

TRATAMIENTO DE EFLUENTES TEXTILES CON ESPONJAS DE POLIURETANO Y BIORREMEDIACIÓN CON BACTERIA *SHEWANELLA*

TEXTILE EFFLUENT TREATMENT WITH POLYURETHANE SPONGES AND BIORREMEDIACTION WITH *SHEWANELLA* BACTERIA

Autores.

Oscar Rafael Tinoco Gómez¹

Elvis Henry Moscoso Huaira²

Carlos Francisco Cabrera Carranza³

Oscar Federico León Martínez⁴

Resumen.

La investigación abordó el tratamiento de efluentes de una planta textil, ubicada en Lima, que contenían metales pesados como cromo, zinc y cobre, con el propósito de alcanzar los límites permisibles establecidos por Sedapal, entidad responsable del agua potable y contribuir, de esta manera, al cuidado del ambiente. Primero se aplicó un pre tratamiento con cal y el polímero Sudfloc 2500-P. Luego, se prepararon las esponjas de poliuretano en una autoclave, tanto para esterizarla como para permitir la inoculación de las bacterias. Se optó por la bacteria shewanella, por su proclividad a reducir metales pesados. Se ejecutó, posteriormente, un diseño experimental 2x2, teniendo como factores el pre tratamiento y la aplicación de bacterias. Los resultados evidenciaron la independencia de ambos factores, reducción significativa del contenido de cobre, cromo y zinc con el pre tratamiento. El contenido de metales pesados con la aplicación de la shewanella, en medio poroso proporcionado por la esponja de poliuretano, se redujo en mayor magnitud que con tan solo el pre tratamiento.

Palabras clave: efluente textil; metales pesados; biorremediación; shewanella

¹ Doctor Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*Docente Principal UNMSM* Calle German Amezaga 375, Lima 1*e-mail: otinocog@gmail.com

² Bachiller Ingeniería Textil*UNMSM* Calle German Amezaga 375, Lima 1*e-mail: emoscosohuaira@gmail.com

³ Doctor Ciencias Ambientales* Docente Principal UNMSM* Calle German Amezaga 375, Lima 1*e-mail: ccabreracarranza@gmail.com

⁴ Ingeniero Químico*UNMSM* Calle German Amezaga 375, Lima 1*e-mail: oleonm57@gmail.com

Abstract

The investigation addressed the treatment of effluents from a textile plant, located in Lima, that contained heavy metals such as chromium, zinc and copper, with the purpose of reaching the permissible limits established by Sedapal, entity responsible for drinking water and contributing, in this way, to the care of the environment. First a pre-treatment with lime and Sudfloc 2500-P polymer was applied. Then, the polyurethane sponges were prepared in an autoclave, both to be sterilized and to allow the inoculation of the bacteria. We chose the bacterium shewanella, due to its proclivity to reduce heavy metals. A 2x2 experimental design was subsequently carried out, with the pre-treatment and application of bacteria as factors. The results showed the independence of both factors, significant reduction of the content of copper, chromium and zinc with the pre-treatment. The content of heavy metals with the application of the shewanella, in porous medium provided by the polyurethane sponge, was reduced in greater magnitude than with only the pre-treatment.

Keywords: textile effluent; heavy metals; bioremediation; shewanella

Introducción:

Es creciente la preocupación, tanto en medios académicos como en sectores empresariales, preservar el ambiente y, sobre todo, preservar el recurso hídrico. En la mayoría de países, los estados emiten normativas ambientales que regulen las actividades industriales que generan contaminación, dentro de las cuales la industria textil resulta ser intensiva en uso de recursos hídricos y de colorantes. La manufactura textil, según precisa Malhotra (2010), citado por Gonzales (2013), hace uso intensivo de químicos, a nivel mundial, y resulta ser la segunda mayor actividad contaminadora del agua. Como resultado de los procesos de teñido y lavado se generan aguas residuales con presencia de metales pesados, entre otros contaminantes. Según SUNASS (2012) en el Perú sólo el 32.7% de las aguas residuales reciben tratamiento. En Lima el 66% del volumen anual nacional de aguas residuales no tiene tratamiento.

