02, se detalla las variables dependientes e independientes de la investigación

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable dependiente		
Y1: Porcentaje de remoción de los parámetros del agua del río Caplina en Tacna	Parámetros fisicoquímicos	pH - Oxígeno Disuelto - Conductividad eléctrica - TDS - Turbidez - Salinidad - Resistividad
Variable independiente		

		Polo positivo (+)
	Posición del polo	
X1: Tratamiento magnético	expuesto	Polo negativo (-)
		Polo positivo con polo negativo (\pm)

Criterios de inclusión

- ✓ Que aborden sobre el campo magnético en el agua.
- ✓ Que aborden sobre el campo electromagnético en el agua.
- ✓ Que se estudie el efecto en el agua tras una inducción magnética.
- ✓ Que se trate de investigaciones originales o de revisión.
- ✓ Que se reporte resultados completos y relevantes
- ✓ Que el idioma sea español o inglés

Criterios de exclusión

- ✓ Artículos de más de 7 años de antigüedad
- ✓ Los que no tienen relación con el magnetismo
- ✓ Los que no hablan del magnetismo aplicado al agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del estado actual de los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, salinidad y resistividad) del río Caplina para ver si cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental

Luego de extraer la muestra de agua del río Caplina, se procedió a distribuir 55 mL a 9 envases de vidrio (material que no impide el flujo magnético) como se observa en la figura 01, los cuales fueron sometidos a campos magnéticos mediante el uso de imanes de neodimio de alto gausaje por un periodo de 15 días. Transcurrido el tiempo, se procedió a determinar los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de aguas de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional Jorge Basadre de Grohmann. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 03 y se procederá a compararlos con los estándares de calidad ambiental aprobados en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, del cual se contrastó con la categoría 1: Poblacional y recreacional; subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable como se observa en la tabla 04.

Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del río Caplina

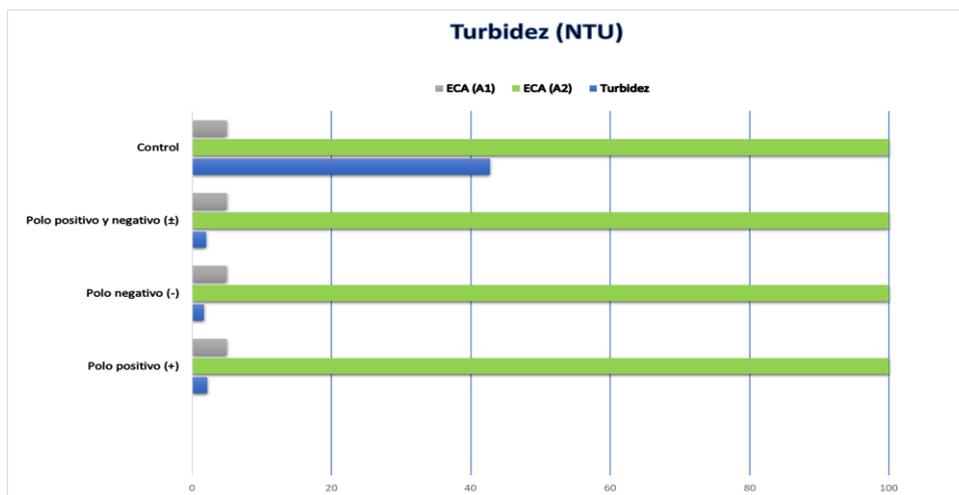
Polo Expuesto	Parámetros Fisicoquímicos						
	Sólidos Totales Disueltos	Oxígeno Disuelto	pH	Conductividad	Salinidad	Resistividad	Turbidez
Polo positivo (+)	822	8.73	4.62	1627	0.81	626	2.18
Polo positivo (+)	823	8.72	4.63	1632	0.8	625	2.22
Polo positivo (+)	824	8.73	4.66	1625	0.79	626	2.16
Polo negativo (-)	807	8.74	4.71	1596	0.8	628	1.72
Polo negativo (-)	808	8.75	4.72	1599	0.78	629	1.66
Polo negativo (-)	809	8.74	4.77	1593	0.77	630	1.77
Polo positivo y negativo (±)	709	8.68	4.97	1420	0.7	713	2.01
Polo positivo y negativo (±)	710	8.66	4.99	1422	0.71	712	2.02
Polo positivo y negativo (±)	711	8.67	5.01	1419	0.69	715	2.03
Control	667	8.71	4.21	1331	0.66	754	42.79

