

Uso de la estadística inferencial para el tratamiento de aguas congénitas con ácidos fúlvicos¹

Use of Inferential Statistics for Treatment of Congenital Waters with Fulvic Acids

Jenny Carolina Dueñas Muñoz¹ <https://orcid.org/0000-0003-2505-9976>

Rodrigo Mora Sanabria² <https://orcid.org/0000-0002-9477-5266>

Fecha de recepción: 14 de septiembre 2022

Fecha de aprobación: 26 de julio 2023

Resumen

El objetivo de esta investigación es presentar la aplicación de la estadística inferencial para los resultados de la remoción de los metales cadmio, arsénico, plomo y mercurio, por medio de la actividad quelante de los ácidos fúlvicos, extraídos de un carbón tipo lignito y aplicados como tratamiento en aguas congénitas. Los datos recolectados pertenecen a las tres formas de extracción ácida, correspondientes a soluciones de 2 % p/v y 0,8 % p/v de ácido fúlvico extraído, liofilizado y aplicado a las aguas congénitas. Asimismo, la data seleccionada corresponde a nivel experimental y se analizan por medio del software estadístico IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Statistics 22. Inicialmente, se realiza la prueba de distribución normal; sin embargo, se presenta información (tipo gráfico Q-Q) que demuestra que existen datos de tipo no paramétricos. Posteriormente, se aplica una prueba de varianza que concluye que sí hay remoción de metales pesados teniendo el resultado de las mediciones de la cantidad inicial y después del tratamiento. Finalmente, haciendo uso de la prueba de comparación por pares de Mann Whitney, se llega a la conclusión de que el ácido fúlvico, después de ser liofilizado, preparado al 2 % p/v y aplicado en aguas congénitas, logra la remoción de cadmio, arsénico, plomo y mercurio.

Palabras clave: *distribución normal, paramétrico, pruebas de significancia, solución, varianza*

Abstract

The objective of this research is to present the application of inferential statistics for the results of the removal of metals: cadmium, arsenic, lead and mercury, through the chelating activity of fulvic acids, extracted from lignite-type coal and applied as treatment in congenital waters. The data collected belong to the three forms extraction fulvic acids, corresponding to solutions of 2% w/v and 0.8% w/v of fulvic acid extracted, lyophilized and applied to congenital waters. Likewise, the selected data corresponds to the experimental level and is analyzed by means of the statistical software IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Statistics 22. Initially, the normal distribution test is performed, however, information is presented (in Q-Q graph type) that demonstrates that there are non-parametric data. Subsequently, a variance test is applied, which concluded that there is removal of heavy metals having the result of the measurements of the initial quantity and after the treatment. Finally, using the Mann Whitney pairwise comparison test, it is concluded that fulvic acid, prepared at 2% w/v and applied in congenital waters, removes the metals cadmium, arsenic, lead and mercury.

¹ Química. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia. MSc. Universidad de Barcelona. Barcelona, España, jcduenasm@itc.edu.co.

² Químico. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia.

Keywords: *aquaculture production, composting, environmental management plan, efficient use of water*

Citar como:

Dueñas, J. y Mora-Sanabria, R. (2023). Uso de estadística inferencial para tratamiento de aguas congénitas con ácidos fúlvicos. *Letras ConCiencia Tecnológica*, (21). <https://doi.org/10.55411/26652544.236>.

Introducción

Los ácidos fúlvicos y húmicos se definen como compuestos y se caracterizan por presentar una capacidad quelante. Cuando se revisan diferentes investigaciones, se encuentran estudios y demostraciones sobre los ácidos húmicos, puesto que tienen mucha importancia debido a las funciones que pueden ejercer en la disponibilidad de nutrientes al actuar como agentes quelantes o acarreadores de cationes, de modo que ayudan a la recuperación de los suelos cuando hay alguna pérdida de concentración de un metal (Vásquez, 2013).

Por otra parte, las sustancias húmicas, en general, forman sales con diferentes metales. La mayoría de investigaciones se centran en metales tipo alcalinos y alcalinotérreos debido a su valor nutricional para las plantas. Este compuesto, que es sintetizado de forma natural, tiene su acción quelante comprobada en la remoción de metales pesados en aguas congénitas, pero no se han desarrollado aplicaciones de análisis estadísticos que permitan hacer una comparación o evaluar la eficacia de la remoción del metal en el agua congénita, al usar como tratamiento los ácidos húmicos; a su vez, tampoco se explica la posibilidad de que los ácidos fúlvicos contengan otras alternativas para tratar este tipo de aguas (Garavito y Berdugo, 2014).

