

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

BIORREMEDIACIÓN USANDO EL HONGO *ASPERGILLUS NIGER* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

BIOREMEDIATION USING THE *ASPERGILLUS NIGER* FUNGUS IN WASTEWATER TREATMENT

Carlos Daniel Villaveces Palacio
Ingeniero ambiental y sanitario
Bogota, Colombia
cdvillaveces@gmail.com

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS
NATURALES
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
JUNIO DE 2019**

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

BIORREMEDIACIÓN USANDO EL HONGO *ASPERGILLUS NIGER* EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

BIOREMEDIATION USING THE *ASPERGILLUS NIGER* FUNGUS IN WASTEWATER TREATMENT

Carlos Daniel Villaveces Palacio
Ingeniero ambiental y sanitario
Bogotá, Colombia
cdvillaveces@gmail.com

RESUMEN

Desde los años 60 se ha investigado el potencial de organismos para la remoción de metales pesados en diferentes recursos debido al uso de productos cada vez más contaminantes, la biorremediación surge como un método para mitigar el impacto causado por dichos contaminantes, dentro de este método se encuentra el uso de hongos, la micoremediación, en este trabajo se desarrolla el estado del arte del uso del hongo *Aspergillus Niger* para la remoción de metales pesados en aguas residuales, para tal fin, se desarrolla la investigación bibliográfica de artículos y revistas científicas publicados en los últimos años; en este trabajo se estableció que el hongo debe ser cultivado manteniendo factores de crecimiento tales como temperatura, pH, cantidad de nutrientes, humedad, y concentración del contaminantes, estos factores inciden directamente en el crecimiento y la eficiencia en la remoción del metal pesado, se observa que el hongo realiza los procesos de biosorción, bioacumulación y biotransformación generando una remoción de los metales pesados y un incremento en la biomasa, se determina que las diferentes cepas del hongo *Aspergillus Niger* son eficientes en la remoción para metales pesados.

Palabras clave: Metales pesados, *Aspergillus Niger*, factores de crecimiento, remoción.

ABSTRACT

Since the 1960s the potential of organisms for the removal of heavy metals in different resources has been investigated due to the use of increasingly polluting products. Bioremediation emerges as a method to mitigate the impact caused by these pollutants. find the use of fungi, mycoremediation, in this work develops the state of the art of the use of the *Aspergillus Niger* mushroom for the removal of heavy metals in wastewater, for this purpose, the bibliographic research of articles and scientific journals published in the last years; In this work it was established that the fungus must be cultivated maintaining growth factors such as temperature, pH, amount of nutrients, humidity, and concentration of contaminants, these factors directly affect the growth and efficiency in the removal of the heavy metal. observes that the fungus

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

performs the processes of biosorption, bioaccumulation and biotransformation generating a heavy metal removal and an increase in biomass, it is determined that the different strains of the *Aspergillus niger* fungus are efficient in the removal for heavy metals.

Key words: Heavy metals, *Aspergillus niger*, growth factors, metal removal

INTRODUCCIÓN

La contaminación en los recursos naturales es un grave problema que impacta diferentes aspectos ambientales tales como el recursos hídrico, teniendo en cuenta que la disponibilidad del agua dulce a nivel mundial es escasa, es necesario el uso de tecnología para descontaminar los cuerpos de agua en donde se realiza continuamente descargas puntuales de contaminantes, la ciudad de Bogotá no es ajena a esta situación, diariamente se vierten a los cauces de los ríos miles de litros de aguas residual proveniente se los sectores residencial, industria y comercio, el sector de servicios entre otro, por esta razón se determina que es necario recuperar los cauces de los ríos, a través de mejorar la calidad del recurso hídrico.

En la ciudad de Bogotá encontramos diferentes tipos de vertimientos descargados de forma puntual a los cuerpos de agua, la mayoría de vertimientos no cuentan con un tratamiento optimo y son dispuestos en la red de alcantarillado de la ciudad , esta vierte sus aguas al rio Bogotá y posteriormente el rio Bogotá desemboca en el cauce del rio magdalena. En este proyecto se concentrara en el tratamiento de aguas residuales contaminadas por metales pesados, provenientes de los sectores residenciales, industriales, coemrciales y servicios , por medio del uso de la micoremediacion, la cual es una forma de biorremediación, en donde se usa un hongo para degradar o inmovilizar los contaminantes generados sobre el medio ambiente, de esta manera se mitiga la contaminacion en el recurso hídrico usando esta tecnología cada vez mas aceptada en el mundo moderno, por tal motivo, en esta investigacion se abordara el uso del

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

hongo *Aspergillus Niger* (*A. Niger*) como método de remediación ambiental para aguas residuales contaminadas con metales pesados.

La contaminación por los metales pesados son generados principalmente por la transformación de materias primas en los diferentes procesos productivos de la industria, generalmente encontramos Mercurio (Hg), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Cromo (Cr), cobre (Cu), Cadmio (Cd), Niquel (Ni), Cobalto (Co), entre otros, concentraciones elevadas de algunos de ellos puede generar peligro a la salud humana y al medio ambiente, generando agentes cancerígenos o tóxicos a los organismos que están en contacto con estos elementos, por lo cual décadas de estudios y desarrollo de la fitorremediación y posterior inclusión de la micoremediación han generado una oportunidad de solucionar un problema con el uso de plantas y hongos.