En la tabla 03 se observa que los parámetros fisicoquímicos: turbidez, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto cumplen con los estándares de calidad ambiental respecto al control, logrando una mejora con el tratamiento electromagnético; sin embargo; el pH fue el único parámetro que no cumple con el ECA respecto al control y respecto al tratamiento electromagnético. Cabe destacar que los valores de pH mejoraron al inducir el agua a campos electromagnéticos, pero no fue suficiente para cumplir con los valores establecidos por el MINAM.

Turbidez

Como se observa en la figura 01, la concentración de turbiedad tuvo una disminución notable respecto al control (42,79 NTU), siendo el polo negativo (-) el más eficiente en la remoción con un valor de 1,72 NTU. Ningún resultado es mayor a los establecidos por los estándares de calidad ambiental, a excepción del control respecto a la subcategoría A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (5 NTU); sin embargo; el control si cumple los estándares respecto a la subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional (100 NTU). El polo positivo (+) obtuvo una concentración de 2,18 NTU y el polo positivo con negativo obtuvo una concentración de 2,01 NTU (±), siendo valores por debajo de los establecidos por el MINAM.

Figura 1. Concentración de turbidez contrastado con el ECA



Conductividad eléctrica (CE)

Como se observa en la figura 02, la conductividad eléctrica tuvo un considerable aumento respecto al control (1331 $\mu\text{S}/\text{cm}$), siendo el polo positivo (+) el que obtuvo el mayor valor (1627 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y el positivo con negativo (\pm) el que tuvo el mínimo aumento (1420 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El control y polo positivo con negativo (\pm) fueron los únicos resultados que cumplen con los estándares de calidad ambiental tanto para la subcategoría A1 (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) como para la subcategoría A2 (1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), el polo negativo (-) cumple solamente con la subcategoría A2 y el polo positivo (+) supera ligeramente los valores establecidos por el MINAM.

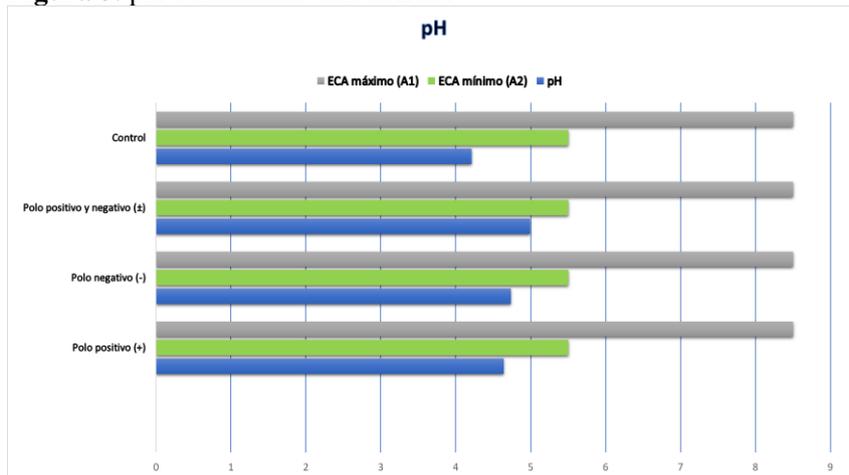
Figura 2. Conductividad eléctrica contrastado con el ECA



pH

Como se observa en la figura 03, el pH tuvo un ligero aumento respecto al control (4,21); pero no fue suficiente para cumplir con estándares de calidad ambiental. Ningún resultado cumple con lo establecido por el MINAM, excediendo el polo positivo (4,64), el polo negativo (4,73), el polo positivo con negativo (4,99) e incluso el control, siendo el valor de 5,5 el mínimo establecido por el MINAM.