Por otro lado, la demanda de textiles ecológicos es creciente en América del Norte, Europa y Asia, hecho asociado al paradigma de producción más limpia, de modo tal que la industria manufacturera peruana podría perder importantes nichos de mercado. Los denominados mercados verdes constituyen oportunidades de negocios en tanto demuestren ser amigables con el ambiente. (Gonzales, 2013).

Las esponjas de poliuretano constituyen una agregación de burbujas plásticas; debido a su porosidad tienen uso como lecho de crecimiento de la biomasa, dado que genera mayor superficie de contacto y de oxigenación en el tratamiento de aguas residuales. Reactores biológicos híbridos, de uso en tratamiento biológicos

de aguas residuales domésticas, han encontrado en estas espumas un excelente medio de inmovilización microbiana. (Flores, 2016; Botello et al, 2016).

El tratamiento de efluentes textiles se da mediante diversos métodos, que van desde la coagulación – floculación, electroquímica, electrocoagulación, membranas, hasta procesos biotecnológicos. En estos últimos se han registrado tratamientos con plantas, enzimas y bacterias.

López et al (2017) señalan que en el tratamiento biológico de aguas residuales se utilizan bacterias que se encuentran en el ambiente del contaminante mismo. Precisan que, en general, los microorganismos presentes en las aguas residuales son los virus, bacterias y protozoos.

Sánchez (2011), refiriéndose a los tratamientos biológicos de aguas residuales que emplean hongos y bacterias, precisa que son amigables con el ambiente, más económicos y no generan mucho volumen de lodos residuales.

En Ecuador, Anguisaca (2015) utilizó la bacteria *Shewanella Oneidensis*, para decolorar efluentes textiles, obteniendo 43% de eficiencia.

Centeno et al (2017), reportan el uso de esponjas de poliuretano en su búsqueda de un tratamiento alternativo para aguas residuales. Se trata de un filtro percolador, desarrollado originalmente en Japón para “el postratamiento de reactores anaerobios de flujo ascendente de manto de lodo”. Concluyeron, luego de la evaluación correspondiente, que el método es eficiente para reducir los niveles contaminantes de DBO, DQO y, en menor medida, de sólidos en suspensión totales. Chitiva y Dussan (2003) informaron sobre la aplicación de tres tipos de materiales como matriz de inmovilización de bacterias, básicamente el poliuretano. Concluyen que la inmovilización en la espuma de poliuretano es posible gracias a la habilidad que tienen los microorganismos de adherirse a una superficie.

En la revisión del estado del arte sobre el uso de bacterias en tratamientos biológicos de efluentes textiles, se encontró que la *shewanella* presenta buen desempeño en la reducción de metales pesados, con buen potencial para biorremediación de aguas residuales que contienen cromo, arsénico y mercurio. (Bayona, 2018)

En este panorama, la investigación abordó el uso de esponjas de poliuretano para el tratamiento de efluentes textiles, posterior a un proceso de coagulación-floculación. Finalmente se recurrió al uso de la bacteria *Shewanella*, teniendo como soporte la esponja de poliuretano, teniendo como objetivo reducir los niveles de contaminación por metales pesados (cromo, zinc y cobre) hasta límites permisibles, según la normativa peruana (Sedapal).

Materiales y métodos:

En una primera etapa se extrajeron muestras de efluentes de una planta textil ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, las cuales fueron procesadas en laboratorio certificado. Se identificaron tres metales pesados y niveles contaminantes de DBO y DQO. Una muestra mayor de este efluente, fue llevada al laboratorio de Microbiología de la UNMSM, para su cultivo correspondiente. Los resultados de esta observación permitieron, junto con la revisión del estado del arte, la identificación de la bacteria *Shewanella* para el proceso de biorremediación.