En el caso de los ácidos fúlvicos se forman sales llamadas fulvatos, utilizadas para entender cómo es la interacción del ácido fúlvico-metal; aquí se haya que el complejo formado es un quelato en el que el enlace con el ion metálico ocurre entre

un grupo carboxílico y un grupo OH fenólico de la estructura del ácido fúlvico (Melo, 2006).

Mientras tanto, para la extracción de estos polímeros se usan disoluciones alcalinas en las que se disuelven ácidos húmicos y fúlvicos y que dejan en forma insoluble las húminas. El método de separación más común describe que al agregar hidróxido de sodio se obtienen como sedimento las húminas y como sobrenadante los ácidos fúlvicos y húmicos. Seguido a esto, se utiliza ácido sulfúrico para obtener de forma sólida los ácidos húmicos y como sobrenadante los ácidos fúlvicos, de lo cual resulta una solución ácida (Jiménez y Peñuela, 2013). En este caso, este estudio usa ácido sulfúrico, pero no describe el porqué de la selección de este, teniendo en cuenta que en otra investigación de la misma línea de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales se usó ácido clorhídrico (Sánchez, 2012). Por lo anterior, la presente investigación revisa la necesidad de evaluar la extracción mediante el uso de diferentes ácidos. Una forma de asegurar el éxito de estas extracciones y la separación correcta del ácido fúlvico (que es el objetivo) del ácido húmico, es por medio del uso de mallas de sesenta (60) y ciento veinte (120) micras, sumado a tiempos de extracción de hasta seis (6) horas; lo anterior es lo más recomendable para asegurar una correcta separación de las dos (2) sustancias (Vásquez et al., 2019).

Los quelatos de ácidos fúlvicos son ese tipo de compuestos que se definen como una molécula orgánica que ancla o liga un metal; estos pueden hallarse de forma independiente y su asociación es estable debido a que la carga positiva del catión neutraliza la molécula orgánica (otor-

gándole carga cero). Al mismo tiempo, se busca formar una estructura heterocíclica debido a que los cationes metálicos son ligados en el centro de la molécula; esta molécula orgánica protege al quelato de otras reacciones como lo son la óxido-reducción o la precipitación. De acuerdo con la teoría, todo catión, que es polivalente, puede formar quelatos. Asimismo, la aplicación orgánica tiene muchos usos: no solo la función de formar el quelante, sino también de ser un enmascarante o protector para reacciones (Stanley, 2007, p. 8).

Por su parte, los ácidos fúlvicos se encuentran en mayor proporción en un carbón lignito; este último es un tipo de carbón muy abundante que posee mayor poder calorífico que la turba, un color negro o pardo (de menor rango que el negro) y una estructura leñosa o fibrosa. Además, tiene una elevada humedad y materia volátil y al lignito negro se le denomina también "carbón subbituminoso" (Sánchez, 2012) —una de las empresas que suministra este tipo de carbón es Biotropic Ltda., proveniente de una mina de carbón, situada entre los departamentos de Boyacá y Santander (Colombia)—.

Desde otro punto de vista están las aguas congénitas: son un subproducto de la extracción del petróleo, estas aguas contienen cerca de 104 µg/L de plomo, µg/L de cobre, 150 µg/L de cromo y otros metales como: arsénico, cadmio, cobalto, mercurio, molibdeno y níquel; muchos de ellos no son caracterizados, por lo que es necesario conocer su valor, en especial los que son objeto de esta investigación. Las aguas congénitas son saladas ya que contienen sales disueltas en forma de cloruros como el cloruro de calcio, sodio y algunos bicarbonatos (Martel et al., 2016, p. 463). La cantidad de metales pesados, a pesar de ser bajos, causan enfermedades y daños a la vida (Méndez y Nava, 2011, p. 140). También son materiales bioacumulables, esto se presenta debido a que aproximadamente el 80 % de esta agua se reinyecta a un pozo, lo cual provoca cambios y daños al ecosistema y a la vida; mientras tanto, el

resto del agua se almacena en un contenedor a la que se le hace una serie de análisis con el fin de caracterizarla.