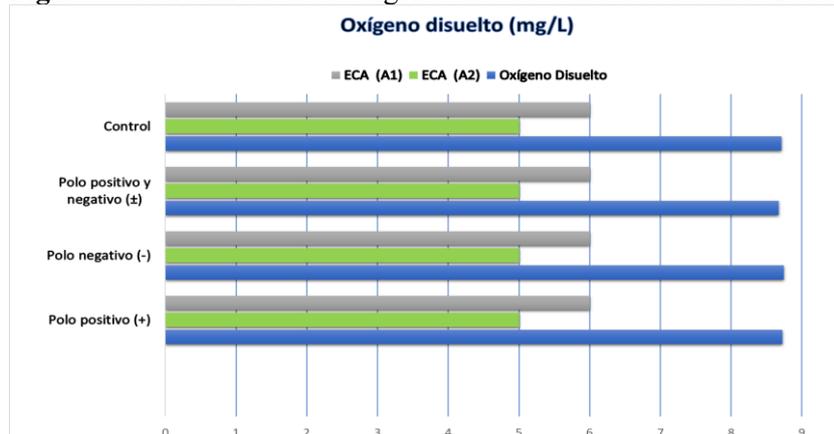
Figura 3. pH contrastado con el ECA



Oxígeno disuelto

Como se aprecia en la figura 04, todos los resultados obtenidos cumplen con los estándares de calidad ambiental, tanto para la subcategoría A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, como para la subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, debido a que los valores obtenidos son mayores a 5 mg/L (A2) y mayores a 6 mg/L (A1). El control obtuvo una concentración de 8,71 mg/L, el polo positivo (+) alcanzó una concentración de 8,73 mg/L, el polo negativo (-) promedió un valor de 8,74 mg/L y el polo positivo con negativo (±) obtuvo una concentración de 8,68 mg/L, cumpliendo así con lo establecido por el MINAM.

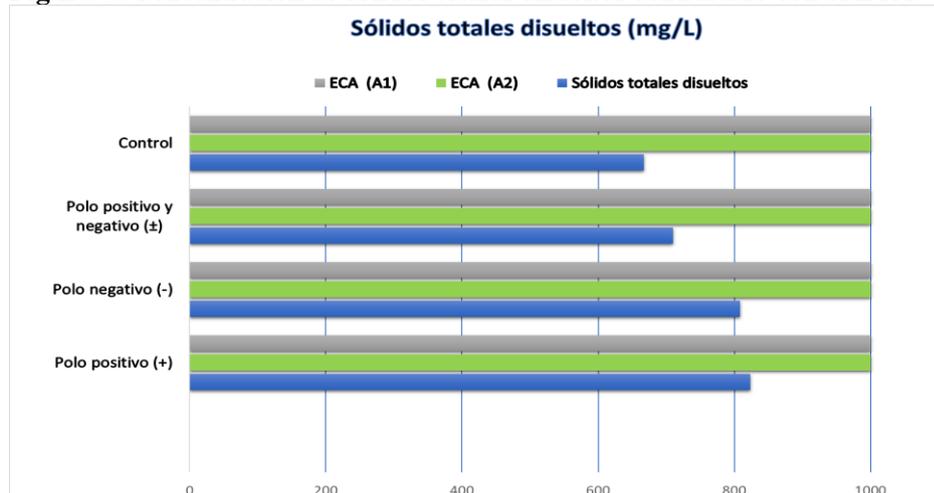
Figura 4. Concentración de oxígeno disuelto contrastado con el ECA



Sólidos totales disueltos

Como se observa en la figura 05, los resultados obtenidos tuvieron un incremento considerable en la concentración de sólidos totales disueltos respecto al control (667 mg/L). Todos los resultados obtenidos cumplen con los estándares de calidad ambiental, tanto para la subcategoría A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, como para la subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, debido a que los valores obtenidos son menores a 1000 mg/L. El polo positivo (+) alcanzó una concentración de 822 mg/L, el polo negativo (-) una concentración de 807 mg/L y el positivo con negativo una concentración de 709 mg/L.