Se han desarrollado a nivel mundial diferentes ensayos con aguas residuales con metales pesados, suelos con hidrocarburos, aguas contaminadas con productos de la minería entre otros, en Latinoamérica, México es uno de los países en donde la investigación sobre el *A. Niger* ha resuelto varias preguntas en cuanto a la tolerancia del hongo a diferentes medios y sustancias tóxicas, en los experimentos realizados, se tomó el hongo *A. niger*, se aisló con un sustrato, se mantuvo las condiciones de temperatura, pH y luminosidad, se realizó una caracterización inicial de la muestra problema la cual contiene metales pesados para comparar los datos tiempo después de la introducción del *A. Niger*, finalmente se observó una disminución drástica de la presencia de metales pesados, y un incremento en la producción de biomasa del hongo, concluyendo en la mayoría de estudios que el hongo puede ser usado como bioremediador en diferentes escenarios.

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

En este trabajo se presentara una investigacion bibliográfica de diferentes estudios en donde se involucra el uso del hongo *A. Niger* y la contaminacion por metales pesados en el agua residual, con el fin de determinar cual es la posibilidad del uso de la técnica de micoremediacion como tratamiento de aguas residuales contaminadas por metales pesados en el contexto colombiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrollo por medio de 3 fases investigativas en donde se va a determino la problemática global de los metales pesados, el uso del hongo *A. Niger* para le remoción de metales pesados y por ultimo se determina como este hongo se puede adaptar al algunas situaciones del contexto colombiano en cuanto al manejo de aguas residuales contaminadas por metales pasados.

Fase I: Investigacion

- A. Referencias bibliográficas sobre metales pesados
- B. Referencias bibliográficas sobre hongo *A. Niger*

En las fases I, se encuentran las sub fases, A y B se desarrollo por medio de la búsqueda de información bibliográfica tanto de los metales pesados como los usos que se han desarrollado a nivel mundial del hongo *A. Niger* como un bioremediador ambiental, se descarto información que no sea adaptable al contexto nacional, pues es necesario mantener una similitud en las características y entorno en el cual fue desarrollada la investigación sobre el hongo con las condiciones del territorio nacional, de esta manera la información será más precisa y factible como una herramienta de solución.

Fase II: Enfoque de la investigacion

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

En esta fase se realizó el enfoque que se le dio al artículo debido a que se contaba con una amplias bases bibliográficas, en esta fase se determinó que el uso del hongo *A. Niger* se enfocaría hacia la biorremediación en agua residual contaminada con metales pesados.

Fase III : Adaptación del hongo *A. Niger* al contexto colombiano

En esta fase se determinó la capacidad del Hongo *A. Niger* para remoción de metales pesados del agua residual generadas en municipios del territorio nacional por actividades de los sectores de vivienda, industrial, comercial y servicios.

A continuación se describe en la ilustración 1, por medio de un diagrama como se realizó la investigación para recopilar la información sobre los metales pesados y el hongo *A. Niger*, para finalmente desarrollar el artículo científico.



Ilustración 1. Diagrama de fases, en esta ilustración se muestra al lector la metodología implementada en el artículo. Información desarrollada por Autor.

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

Biorremediación

La biorremediación es el proceso en donde se usan las habilidades catalíticas de organismos vivos para degradar o transformar contaminantes en un ecosistema, por lo cual la biorremediación presenta un potencial en cuanto a la mitigación ambiental por diferentes sustancias. La biorremediación se enfoca en la explotación de la diversidad y versatilidad metabólica como las bacterias y hongos con el fin de movilizar o inmovilizar los contaminantes encontrados en un área determinada, mitigando el impacto de estos contaminantes, esta técnica es usada como método de restauración de ecosistemas contaminados; cuando se realiza biorremediación usando hongos se le conoce como Micorremediación (Garbisu, 2002).

Aspergillus Niger

Pertenece a la familia Fungí, clase *Eurotiomycetes*, orden *Eurotiales*, familia *Trichocomaceae*, género *Aspergillus*, especie *Aspergillus Niger*; entre sus características microscópicas posee un conidióforo liso que mide entre 1.5 a 3 mm de largo, son hialinos o pardos, sus conidios son variables en forma de globos, elipses, lisos, entre otros, pero todas son de color negro, como se puede apreciar en la ilustración 2, no posee estructura de reproducción sexual (Québec, 2019).

En cuanto a sus características macroscópicas, sus colonias crecen rápidamente en 7 días alcanzan un diámetro entre 4 a 5 cm, las colonias inicialmente poseen el micelio de color blanco o crema, mas adelante se van tornando de color oscuro en tonalidades de negro a pardo oscuro, es de aspecto polvoriento de tal manera que fácilmente reconocible. En su reverso son de color gris o amarillo pálido (Québec, 2019).