Pasando a otro punto de vista, se tiene a la estadística. Este campo de estudio se divide en dos ramas: análisis descriptivo y análisis inferencial. Una inferencia es la elaboración de conclusiones a partir de las pruebas que se realizan con los datos obtenidos de una muestra. Mientras tanto, la estadística descriptiva es una forma de representar los datos primarios según la tendencia. La integración de la estadística en los análisis de ensayos o experimentos científicos permiten inferir sobre el análisis de la información a estudiar, porque facilita comparar datos por medio del uso de pruebas estadísticas, lo que conducirá a conclusiones confiables (Veiga et al., 2020, p. 97).

Ahora bien, cuando se tienen datos es necesario realizar pruebas de distribución normal para clasificarlos en paramétricos y no paramétricos. Si son paramétricos, se aplicarán pruebas de estadística inferencial para deducir en una población o muestra de acuerdo con una formulación de hipótesis. Por su parte, si son no paramétricos, se deben aplicar a los casos en los que las variables no se ajusten a modelos teóricos.

Respecto a la significancia, se encuentra una sigma de 0,05, valor perteneciente al 95 % de confianza. En otras palabras, se debe contrastar si la hipótesis nula es confirmada en la media de la muestra o si se confirma la alternativa, teniendo en cuenta el valor crítico de la prueba. Es importante tener clara la variable que se está analizando para la correcta aplicación de este tipo de pruebas de significancia (Silvestre y Sánchez, 2016, p. 509; Acosta et al., 2014, p. 101).

En cuanto a la varianza, esta se refiere al análisis asociado a pruebas paramétricas. Aquí, cuando los datos son no paramétricos, se compara la distribución del total de los datos de la muestra. Estas son denominadas como pruebas de distri-

bución libre (Danglot et al., 2003, p. 91). Al implementar la prueba de Kruskal-Wallis es importante hacerla para más de dos muestras independientes y para comparar sus distribuciones, así como para indicar si al menos una de las muestras independientes presenta una distribución diferente a las demás (Berlanga y Rubio, 2012, p. 101). Ahora, si se hace uso de la prueba Wilcoxon-Mann-Whitney, esta permitirá comparar de manera múltiple las medianas de dos conjuntos independientes, posiblemente con distribución no normal; esto ayudará a establecer cuál o cuáles presentan diferencias frente a las demás muestras (Sánchez, 2015, p. 18).

Materiales y procedimientos

A continuación, se exponen los materiales y procedimientos recolectados para el desarrollo de esta investigación.

Carbón

Carbón tipo lignito, aportado por la empresa Biotropic Ltda., de una mina de su propiedad ubicada en la frontera entre Cundinamarca y Boyacá; este es suministrada al equipo de investigación de manera pulverizada, con un tamaño de partícula de $250\ \mu\text{m}$ (tamiz n.º 60), carbón fijo (35 %), cenizas (10 %), humedad (13 %) y materia volátil (42 %). Este mineral se utiliza de acuerdo con las revisiones en previas investigaciones debido a que la empresa entrega el material analizado y con resultados, lo que facilita la caracterización del origen de los ácidos fúlvicos.

Muestra de agua congénita

Se toman dos litros de agua de un pozo petrolero y se envasan en garrafas plásticas a una temperatura de $25\ ^\circ\text{C}$. Cabe aclarar que no se posee información del pozo debido a que estas aguas fueron donadas por un laboratorio ambiental, sumado a acuerdos de confidencialidad que poseen con sus respectivos clientes. A su vez, la persona que

procesó la muestra de agua es una profesional en química, quien trabaja en una empresa que presta servicios de análisis a este tipo de aguas.

Extracción de ácidos fúlvicos

Se toman 800 gramos de carbón tipo lignito y se someten a una extracción fase 1, con solución de hidróxido de sodio, cuya concentración es 2N; esta mezcla se mantiene en agitación por un tiempo de dieciséis (16) horas. Se obtiene una muestra, como se observa en la figura 1.



Nota. Fuente elaboración propia.