Figura 5. Concentración de sólidos totales disueltos contrastado con el ECA



Comparación de los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, salinidad y resistividad) del río Caplina pre y post tratamiento magnético.

Turbidez

En la tabla 04, se observa el análisis de varianza para el parámetro de Turbidez donde el p-valor obtenido es menor a $\alpha = 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) que nos dice que sí hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán sobre la turbidez.

Tabla 4. Análisis de varianza para la turbidez

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3749,247	3	1249,749	1229261,298	,000
Intra-grupos	,008	8	,001		
Total	3749,255	11			

Debido a que hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey correspondiente.

La tabla 05 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la turbidez, donde el control con un valor de 42,79 NTU presenta diferencias significativas respecto al polo negativo, al polo positivo y al polo positivo con negativo; cuyos valores medios son 1,72 NTU, 2,19 NTU y 2,01 NTU; respectivamente.

La posición del polo expuesto del imán que mayor variabilidad tuvo respecto al control fue la del polo negativo, alcanzando un porcentaje de remoción del 95,98 %, siguiente del polo negativo con positivo que alcanzó una remoción del 95,30 % y finalmente, el polo positivo que alcanzó un porcentaje de remoción del 94,88 %.

La reducción de la turbidez que tuvo el agua coincide con los resultados de los estudios realizados donde se investigó el uso de campos magnéticos en combinación con tecnologías de tratamiento de agua para ayudar a la remoción de partículas suspendidas y a la reducción de la turbidez, alcanzando una remoción máxima del 88,52 % (Suárez, 2015).

Tabla 5. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para las posiciones de los polos expuestos del imán en el parámetro turbidez

Polo	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Negativo	3	1,7167			
Ambos	3		2,0100		
Positivo	3			2,1867	
Control	3				42,7900
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Conductividad eléctrica (CE)

En la tabla 06, se observa el análisis de varianza para la conductividad eléctrica donde el p-valor obtenido es menor a $\alpha = 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) que nos dice que sí hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán sobre la conductividad eléctrica.

Tabla 6. Análisis de varianza para la conductividad eléctrica

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	181067,000	3	60355,667	9921,479	,000
Intra-grupos	48,667	8	6,083		
Total	181115,667	11			

Debido a que hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey correspondiente.

La tabla 07 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey en la conductividad eléctrica, donde el control con un valor de 1331 $\mu\text{S}/\text{cm}$ presenta diferencias significativas respecto al polo negativo, al polo positivo y al polo positivo con negativo; cuyos valores medios son 1596 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1628 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1420,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$; respectivamente.

La posición del polo expuesto del imán que mayor variabilidad tuvo respecto al control fue la del polo positivo, alcanzando un aumento del 22,31 %, siguiente del polo negativo que alcanzó una variabilidad del 19,91 % y finalmente, el polo positivo con negativo que alcanzó un incremento del 6,71 %.

Este incremento de la conductividad eléctrica se debe a que el agua es un compuesto polar, lo que significa que tiene una carga positiva en un extremo y una carga negativa en el otro, permitiendo que el agua sea un conductor de electricidad, ya que los iones cargados pueden moverse libremente a través

del líquido (Romero, 2014). Aunque el agua en sí es un conductor relativamente pobre de electricidad, esto cambia en presencia de iones disueltos, sales o impurezas que puedan actuar como portadores de carga. Entonces cuando se expone el agua a campos electromagnéticos, estos iones pueden moverse aún más rápido, lo que aumenta la conductividad del agua (Stones, 2017).