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

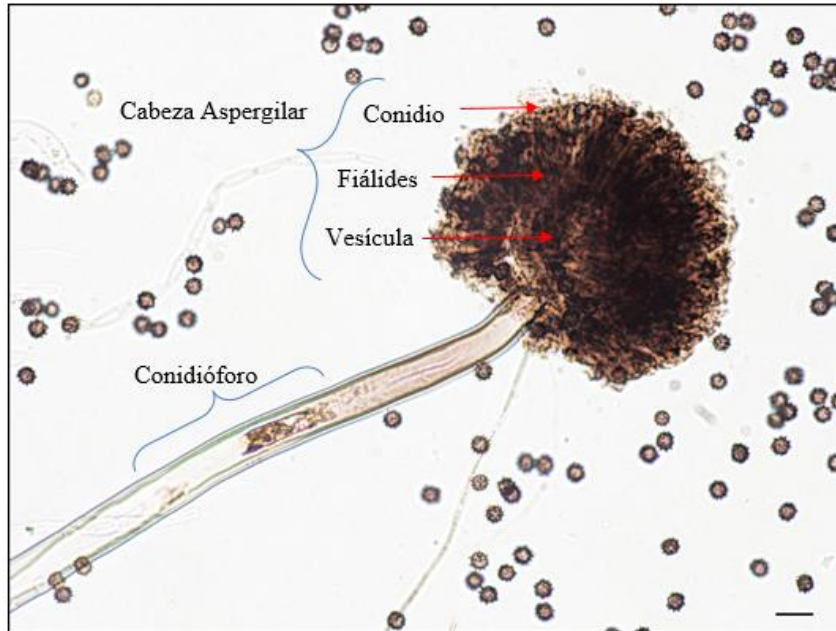


Ilustración 2. *Aspergillus Niger*. Información tomada de (Québec, 2019)

El *A. Niger* es muy común en la lechuga, el tomate, la acelga o el limón, es una de las especies más comunes del género *Aspergillus*, por otro lado puede generar en altas concentraciones aspergilosis que es una alteración pulmonar, generalmente la enfermedad la padecen los agricultores ya que inhalan el polvo del hongo por sus vías nasales (Aspergillus.org, 2019).

Factores de Crecimiento.

El *A. Niger* posee características físicas y químicas que favorecen su desarrollo óptimo manteniendo su población estable alimentándose de los contaminantes, generando estabilidad al finalizar el proceso de alimentación, algunas de estas características físicas corresponde a la disponibilidad de agua (humedad) y la temperatura, mientras que por otro lado, las características químicas corresponden al pH, composición del sustrato, nutrientes y potencial oxidoreductor (Alberto Gimeno, 2011).

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

La temperatura es un factor fundamental para el crecimiento del hongo, el rango corresponde desde 5 a 40 °C, siendo los 37 °C la temperatura óptima para el crecimiento ideal, las bajas o altas temperaturas pueden generar el decrecimiento de la población, por lo cual la eliminación del contaminante sufrirá una disminución drástica, es decir, bajo o nulo proceso de micoremediación.

La humedad y la calidad del agua son un factor determinante para el desarrollo del hongo, la calidad del agua incide en el hongo de acuerdo a los compuestos que posea y de la tolerancia del hongo hacia estos compuestos, por lo cual, no solo es la disponibilidad del recurso sino también su calidad; la escasa humedad puede atacar la supervivencia de los microorganismos generando un decrecimiento en su población (Alberto Gimeno, 2011).

El potencial de hidrógeno (pH) es un factor de importancia el cual genera las condiciones ideales para el crecimiento o no del hongo, el rango de pH en donde el hongo tiene su campo de acción corresponde entre 3.5 a 6.8 unidades de pH, siendo un pH óptimo de 4.5 a 5.5 para el desarrollo y supervivencia de su población, en general los hongos soportan mejor un medio ácido (Gimeno, 2002).

Los nutrientes son esenciales para el óptimo crecimiento del hongo, están relacionados directamente con el sustrato (Reyes Ocampo, 2013), no son exigentes nutricionalmente, pues se nutren de los macro y micro nutrientes presentes en el sustrato en el cual se desarrollan, poseen una relación directa entre la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento poblacional (Gimeno, 2002).

El oxígeno es un factor determinante ya que el hongo es aerobio por lo tanto requiere de oxígeno para el desarrollo de su metabolismo, la escasez de oxígeno genera un impacto negativo

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

en el crecimiento del hongo, y la ausencia de oxígeno puede llevar a la muerte de su población (Gimeno, 2002).

Por sus características el hongo tiene la capacidad de ser usado como un biorremediador ambiental ya que puede reducir los metales pesados, su tolerancia a concentraciones de elementos como el Aluminio (Al), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), hacen *A. Niger* una herramienta para la micoremediación (K. Tsekova, 2010) .

Metales Pesados.

Es un grupo de elementos que poseen propiedades metálicas, en estos incluyen los metales de transición, semimetales, lantánidos y actínidos, esos se asocian la densidad, número atómico, peso atómico, propiedades químicas y toxicidad similares.