En una segunda etapa, se prepararon muestras sintéticas del efluente, conteniendo los tres metales pesados. Se realizaron pruebas de coagulación y floculación, con la finalidad de reducir la concentración de metales y decolorar el efluente. Se utilizó óxido de Calcio (1 kg), coagulante (polímero Sudflock 2500-P) y papel filtro whatman. Para preparar las muestras sintéticas se emplearon sulfato de cromo, nitrato de Zinc y nitrato de Cobre. En la figura 2 se muestra parte del proceso.



Figura 1: Proceso de Coagulación-Floculación. Fuente: propia

Según pruebas realizadas con anterioridad, se pudo obtener un resultado óptimo con 3 gr. de CAL en 100 ml de efluente, replicamos el experimento, pero con 3000 ml de efluente textil luego se agregó 90 gr. de óxido de calcio. Para hacer la mezcla del efluente y la CAL, se utilizó un envase y un agitador. El agitador inició con una velocidad de 1000 RPM y se agregó la CAL, se dio un tiempo 5 minutos para su disolución, se agregó el polímero y se dejó en agitación otros 5 minutos más, la

velocidad de agitación debe ser de 1200 a 1400 RPM se continuo con la filtración y se separó en otro envase.

Las esponjas de poliuretano fueron donadas por una empresa, las mismas que fueron analizadas con microscopio electrónico de barrido (SEM) para su caracterización.

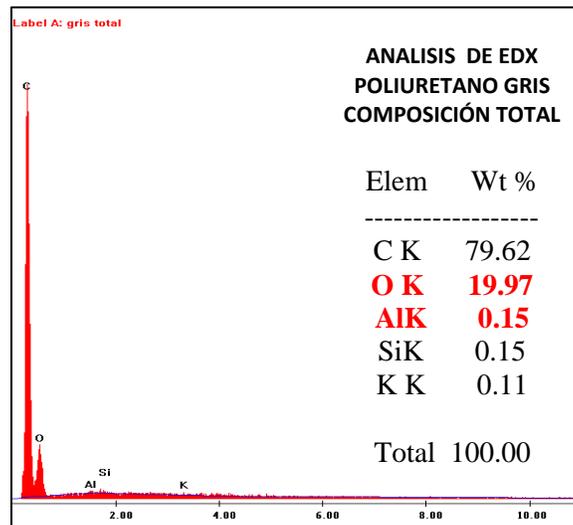


Figura 21-Análisis de las esponjas de poliuretano. Fuente: propia

Se logró determinar la composición elemental de la esponja mediante espectroscopia de energía dispersa de rayos X (EDX) (Fig 02) en porcentaje de peso atómico, determinándose los siguientes elementos C: 79.62 %, O: 19.97 %, Al: 0.15%, Si: 0.15%, K: 0.15%.

En una tercera etapa, las esponjas fueron sometidas a esterilización en una autoclave, bajo los siguientes parámetros: temperatura de 121 °C, con una presión de 15 psi por un tiempo de 15 minutos y luego, se prepararon los medios de cultivo para la bacteria, utilizando extracto de levadura, sulfato de Amonio ((NH₄)₂SO₄), fosfato dipotásico (K₂HPO₄) y fosfato disódico (Na₂HPO₄). En simultáneo, se reactivaron las bacterias Shewanella utilizando el Caldo Caso. Se hizo crecer a la bacteria por un tiempo de 8 horas en Caldo Caso incubándolo a 30 °C. Luego, se inocularon las bacterias a las esponjas en medio Caldo ZZ posteriormente es incubado a una temperatura de 30°C por un tiempo de 8 horas. Finalmente se escurrió el líquido restante para quedarnos con la esponja impregnada de bacterias. El líquido restante con bacterias, que quedo después de escurrir, es descartado con en el autoclave a una presión de 15 psi, a una temperatura de 121 °C por un tiempo de 15 minutos.