Tabla 7. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para las posiciones de los polos expuestos del imán en el parámetro de conductividad eléctrica

Polo	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Control	3	1331,0000			
Ambos	3		1420,3333		
Negativo	3			1596,0000	
Positivo	3				1628,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

pH

En la tabla 08, se observa el análisis de varianza en el pH donde el p-valor obtenido es menor a $\alpha = 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) que nos dice que sí hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán sobre el pH del agua.

Tabla 8. Análisis de varianza para el pH

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,948	3	,316	677,351	,000
Intra-grupos	,004	8	,000		
Total	,952	11			

Debido a que hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey correspondiente.

La tabla 09 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para el pH, donde el control con un valor de 4,21 presenta diferencias significativas respecto al polo negativo, al polo positivo y al polo positivo con negativo; cuyos valores medios son 4,73, 4,64 y 4,99; respectivamente.

La posición del polo expuesto del imán que mayor variabilidad tuvo respecto al control fue la del polo positivo con negativo, alcanzando un aumento del 18,53 %, siguiente del polo negativo que alcanzó una variabilidad del 12,35 % y finalmente, el polo positivo que alcanzó un incremento del 10,21 %.

El incremento presenciado en el pH se demuestra también en la investigación de Mghaiouini et al. (2020) titulada “Effect of electromagnetic fields on the ph of water under kinetic conditions” donde se

investigaron las diferencias de pH antes y después de la exposición a la magnetización del agua. Se encontró que EMF aumenta el pH del agua, inicialmente se tenía un pH de 5,68 pero, luego del tratamiento electromagnético se elevó el pH a un valor de 6,98. El campo electromagnético genera la ionización de las moléculas de agua. En consecuencia, notamos un aumento en los iones de hidróxido (OH-) y la absorción de iones (H+).

Tabla 9. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para las posiciones de los polos expuestos del imán en el parámetro de pH

Polo	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Control	3	4,2100			
Positivo	3		4,6367		
Negativo	3			4,7333	
Ambos	3				4,9900
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Oxígeno disuelto (OD)

En la tabla 10, se observa el análisis de varianza en el oxígeno disuelto donde el p-valor obtenido es menor a $\alpha = 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) que nos dice que sí hay diferencias significativas entre al menos dos posiciones de los polos expuestos del imán sobre el oxígeno disuelto en el agua.

Tabla 10. Análisis de varianza para el oxígeno disuelto

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,009	3	,003	71,133	,000
Intra-grupos	,000	8	,000		
Total	,009	11			

Debido a que hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey correspondiente

La tabla 11 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para el oxígeno disuelto, donde el control con un valor de 8,710 mg/L presenta diferencias significativas respecto al polo negativo y al polo positivo con negativo; cuyos valores medios son 8,743 mg/L y 8,670 mg/L; respectivamente. Sin embargo, el polo positivo no presenta diferencias significativas respecto al control debido a que su grado de significancia es de 0,053 superando el $\alpha = 0,05$.

La posición del polo expuesto del imán que mayor variabilidad tuvo respecto al control fue la del polo positivo con negativo, alcanzando una remoción del 0,46 %, siguiente del polo negativo que alcanzó un aumento del 0,39 % y finalmente, el polo positivo que alcanzó un incremento del 0,20 %.

Quiala (2010) reporta que el tratamiento magnético en el agua altera de 8 a 10 % la conductividad eléctrica, al igual que la tensión superficial. Lo cual ocasiona el aumento de la solubilidad de las sales y la actividad del oxígeno disuelto.

Tabla 11. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para las posiciones de los polos expuestos del imán para el oxígeno disuelto

Polo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Ambos	3	8,6700		
Control	3		8,7100	
Positivo	3		8,7267	8,7267
Negativo	3			8,7433
Sig.		1,000	,053	,053

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Sólidos totales disueltos (TDS)

En la tabla 12, se observa el análisis de varianza de los sólidos totales disueltos donde el p-valor obtenido es menor a $\alpha = 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) que nos dice que sí hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán sobre los sólidos totales disueltos en el agua.