En el medio ambiente y la salud los metales pesados suelen ser un peligro cada vez mayor generando consecuencias graves, algunos de los metales pesados más comunes son la contaminación por mercurio, cadmio, plomo y cromo. El mercurio posee la propiedad de ser un bioacumulador es decir que cuando este metal se adhiere a la materia orgánica viva este no se separa de ella. Por otro lado en Bogotá la industria de curtido de pieles usa el cromo hexavalente para limpiar las pieles y protegerlas de las bacterias, los residuos generados son enviados directamente a los canales de recolección de aguas lluvias al no ser tratados generan un gran impacto hacia las poblaciones de las aguas abajo del río. (Luis F. Londoño, 2016)

Impactos a la salud: metales como el manganeso, mercurio, plomo y arsénico afectan directamente al sistema nervioso central, mientras que el mercurio, plomo, cadmio, cobre afectan

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

a los riñones, piel e hígado, finalmente el níquel, cadmio, cobre, cromo puede generar dificultades en los huesos y en los dientes. . (Luis F. Londoño, 2016)

Contaminación ambiental: En el medio natural encontramos un equilibrio en cada uno de los ecosistemas puesto que las sustancias toxicas naturales son rápidamente asimiladas por el entorno, no obstante, la actividad antrópica supera la resiliencia de los ecosistemas, la contaminación por metales pesados en el recurso hídrico, suelo y aire, generar un gran debate por la salud pública a nivel local y global, así mismo, el entorno natural es impactado por la presencia de metales pesados, los seres vivos son bioacumuladores y biomagnificadores los cuales pueden causar un incremento en la concentración de metales en un organismo, los ecosistemas acuáticos son vulnerables especialmente los estuarios debido al arrastre del cauce de los ríos y la posterior deposición en los lechos lacustres siendo afectados las algas, ostras y peces que posteriormente el ser humano consume, se han encontrado la incorporación y retención de metales pesados en alimentos y productos de consumo humano, de allí, la importancia de realizar un seguimiento y control a las actividades que generan esta situación (Yulieth Reyes, 2016)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los años 60's se ha investigado organismos que son potencialmente eficientes en la remediación de metales pesados, estos incluyen las plantas, microorganismos, hongos y algas, más adelante en la década de los 70's Andersen y Lundgren desarrollaron estudios en donde encontraron la producción de enzimas para la oxidación del hierro, por otro lado Friedman y Dugan determinaron la concentración y acumulación de iones metálicos en bacterias, en la década de los 80's se profundizó el mecanismo de acción de las bacterias para transformar o

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

biosorber iones metálicos, desde allí se inició el interés por organismos con el potencial de ofrecen alternativas de remediación ambiental en entornos contaminados (Sandoval, 2006).

Los metales pesados no pueden ser degradados, solo pueden ser transformados, inmovilizados o retirados de un medio, actualmente encontramos que el suelo y el recurso hídricos están siendo contaminados a niveles demasiado altos que los entornos naturales no pueden soportar, de allí surge la necesidad de realizar la remediación ambiental para entornos contaminados por iones de metales pesados; Según Gregory Sandoval (2006) menciona que la biorremediación es un proceso de catálisis biológica en donde se pretende mitigar o eliminar la contaminación ambiental por medio de procesos biológicos involucrando microorganismos tolerantes a diferentes sustancias, el proceso que biosorción sugiere la capacidad de una biomasa viva o muerta de captar iones metálicos, para este proceso se involucra una fase sólida, como las membranas o paredes celulares las cuales funcionan como biosorbentes, y una fase líquida, donde el agua funciona como solvente y contiene los iones metálicos los cuales serán biosorbidos, (sorbato). En la ilustración 3, se puede el proceso de biosorción, bioacumulación y biotransformación (Catherine Soto, 2010).

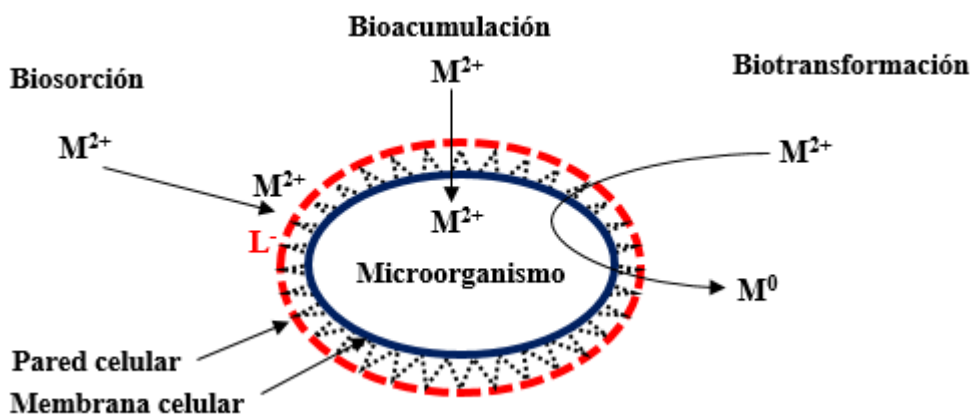


Ilustración 3. Biosorción , información tomada y modificada de Catherine soto, 2010.

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

En el artículo publicado por la revista información tecnológica tuvo como objetivo analizar la capacidad de la remoción del cromo hexavalente Cr (VI) por una cepa del hongo *A. Niger*, en este estudio el hongo se incubo en medio con glucosa y otras fuentes de carbono comerciales , tales como azúcar no refinada o glicerol. Se inocularon 5×10^5 / ml a 100 ml de medio mínimo complementados con 50mg/L de Cr(VI), y se incubaron a 28° C por un periodo de 48 horas, se realizó la separación de las cepas del medio y se procedió a realizar alícuotas de 1 ml para finalmente realizar la medición por medio de espectrofotómetro la concentración de Cr(III) y Cr (VI), cada uno de los experimentos se realizaron tres veces y cada uno con tres muestras para tener una mayor certeza en los datos (Eduardo R. Martínez, 2015).