Figura 1. Extracción fase I básica

Dentro de la fase 1 se dividen las extracciones en cuatro partes, cada una de estas se acidifica con un ácido diferente y con una malla de 120 micras. Además, se procede a llevar a un pH de 1,50 (aproximadamente) con el ácido correspondiente. El resultado, cuatro matrices de extracciones de ácido fúlvico con diferentes ácidos:

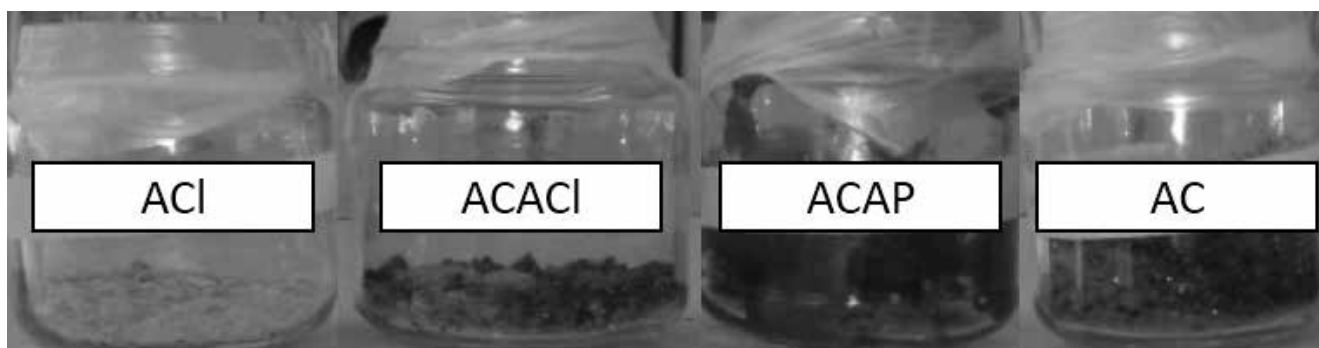
La primera matriz se realiza con ácido clorhídrico fumante (ACI).

La segunda, se acidifica con ácido cítrico (AC); para llevar al pH deseado, se termina con ácido clorhídrico (ACI) fumante (ACACI).

La tercera, se acidifica con ácido cítrico y ácido fosfórico concentrado —ACAP— (78 %).

Concentración de ácidos fúlvicos

Para la concentración de los ácidos fúlvicos obtenidos, se toman 100 mL de cada matriz. Estas muestras se colocan en un liofilizador por cuatro horas, que finaliza con la observación de las portamuestras para verificar si continuaba el proceso de sublimación o no, para lo cual se procede a apagar el equipo; en esta parte, se obtienen los ácidos en forma sólida para su manipulación. Finalmente, se evidencia el liofilizado de ácidos fúlvicos para tratamiento de aguas congénitas, como se detalla en la figura 2.



Nota. Fuente elaboración propia.

Figura 2. Liofilizado de ácidos fúlvicos para tratamiento de aguas congénitas

Preparación de soluciones de ácidos fúlvicos y de las muestras

Se preparan dos soluciones de cada matriz de concentración 0,8 % y 2 % en balones aforados de 50 mL a partir de los sólidos liofilizados. Estas concentraciones se toman teniendo en cuenta investigaciones previas de la línea de investigación de carbones, realizando un comparativo entre ácidos húmicos y fúlvicos (Melo, 2006).

Luego, se agita vigorosamente la muestra de agua congénita, se toman seis muestras de 80 mL y se adicionan 20 mL de las soluciones preparadas de cada matriz para mantener la relación que se maneja en la prueba cualitativa de 2 mL de muestra

y 0,5 mL de solución de ácido fúlvico. Igualmente, se deja por un periodo de dos días.

En la figura 3 se muestran los tratamientos en el agua congénita.

Lectura inicial-final de los metales pesados

La determinación de metales pesados se realiza por espectroscopia de plasma, equipo de plasma inducido ICP thermo scientific iCap 6000 Series. En esta parte se toman 50 mL de agua no tratada y 50 mL de cada tratamiento. Asimismo, se desarrolla un pretratamiento y una digestión. Por último, se toma ácido nítrico concentrado y se lleva a sequedad. Cabe mencionar que para las lecturas de mercurio no se realiza este pretratamiento.



Nota. Fuente elaboración propia.

Figura 3. Tratamiento en agua congénita

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de los tratamientos para la remoción de los metales pesados son procesados en el programa estadístico IBM SPSS STATISTIC 22.

Resultados

En este apartado se exponen los resultados más importantes que dejó la investigación, teniendo en cuenta los elementos principales a estudiar, además de las respectivas pruebas ejecutadas.

Lectura inicial

La tabla 1 indica la lectura del agua congénita inicial para cada metal pesado.