Tabla 12. Análisis de varianza para los sólidos totales disueltos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	51498,000	3	17166,000	22888,000	,000
Intra-grupos	6,000	8	,750		
Total	51504,000	11			

La tabla 13 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los sólidos totales disueltos donde el control con un valor de 667 mg/L presenta diferencias significativas respecto al polo negativo, al polo positivo y al polo positivo con negativo; cuyos valores medios son 808 mg/L, 823 mg/L y 710 mg/L; respectivamente.

La posición del polo expuesto del imán que mayor variabilidad tuvo respecto al control fue la del polo positivo, alcanzando un aumento del 23,39 %, siguiente del polo negativo que alcanzó una variabilidad del 21,14 % y finalmente, el polo positivo con el negativo que alcanzó un incremento del 6,45 %.

Hudson (2016) menciona que los campos magnéticos influyen en la estructura y en las propiedades del agua, incluida la solubilidad de ciertos compuestos, además sugiere que ciertos campos magnéticos podrían tener un efecto indirecto en la solubilidad de ciertos sólidos presentes en el agua.

Tabla 13. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para las posiciones de los polos expuestos del imán para los sólidos totales disueltos

Polo	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Control	3	667,0000			
Ambos	3		710,0000		
Negativo	3			808,0000	
Positivo	3				823,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Salinidad

En la tabla 14, se observa el análisis de varianza de la salinidad donde el p-valor obtenido es menor a $\alpha = 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) que nos dice que sí hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán sobre la salinidad del agua.

Tabla 14. Análisis de varianza para la salinidad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,040	3	,013	123,769	,000
Intra-grupos	,001	8	,000		
Total	,041	11			

La tabla 15 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la salinidad donde el control con un valor de 0,66 % presenta diferencias significativas respecto al polo negativo, al polo positivo y al polo positivo con negativo; cuyos valores medios son 0,78 %, 0,80 % y 0,70 %; respectivamente.

La posición del polo expuesto del imán que mayor variabilidad tuvo respecto al control fue la del polo positivo, alcanzando un aumento del 21,21 %, siguiente del polo negativo que alcanzó una variabilidad del 18,64 % y finalmente, el polo positivo con el negativo que alcanzó un incremento del 0,06 %.

Tabla 15. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para las posiciones de los polos expuestos del imán para la salinidad

Polo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Control	3	,6600		
Ambos	3		,7000	
Negativo	3			,7833
Positivo	3			,8000
Sig.		1,000	1,000	,278

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Resistividad

En la tabla 16, se observa el análisis de varianza de la resistividad donde el p-valor obtenido es menor a $\alpha = 0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) que nos dice que sí hay diferencias significativas entre las posiciones de los polos expuestos del imán sobre la resistividad del agua.

Tabla 16. Análisis de varianza para la resistividad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	36417,667	3	12139,222	13242,788	,000
Intra-grupos	7,333	8	,917		
Total	36425,000	11			

La tabla 17 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la resistividad donde el control con un valor de 754,00 $\Omega \cdot \text{cm}$ presenta diferencias significativas respecto al polo negativo, al polo positivo y al polo positivo con negativo; cuyos valores medios son 629,00 $\Omega \cdot \text{cm}$, 625,67 $\Omega \cdot \text{cm}$ y 713,33 $\Omega \cdot \text{cm}$; respectivamente.

La posición del polo expuesto del imán que mayor variabilidad tuvo respecto al control fue la del polo positivo, alcanzando un aumento del 17,11 %, siguiente del polo negativo que alcanzó una variabilidad del 16,58 % y finalmente, el polo positivo con el negativo que alcanzó un incremento del 5,39 %.