Figura 4 Reactivación de bacterias



Figura 5 Incubación de bacterias

En una cuarta etapa, se procedió a mediciones experimentales, diseño 2x2, con los siguientes criterios: un primer factor fue la presencia o ausencia de pre tratamiento al efluente (coagulación-floculación); un segundo factor fue la presencia o ausencia de bacterias. En todos los casos intervinieron las esponjas de poliuretano

Este proceso es subsiguiente al tratamiento con coagulante y floculante, el efluente fue tratado con las esponjas de poliuretano con bacterias inoculadas con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos. El efluente tuvo un volumen de 3000 ml; de la misma forma el volumen de las esponjas con bacterias se juntó en un envase cerrado durante un tiempo de 2 horas y, finalmente, se procedió con el filtrado en papel whatman. Los resultados obtenidos, tanto de la inoculación de las bacterias, como el pre tratamiento correspondiente, se analizó en laboratorio acreditado.

En simultáneo, se llevó a analizar las esponjas luego de culminada la cuarta etapa. El método de análisis se llevó a cabo a través de la microscopia electrónica con la finalidad de visualizar el comportamiento de la bacteria y a la vez hacer la medición en porcentaje de residuos de metales presentes en la esponja.

Resultados y discusión (

Caracterización inicial del efluente proveniente de la planta

Tabla 1- Caracterización de efluentes textiles en planta

Metales	Unidad	Expresión	Valor	VMA Sedapal
Cobre	mg/L	Cu	7.11	3
Cromo Total	mg/L	Cr	10.68	10
Zinc	mg/L	Zn	95.66	10

Fuente: propia

Coagulación- Floculación



Figura 6: decoloración resultante coagulación – floculación. Fuente: propia

El recipiente de la derecha ilustra claramente el nivel de decoloración, obtenido en la etapa del pre tratamiento.

Diseño experimental

Tabla 2- Caracterización de efluentes textiles diseño experimental

Metales	Unidad	T-STE01	T-STEBAC01	T-CTE01	T-CTEBAC01	VMA Sedapal
Cobre	mg/L	3.29	2.26	0.01454	0.00886	3
Cromo Total	mg/L	9.11	0.29589	0.01187	0.00978	10
Zinc	mg/L	95.98	9.7	4.18	0.27161	10

Fuente: propia

En donde:

T-STE01	Sin tratamiento, con esponjas
TSTEBAC01	Sin tratamiento, con esponjas + Bacterias
TCTE01	Con tratamiento, con esponjas
T-CTEBAC01	Con tratamiento, con esponjas + Bacterias
VMA SEDAPAL	Límite máximo Permisible, según SEDAPAL (agua potable)
T-ES01	Muestra inicial efluente de planta textil