Determinación de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio, plomo) antes y después del tratamiento con ácidos fúlvicos

Se realizó la lectura inicial y la lectura de cada matriz por duplicado. No se observó formación de precipitado (sal de quelato) en la matriz ACAP, por lo que no se hizo lectura. En la tabla 2 se detallan los promedios de dos lecturas de metales pesados para cada tratamiento.

Remoción de los metales pesados en los tratamientos en las aguas congénitas

Se calcularon los porcentajes de remoción con los datos obtenidos antes y después del tratamiento con los ácidos fúlvicos, como se observa en la tabla 3.

Tabla 1.

Lectura inicial de metales pesados en el agua congénita

Metal	Unidades	Inicial		
		Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3
Cadmio (mg/L)	(ppm)	0,0154	0,0136	0,0145
Plomo (mg/L)	(ppm)	0,1760	0,1902	0,1831
Arsénico (ppb)	(µg/L)	3,3830	3,3650	3,3740
Mercurio (ppb)	(µg/L)	12,7836	12,9364	12,8600

Nota. Fuente elaboración propia.

Tabla 2.

Promedios de dos lecturas de metales pesados para cada tratamiento

Metales	Cadmio (mg/L)	Plomo (mg/L)	Arsénico (ppb)	Mercurio (ppb)
Inicial sin tratamiento	0,0145	0,1831	3,3740	12,8600
Tratamiento 1 ACACI [2%]	< 0,0001	0,0065	1,3560	1,3970
Tratamiento 2 ACACI [0,8 %]	< 0,0001	0,0120	0,2243	11,1600
Tratamiento 3 AC [2%]	0,0001	0,1394	1,8710	1,5470
Tratamiento 4 AC [0,8%]	0,0029	0,0227	0,0763	7,5790
Tratamiento 5 ACI [2%]	0,0002	0,0126	0,1025	6,3050
Tratamiento 6 ACI [0,8%]	0,0004	0,0213	0,3087	5,3140

Nota. Fuente elaboración propia.

Prueba de normalidad

Se realizó la prueba de normalidad a través del método Shapiro-Wilk, por metal, para los datos relacionados en la tabla 3. A su vez, se postulan las hipótesis: una nula y una hipótesis alterna.

Ho. Los datos presentan una distribución normal.

Hi. Los datos no presentan una distribución normal.

Para determinar si los datos presentan distribución normal, se empleó un alfa o sigma de 0,05, en que los valores fueron menores para que la hipótesis Ho sea rechazada. Seguido a esto,

Tabla 3.

Datos para el análisis estadístico de remoción de metales

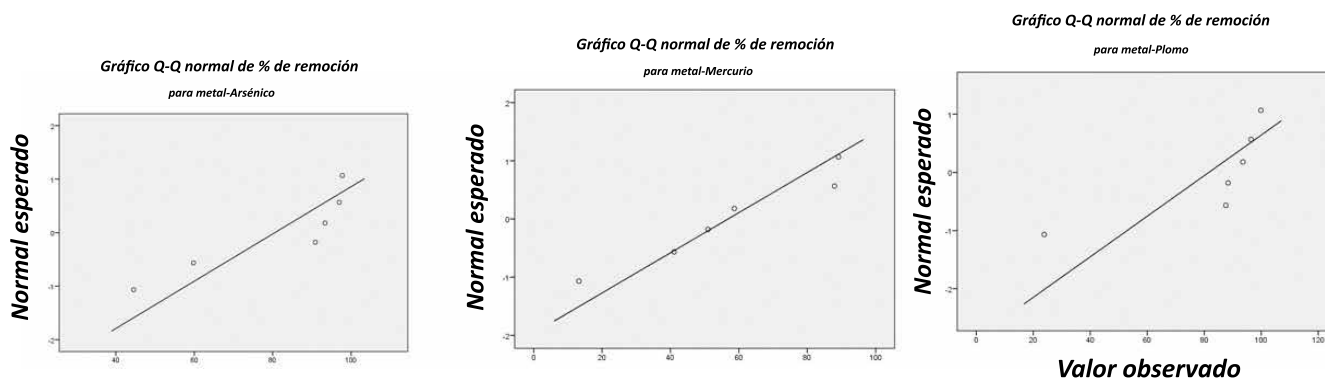
Metales	Promedio cadmio (% de remoción)	Promedio plomo (% de remoción)	Promedio arsénico (% de remoción)	Promedio mercurio (% de remoción)
Tratamiento 1 ACACI [2%]	100,00	96,45	59,81	89,14
Tratamiento 2 ACACI [0,8 %]	100,00	93,56	93,35	13,22
Tratamiento 3 AC [2%]	99,31	23,87	44,55	87,97
Tratamiento 4 AC [0,8%]	80,00	87,60	97,74	41,06
Tratamiento 5 ACI [2%]	98,62	99,89	96,96	50,97
Tratamiento 6 ACI [0,8%]	97,24	88,37	90,85	58,68