Se procedió a realizar el experimento usando diferentes pH (4.0, 5.3, y 6.2), y una concentración inicial de 50 mg/L de Cr (VI), además se desarrolló manteniendo una temperatura contante de 28°C y una agitación de 100 rpm, se observó la máxima remoción en las pruebas con pH 5.3 y 6.2, obteniendo una remoción del 100% de la concentración el metal en 6 días (Eduardo R. Martínez, 2015), en la ilustración 4, se observa la remoción del Cr de acuerdo al pH.

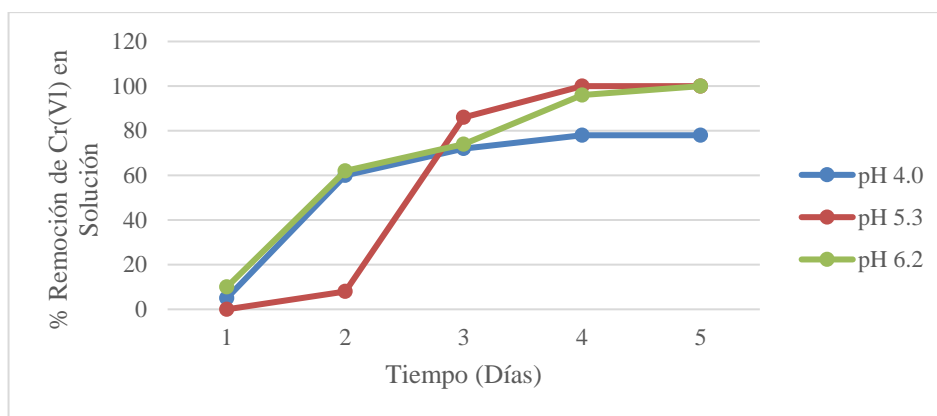


Ilustración 4 . Efecto del pH sobre la remocion del Cr (VI). Informacion tomada de (E. R. Martinez et al, 2015)

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

Martínez et al (2015) analizó la relación entre la concentración del contaminante (Cr VI) y la capacidad de remoción de la biomasa, la biomasa analizada corresponden a 8.3, 11.6 y 17.1 mg para una concentración de 50 mg/l, la capacidad de remoción corresponden a 98.6%, 98.5% y 97.1% respectivamente, como se aprecia en la ilustración 5.

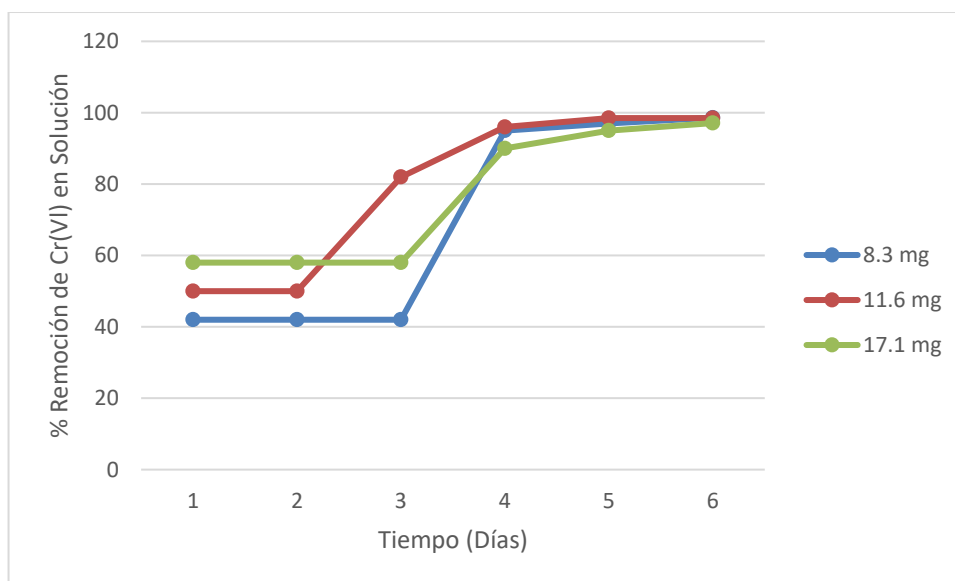


Ilustración 5. Efecto de la concentración de preinoculo sobre la remoción del Cr (VI). Información tomada de (Eduardo R. Martínez, 2015)

La remoción de los iones metálicos al alterar la concentración del cromo, usando 50, 100, 150 y 200 mg/L como concentración a analizar, y con una temperatura constante de 28°C, con una agitación constante a 100 rpm y un pH estabilizado en pH a 6.2, se determinó que a mayor concentración es menor la remoción del metal, variando significativamente con altas concentraciones (Eduardo R. Martínez, 2015), en la ilustración 6 se puede observar la variación del porcentaje de remoción respecto a la concentración.