Para el cobre

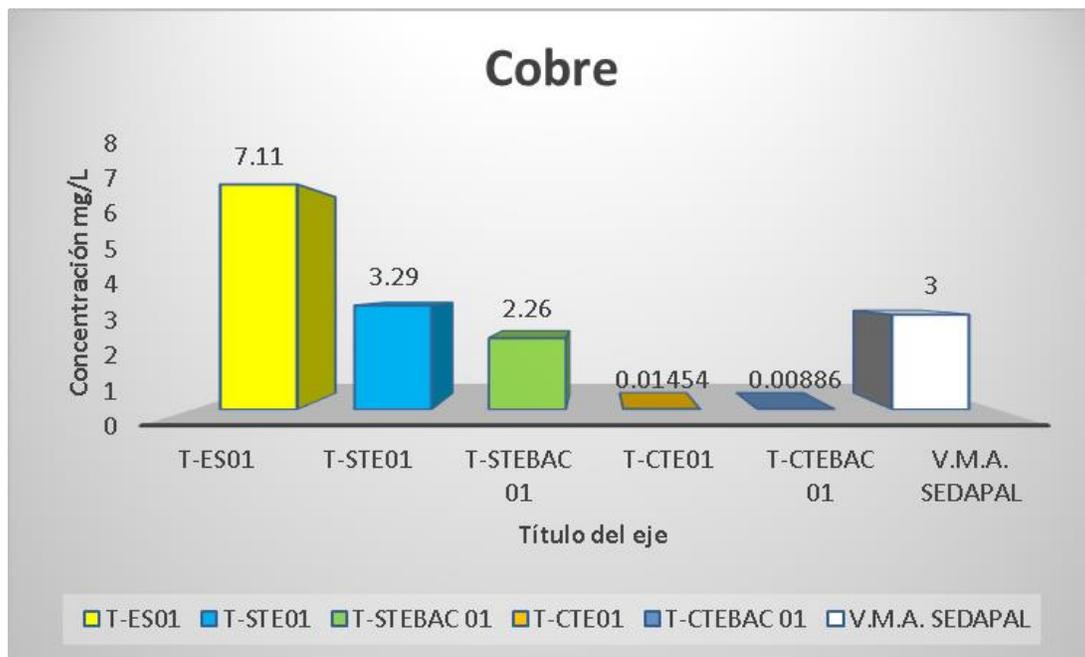


Figura 7- Resultados del diseño experimental – Cobre. Fuente: propia

La figura N° 4 ilustra la notable disminución del contenido de cobre, obteniéndose valores mucho menores que los límites permisibles establecidos por Sedapal (empresa a cargo del agua potable, Lima).

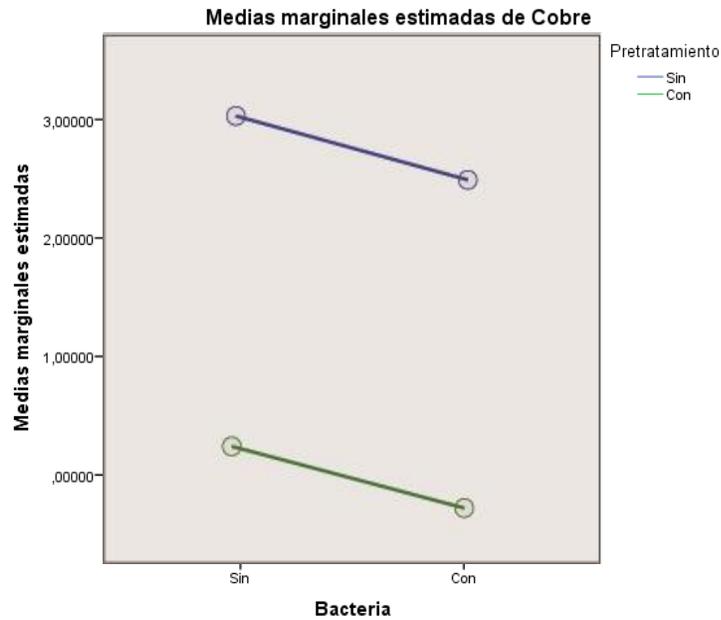


Figura 8- Medias marginales estimados de cobre. Fuente: propia

En la figura N° 8, las líneas paralelas indican que no hay interacción entre ambos factores. El contenido de cobre, en promedio, disminuye notablemente con la acción de las bacterias, tanto en la muestra sin tratamiento, como con aquella que si tuvo tratamiento. El contenido del metal pesado es mucho menor cuando se aplica pre tratamiento.