Nota. Fuente elaboración propia.

se desarrolló un gráfico de normalidad (Gráfico Q-Q) para los datos obtenidos de porcentaje de remoción para cada metal por tratamiento (ver figura 4). Posteriormente, se obtuvieron a través del software IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, Statistics 22) los resultados para la prueba estadística relacionando las significancias que se presentan en la tabla 4.

Prueba de comparación por pares de Mann Whitney

Debido a la diferencia encontrada entre los tratamientos, se procedió a la aplicación de una prueba de comparación por pares como la de Mann Whitney, debido a que proceden de la misma muestra de agua. A partir de esta, se dividieron



Nota. Fuente elaboración propia.

Figura 4. Prueba de normalidad datos para mercurio y plomo

Tabla 4.

Significancias de prueba de normalidad

Metal	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Gf	Sig.	
% de remoción	Cadmio	0,61	6	0,001
	Plomo	0,653	6	0,002
	Arsénico	0,785	6	0,043
	Mercurio	0,934	6	0,615

Nota. Fuente elaboración propia.

para hacer los diferentes ensayos de cada matriz y a diferentes soluciones, verificando, de este modo, entre qué tratamientos se pueden encontrar diferencias significativas (como se puede ver en la tabla 5). Para el análisis de cada par, se postularon las siguientes hipótesis:

Ho. No hay diferencia entre ambos tratamientos.

Hi. Hay diferencia entre ambos tratamientos.

Asimismo, para la ejecución de la prueba, se empleó un alfa de 0,05 (en la tercera columna se describe la aceptación o rechazo de la hipótesis nula).

Pruebas no paramétricas por Kruskal-Wallis

Dado que los resultados obtenidos para tratamientos y metales no presentaron una distribución normal, fue necesario realizar un análisis de varianza, ya que se cuenta con datos no pa-

Tabla 5.

Análisis de correlación bilateral por metal

Correlación	Significancia Asintótica bilateral	Acepta o rechaza Ho
Cadmio vs. plomo	0,109	Acepta
Cadmio vs. arsénico	0,037	Rechaza
Cadmio vs. mercurio	0,01	Rechaza
Plomo vs. arsénico	1,000	Acepta
Plomo vs. mercurio	0,109	Acepta
Arsénico vs. mercurio	0,055	Acepta

Nota. Fuente elaboración propia.

ramétricos; para ello, la alternativa fue la prueba de Kruskal-Wallis. Para este caso, y debido al tipo de práctica aplicada, se hizo la comparación de medianas para tratamientos y metales por aparte porque son grupos independientes. Adicionalmente, se postularon dos hipótesis: una nula y una hipótesis alterna (se empleó un alfa de 0,05) (ver tabla 6).

Ho. La distribución del porcentaje de remoción es la misma entre los tratamientos (tabla 3).

Hi. La distribución del porcentaje de remoción no es la misma entre los tratamientos (tabla 3).

Conclusiones

Según los datos arrojados por el análisis estadístico de Shapiro-Wilk, se rechaza la hipótesis nula, debido a que al menos uno o más de los datos presentan una significancia menor al alfa estipulado en 0,05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis

Tabla 6.

Prueba de Kruskal-Wallis con variable de agrupación para los tratamientos.

Estadísticos de prueba ^{a,b}	
gl (n – 1)	% de remoción 5
Sig. asintótica	0,719

Nota. Fuente elaboración propia.

alterna: H_1 . Los datos no presentan una distribución normal, es decir, son datos no paramétricos.