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

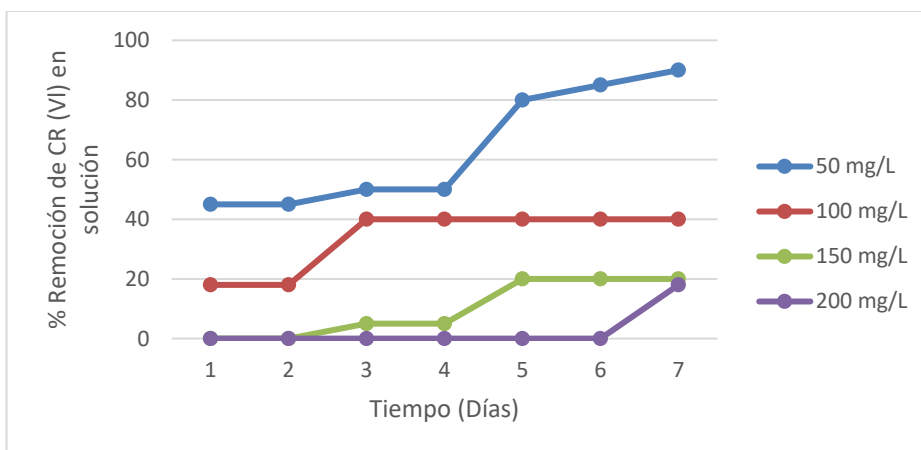


Ilustración 6. Efecto de la concentración de Cr (VI) sobre la remoción del mismo. Información tomada de (Eduardo R. Martínez, 2015)

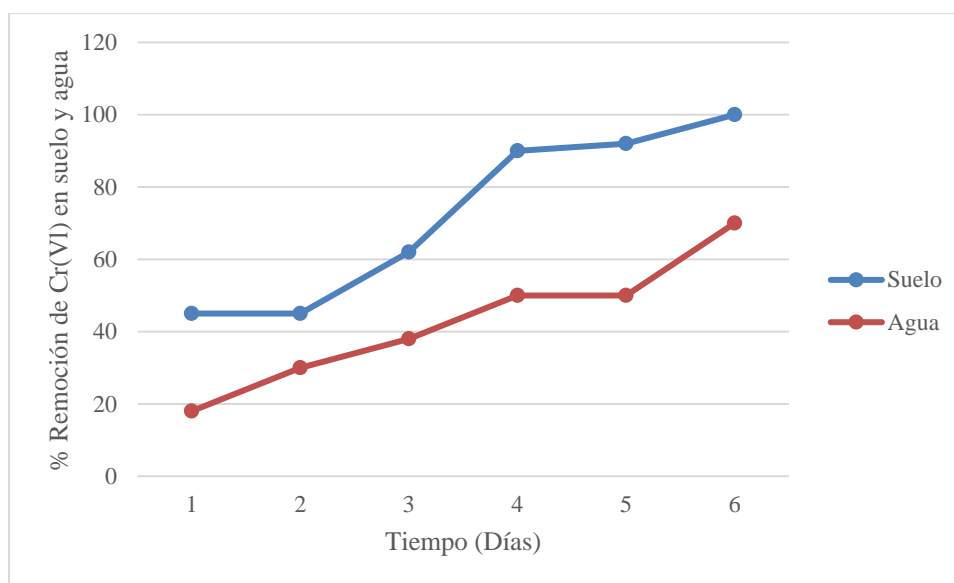


Ilustración 7. Remoción de Cr (VI) en suelo y agua. Información tomada de (Eduardo R. Martínez, 2015)

Finalmente según E. Martínez (2015) en el estudio se realizó el ensayo de biorremediación en el cual se usaron esporas incubadas a 28°C por 48 horas, con una agitación de 100 rpm, luego se agregaron a las muestras de suelo y agua, los dos medios contaminados por 50 mg de Cr (VI), se procedió a una incubación por 6 días obteniendo la remoción en un 100% para suelo en solución y un 70% para agua contaminada, como se observa en la ilustración 7; concluyendo que bajo condiciones de temperatura, pH, concentración y una agitación constante sugieren que el *A. Niger* tiene el potencial para ser aplicado como un proceso de biorremediación

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

en medios contaminados por Cr(VI), así mismo, el estudio demostró que con altas concentraciones del contaminante el hongo pierde eficiencia en la remoción, teniendo en cuenta esta información, en Colombia se debería realizar la caracterización de cuerpos de agua para determinar la concentración de metales pesados y proceder a determinar si el *A. niger* tiene la capacidad de tratar dichos cuerpos de agua.