Para el cromo

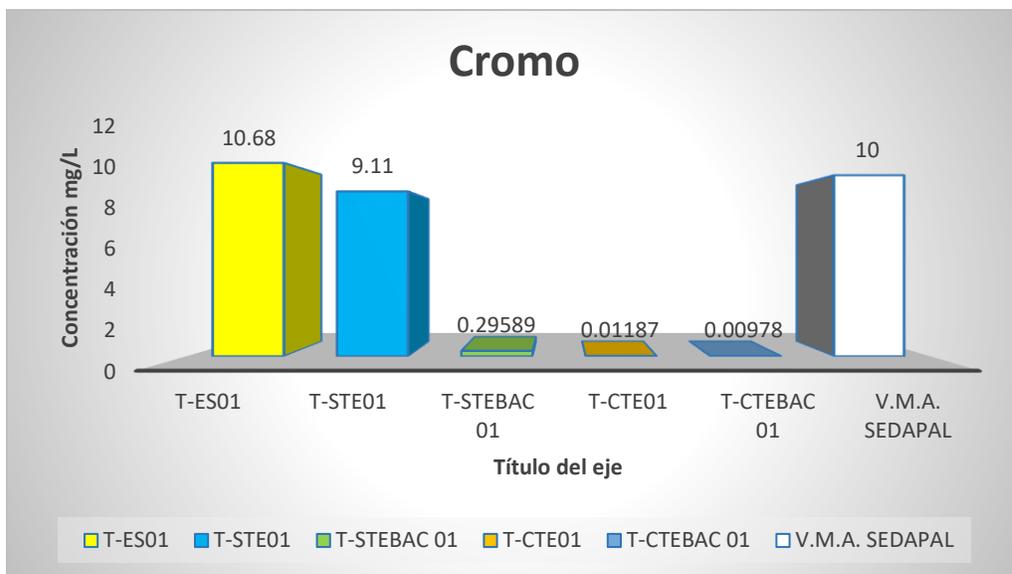


Figura 9-Resultados de diseño experimental-Cromo

En la figura N° 9 ilustra la notable disminución del contenido de cromo, obteniéndose valores mucho menores que los límites permisibles establecidos por Sedapal (empresa a cargo del agua potable, Lima). La acción de las bacterias, en la reducción del metal pesado, respecto al cromo, es mucho más agresiva que con respecto al cobre.