Se analiza que la aceptación de la hipótesis nula en la tabla 5 puede ser por la forma en la que se encuentra el metal en las aguas congénitas; por ejemplo, en el caso del cadmio versus plomo, los contrastes son iguales o similares, esto puede darse por dos razones: había la misma cantidad del metal o estaban en el mismo estado de oxidación; a su vez, estos forman el quelato con los ácidos fúlvicos. Asimismo, cuando la hipótesis se rechaza, es porque las cantidades de los metales se encuentran en diferentes proporciones y, adicionalmente, los estados de oxidación de este metal pudieron crear interferencia en la formación del quelato con los ácidos fúlvicos.

De acuerdo con las significancias, se deduce el orden de porcentaje de remoción de los metales en los tratamientos de mayor a menor:

I. Cadmio

II. Plomo

III. Arsénico

IV. Mercurio

El valor de significancia asintótica que muestra la tabla 6 es mayor a 0,05, por lo tanto, se acepta la hipótesis H_0 . Además, con los datos obtenidos, se evidencia que no hay diferencia entre los tratamientos, lo que quiere decir que independientemente del tratamiento aplicado, hay remoción de metales pesados en las aguas congénitas, lo cual origina que el efecto quelante es asumido por los ácidos fúlvicos y que el tratamiento que se emplee para la extracción (única diferencia entre los tratamientos) de los mismos no afecta de manera significativa el efecto final.

Referencias

- Acosta, S., Laines, B. y Piña, G. (2014). Capítulo 1. Prueba de hipótesis para un parámetro. En S. Acosta, B. Laines, y G. Piña. (Eds.). *Estadística Inferencial* (pp.10-22). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/292942>
- Berlanga, V. y Rubio, M. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. ¿Cómo aplicarlas en SPSS? *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5(2), 101-113.
- Danglot, C., Gómez, M. y Vega, L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. ¿Cuándo usarlas? *Revista Mexicana de Pediatría*, 70(2), 91-99.
- Garavito, M. y Berdugo, P. (2014). *Eliminación de metales pesados en aguas congénitas a partir de ácidos húmicos* [Tesis pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio Institucional UDCA. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/2021>
- Jiménez, A. y Peñuela, L. (2013). *Extracción de ácidos fúlvicos a partir de carbón lignito, purificación y empleo de los mismos en mejora de absorción de vitamina B12* [Tesis pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio Institucional UDCA. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/244>
- Martel, J., Foroughbakchk, R., & Benavides, A. (2016). Produced Waters of the oil industry as an alternative water source for food production. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(4), 463-475.
- Melo, L. (2006). *Análisis y caracterización de ácidos fúlvicos y su interacción con algunos metales pesados* [Tesis pregrado, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería]. UAEH. <http://>

dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/
handle/231104/136

- Méndez, A. y Nava, C. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140-147.
- Sánchez, D. (2012). *Extracción de ácidos fúlvicos de un carbón lignito por dos métodos y evaluación de su actividad antioxidante* [Tesis pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio Institucional UDCA. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1877>
- Sánchez, A. (2015). Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney: mitos y realidades. *Revista Mexicana de Endocrinología, Metabolismo & Nutrición Unidad Médica de Alta Especialidad, Hospital de Cardiología*, 2, 18-21.
- Silvestre, E. y Sánchez, E. (2016). Patrones en el desarrollo del razonamiento inferencial informal: introducción a las pruebas de significancia en el bachillerato. En J.A. Macías, A. Jiménez, J.L. González, M.T. Sánchez, P. Hernández, C. Fernández, F.J. Ruiz, T. Fernández y A. Berciano. (Eds.). *Investigación en educación matemática XX* (pp. 509-518). Universidad de Málaga.
- Stanley, E. (2007). Química ambiental: La ciencia química sustentable o sostenible. En E. Stanley (Ed.). *Introducción a la Química Ambiental* (pp. 8-20). Reverte S.A. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vásquez, P. (2013). Uso de la agricultura de sustancias húmicas [Especialización, Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo]. CIQA. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/416>
- Vásquez Osorio, M., Colpas Castillo, F. y Taron, A. (2019). Influencia del tamaño de partícula en la extracción de ácidos húmicos de carbón bituminoso. *Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1209>
- Veiga, N., Otero, L. y Torres, J. (2020). Reflexiones sobre el uso de la estadística inferencial en investigación didáctica. *InterCambios. Dilemas y Transiciones de la Educación Superior*, 7(2), 97-105. <https://doi.org/10.2916/inter.7.2.10>

¡ Nota. Tipo de artículo: Investigación.