Tabla 17. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para las posiciones de los polos expuestos del imán para la resistividad

Polo	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Positivo	3	625,6667			
Negativo	3		629,0000		
Ambos	3			713,3333	
Control	3				754,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos (turbidez, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto) del río Caplina cumplen con los estándares de calidad ambiental respecto al control, logrando una mejora significativa con el tratamiento magnético; sin embargo; el pH fue el único parámetro que no cumple con el ECA respecto al control y respecto al tratamiento magnético. Cabe destacar que los valores de los parámetros mejoraron al inducir el agua a campos magnéticos, incluso del pH pero no fue suficiente para cumplir con los valores establecidos por el MINAM (A1: 6,5 – 8,5 y A2: 5,5 – 9,0) ya que se obtuvo valores promedios de 4.64, 4,73 y 4,99 para los polos positivos, negativos y positivo con negativo; respectivamente.

Los resultados obtenidos luego de inducir el agua del río Caplina a campos magnéticos presentaron diferencias significativas respecto al control, destacando la turbidez que alcanzó un porcentaje de remoción del 95,98 % empezando con un valor inicial de 42,79 NTU y acabando con un valor de 1,72 NTU respecto al polo negativo (-). Los parámetros de conductividad, sólidos totales disueltos, resistividad, salinidad, pH y turbidez variaron luego de exponer el agua a imanes de neodimio de alto gaussaje (G) por 15 días; sin embargo; el oxígeno disuelto no presentó diferencias significativas respecto al polo positivo (+) debido a que su grado de significancia es de 0,053 superando el $\alpha = 0,05$ pero, respecto al polo negativo (-) y al polo negativo con positivo (\pm) si existieron diferencias significativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lenntech, C. Agua Residual y Purificación del Aire <http://www.lenntech.com/español/filtración.html>

Chamy, R. y Pizarro, C. Tratamiento de Agua Potable http://explora.cl/tratamiento_agua_potable.html

Sánchez, X. Departamento de Geología, Ley de Darcy <http://web.usual.es/xavisan/hidro>

Zapata, A. Proceso de Potabilización de Aguas Superficiales.

<http://www.monografias.com/trabajos15/plantas-tratamiento.html>

Córdova, I. (2014). El informe de investigación cuantitativa. Lima, Perú: Editorial San Marcos E.I.R.L.



- Flick, U. (2012). Introducción a la investigación cualitativa. Tercera Edición. Fundación Paidea Galiza. Madrid- España.
- Hernández, R; Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. 6ta Edición. Cap. 15. México: Mcgraw-Hill Interamericana.
- Katayama, Roberto (2014) Introducción a la investigación cualitativa. Lima. Fondo Editorial de la UIGV.
- Martínez, M. (2006) La Investigación Cualitativa (Síntesis Conceptual) Revista IIPSI Facultad De Psicología UNMSM ISSN: 1560 - 909X VOL. 9 - Nº 1 - 2006 PP. 123 – 146.
- Roxana Gómez Zaldívar, Nelson Zaldívar Quintero y Rubén Luis Fonseca Virelles (2020). “Efecto del agua tratada magnéticamente en pollitos de inicio de raza semi rústico”.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2221-24502020000300272
- APHA y AWWA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd.
- Atanacio, J. M. (2010). Perú: Mapa de déficit de agua y saneamiento básico a nivel distrital, 2007. Lima: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2010-04448.
- Calsin Ramirez, K. V. (12 de septiembre de 2016). Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4187>
- Ccama, D. (2017). Repositorio Universidad Nacional del Altiplano - Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5562/Quispe_Ccama_Deybi_Adderly.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Choque, G. (2005). Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1922/Chambi_Choque_Guido.pdf.txt?sequence=4
- D.S. N° 004. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Lima: Ministerio del Ambiente.
- DIGESA, D. g. (s.f.). Dirección general de salud ambiental DIGESA. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- HACH COMPANY. (2013). Manual de análisis de agua. Colorado, EE.UU.

Autoridad Nacional del Agua. (11. Enero del 2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos. [010-2016-ANA]. El peruano