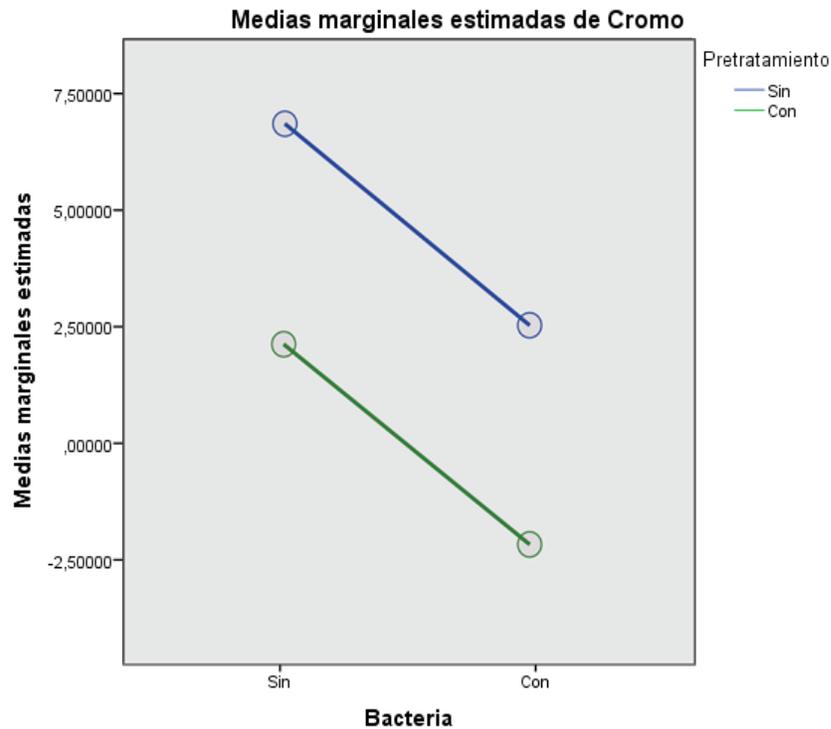


Figura 10: Medias marginales estimadas de Cromo. Fuente: propia

En la figura N° 10, al igual que en la anterior, las líneas paralelas indican que no hay interacción entre ambos factores. El contenido de cromo, en promedio, disminuye notablemente con la acción de las bacterias, tanto en la muestra sin tratamiento, como con aquella que si tuvo tratamiento. El contenido de cromo es mucho menor en la muestra con pre tratamiento.

Para el zinc:

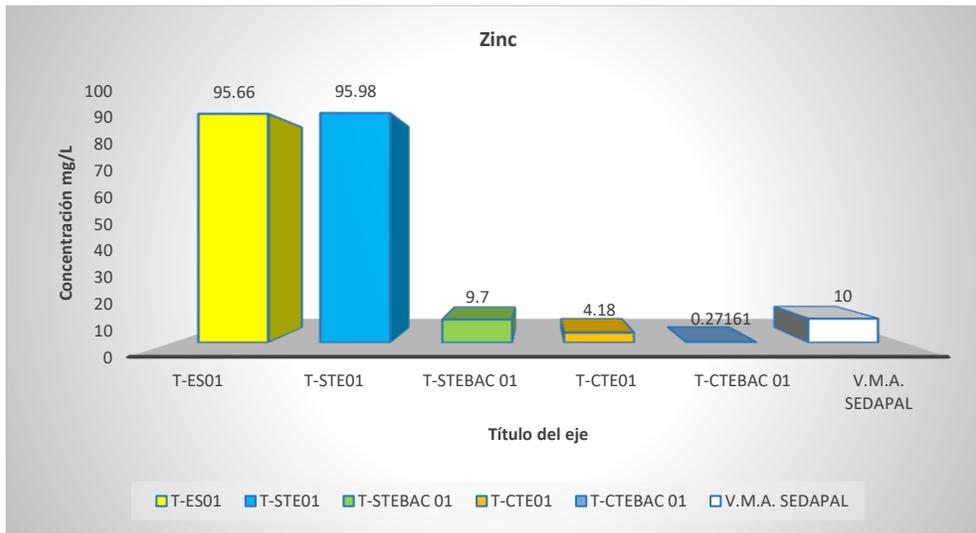


Figura 11:-Resultados de diseño experimental-Zinc

La figura N° 11 grafica la notable disminución del contenido de zinc, obteniéndose valores mucho menores que los límites permisibles establecidos por Sedapal (empresa a cargo del agua potable, Lima). La acción de las bacterias respecto al zinc es mucho más agresiva que con respecto al cobre.