Del mismo modo, Mohmoud et al (2017) en su artículo publicado en 2017 por la revista *Catrina*, desarrolló un estudio con el título “tolerancia y biosorción de manganeso, hierro y aluminio por cinco especies de *Aspergillus* aislados en agua dulce”, en donde se usaron cinco especies de *Aspergillus* las cuales se aislaron, se incubaron a una temperatura de 28°C, y se determinó la resistencia y crecimiento de cada hongo para diferentes concentraciones de metales tales como Mn, Fe, y Al. Para este caso, se determinó la tolerancia usando el método de la dilución tomando cantidades de 1, 10, 30, 50, 100, 300, 500 y 1000 ppm de iones metálicos, se cultivaron las colonias por un periodo de 7 días, se usaron tres réplicas de cada concentración y una réplica sin metal para contrastar los datos, las muestras se incubaron a 28°C durante un periodo de 7 a 15 días, los efectos de los metales en el crecimiento se estimaron midiendo el radio de la extensión de la colonia (en milímetros) contra la muestra sin metal. Como se observa en la ilustración 8, se presentan las 5 especies de *Aspergillus* y las concentraciones para los metales Mn, Fe y Al, se observó que el *A. Niger* se desarrolló bajo las condiciones de 1 a 1000 ppm de Mn y Al, pero cada vez que la concentración era más alta el crecimiento disminuía, por otro lado, *A. Niger* en la muestra con Fe se desarrolló a concentraciones de 1, 10 y 30 ppm, pero luego al aumentar la concentración a 50, 100 y 300 ppm se observó una disminución considerable del crecimiento del hongo, por otro lado a concentraciones de 500 y 1000 ppm de Fe, no se apreció el crecimiento de las esporas, lo cual indica que, al incrementar la

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

concentración de los metales genera una modificación de la población, disminuyendo la actividad del hongo y su número, además de impactar la capacidad de biosorción.

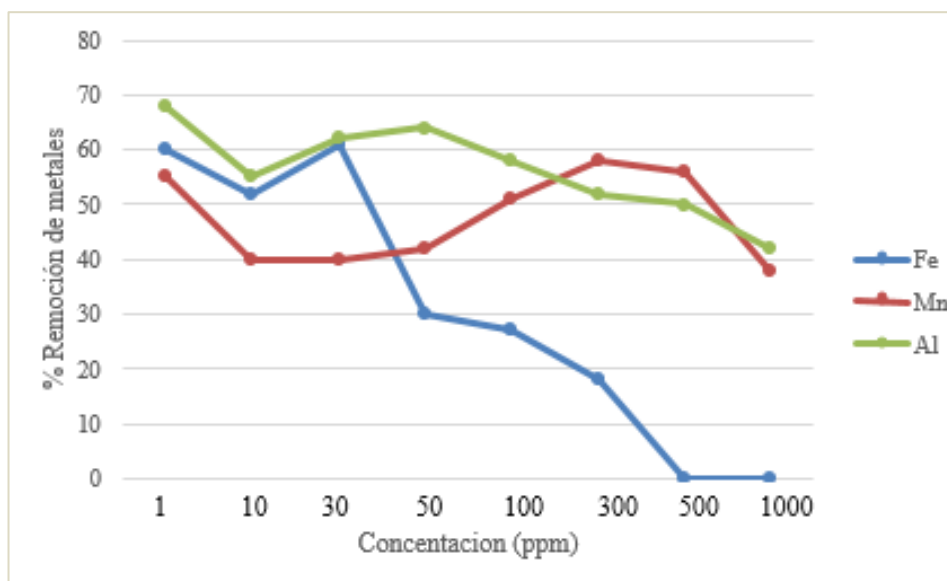


Ilustración 8. Efecto de concentraciones de metales pesados. Información tomada de (A. H. Mahmoud, 2017)

Para determinar el efecto de la concentración de los metales sobre la biomasa por medio de la adsorción, se agregaron 1, 2 y 3 gramos de biomasa, se produjeron alícuotas con concentraciones de 1, 10, 30, 50, 100, 300, 500 y 1000 ppm, se añadió cada muestra a un matraz, por último, los matraces se incubaron durante 60 min y 120 min, para determinar cuál sería la adsorción de la biomasa sobre los metales; se obtuvo que entre mayor sea el tiempo de contacto entre la biomasa y el contaminante mayor será la cantidad de adsorción de esta, finalmente el estudio determinó que el *A. Niger* es un buen candidato para el proceso de biorremediación ya que tiene la posibilidad de realizar biosorción siendo una herramienta para mitigar el impacto ambiental generado por diferentes procesos antrópicos en donde el residuo contiene metales pesados.

En otro estudio se usó la inmovilización de *A. niger* para la eliminación de Torio (Th), la cepa se mantuvo en un subcultivo a una temperatura de 4°C y luego se transfirió a placas de

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

PDA y luego se incrementó la temperatura a 30°C por un tiempo de 4 días, para identificar el proceso de biorremediación se usó imágenes de un microscopio electrónico de barrido para identificar las alteraciones de la estructura de las microesferas contenidas en los conidios, según el análisis encontraron que la estructura interna de la hifas facilito el transporte de oxígeno y nutrientes de la solución, así mismo, los macroporos permitieron la transferencia de iones de metales pesados desde la superficie externa a la red porosa interna, de tal manera que la transferencia de iones genero una disminución en la concentración de los metales pesados en la solución, por otro lado, se observó estructuras en la superficie y en la red porosa de los micelios ya que la estructura permitió la adsorción del Th por sus concavidades, se observó un cambio en la morfología de las muestras al ser comparadas con o sin Th (Hanlin Ding, 2019), en la ilustración 9 se observa que a) corresponde a las hifas en su estado natural, b) imagen de la hifa luego de estar expuesta al Th, c) corresponde al conidio en su estado natural y d) corresponde al conidio con estructuras adsorbidas en su superficie.