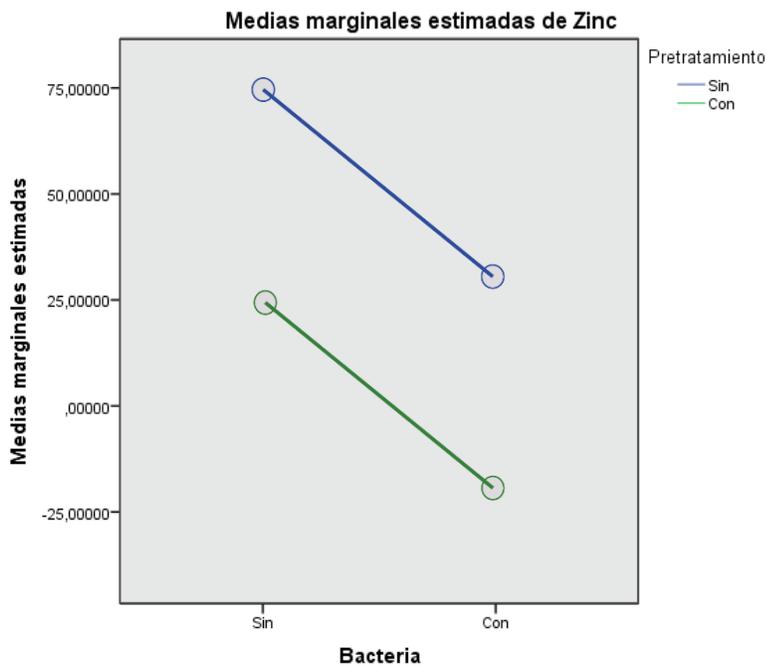


Figura 12:-Medias marginales estimadas de Zinc

La figura N° 12 grafica, a través de las líneas paralelas, que no hay interacción entre ambos factores. El contenido de zinc, en promedio, disminuye notablemente con la acción de las bacterias, tanto en la muestra sin tratamiento, como con aquella que si tuvo tratamiento. Al igual que en los casos anteriores, el contenido de metal pesado resulta menor en la muestra en donde se aplicó el pre tratamiento.

Conclusiones.

- Después de hacer pruebas con esponjas de poliuretano se demuestra que sin ninguna modificación posee un comportamiento inestable pero con una baja capacidad de remoción de metales pesados.
- La adición de la bacteria shewanella a las esponjas, incrementó la capacidad de remoción de cromo, plomo, zinc y cobre; ante ello queda demostrado que el poliuretano con las shewanella, tiene un porcentaje de remoción mayor al poliuretano sin ninguna modificación.
- La técnica de coagulación-floculación logró reducir la concentración de metales pesados, inclusive se lograron cambios físicos como el cambio de color del efluente; factor importante en la industria textil, ello como complemento con la esponja y las bacterias logró un resultado más óptimo.

Agradecimientos.

Al programa estatal Innóvate Perú, Convenio N° 390- PIAP-PNP-2014, que financió este estudio. A la Ing Rosa Medina, por sus aportes en microscopia y a los químicos Jenny Alvarez y Nino Castro. Al Dr Pablo ramirez Roca, del Laboratorio de Microbiología de la UNMSM.

Bibliografía.

- Anguisaca, Ivan, 2015. Evaluación de bacterias electrogénicas en el tratamiento de aguas residuales de industrias textiles. Tesis de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador. 65-66.
- Bayona, Felipe, 2018. Formación y evolución de biopelículas de shewanella sp. cepa USBA 344 sobre superficies nanoestructuradas. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 97-98
- Botello, W; Ortiz, C & Peña, S, 2016. Inmovilización microbiana en polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales. Revista NOVA. 2016; 13 (26): 99-106. Colombia.

- Centeno, E; Rodriguez, D & Ugalde, J, 2017. Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales ordinarias por medio de un filtro percolador con relleno de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) como postratamiento de un efluente de sedimentador primario
- Chivita y Dussan (2003). Evaluación de matrices para la inmovilización de *Pseudomonas* spp en biorremediación de fenol. Revista Colombiana de Biotecnología Vol V No.2 Diciembre, 5 - 10
- Gonzales, J., 2013. La sostenibilidad ecológica en el desarrollo de productos textiles: Una Revisión de Literatura. Revista Realidad y Reflexión, Año 13, N° 38 San Salvador, El Salvador, Centroamérica Revista Semestral, 2-3
- Flores, Judith, 2017. Determinación de la eficiencia del sistema de filtros de esponjas colgantes continuas (dhs) en el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Marian Huaraz – 2017. Informe de investigación, Facultad de Ciencias Ambientales, UNASAM, Huaraz, Perú. 34-36
- López, Víctor & Crespi, Martín (2017) Gestión de los efluentes en la industria textil. Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña. (Publicado en revista APTT, abril 2017, Lima)
- Sánchez, Isabel (2011) Biodegradación de colorantes textiles industriales por las enzimas. Tesis doctoral Universidad de La Habana.