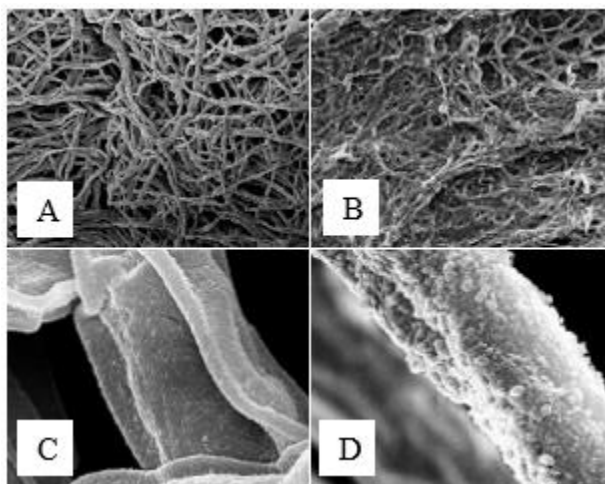


Ilustración 9. imagen microscópica de la estructura de *A. niger*, tomado de (Hanlin Ding et al, 2019).

El estudio determinó que los iones de Th adsorbidos por la cepa de *A. Niger* se distribuyeron uniformemente por la superficie externa del micelio, además de estos cambios, el

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

estudio logro determinar que los grupos funcionales como hidroxilo, carboxilo y amidas también podrían unirse fácilmente con iones metálicos a través de procesos de complejación en una solución acuosa (Hanlin Ding et al, 2019).

Según (Hanlin Ding et al, 2019), la alteración de la estructura del hongo *A. niger* refleja los procesos de biosorción y bioacumulación de iones de metales pesados, así mismo, los grupos funcionales como hidroxilo, carboxilo y amidas también pueden unirse fácilmente con los iones metálicos por medio de procesos de complejación en solución acuosa permitiendo la disminución de la concentración de dichos metales cercanos a un 80% según los factores de crecimiento seleccionados, por otro lado (Mohammad N. Sepehr, 2012) indica que las condiciones óptimas para el crecimiento del hongo corresponden a un pH 5.1, y una temperatura de 30°C, encontró que la remoción de Cr (III) con el uso de *A. Niger* era de 88% pero al adicionar nutrientes la eficiencia tanto en crecimiento y remoción se incrementaban, apoyando los estudios desarrollados por (Eduardo R. Martínez, 2015), pero resalta que la capacidad de absorción puede ser alterada cuando se adicionan nutrientes puesto que la competencia entre sus iones y los iones metálicos luchan por la adsorción en la biomasa.

Por otro lado, (Jose M. Salgado, 2016), determino que la adición de nutrientes como extractos de levaduras y minerales puede potenciar el crecimiento microbiano y la eficiencia de remoción en metales pesados, además del proceso de biorremediación el hongo permitió la producción simultánea de enzimas de interés industrial, tales como lipasas, proteasa y tanasa, según K. Tsekova et al (2010) comparo la remoción de metales pesados encontrados en agua residual y la remoción de iones de metales pesados preparados en solución, determino que el *A. niger* tiene una mayor eficiencia en aguas residuales, además determino que la biosorción de los metales pesados por la biomasa estaba directamente relacionada con el pH que se usara, determino

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

que pH entre 5.5 a 6.5 tendría una mayor capacidad de adsorción por la biomasa, adicionalmente, K. Tsekova et al (2010) observó una tendencia general cuando hay un aumento del porcentaje de remoción con un aumento en el peso del adsorbente (biomasa), ya que al aumentar la biomasa aumenta el número de lugares de unión disponible o área de superficie del hongo para la adsorción de los iones de metales pesados, si bien el estudio determinó una alta eficiencia en remoción de metales pesados (Cd^{2+} - 96.2%, Pb^{2+} - 90%, Fe^{3+} - 90%, Cu^{2+} - 73.5%, Ni^{2+} - 70.9%, Zn^{2+} - 60.9% y Mn^{2+} - 61.5%) la concentración usada para el estudio era baja, por lo cual propuso el tratamiento químico secundario usando carbón activado con el fin de eliminar una mayor cantidad de metales pesados en aguas residuales. (G. Marinho, 2017), menciona que el *A. niger* tiene la capacidad de resistir y crecer en altas concentraciones de arsénico (300mg/L) el cual puede causar cáncer y lesiones cutáneas a la exposición por alimento y aguas contaminadas por este, además G. Marinhon et al (2017) en su estudio determinó que el *A. niger* tiene la capacidad de mitigar el impacto de la atrazina encontrada en herbicidas, determinó que este hongo siendo usado como tratamiento biológico logró disminuir un 46% la contaminación de la atrazina de la muestra de agua.

Finalmente en Colombia el consumo diario del recurso hídrico corresponde a 2.844 millones de $\text{m}^3/\text{año}$, es decir que se consumen $90 \text{ m}^3/\text{s}$ (Superservicios, 2018) , de los cuales a nivel nacional se tratan $28 \text{ m}^3/\text{s}$, por otro lado, en Colombia tan solo el 48.2% de los municipios cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, de los cuales en su mayoría son deficientes, el informe de la superintendencia de servicios públicos domiciliarios concluye que la escasa información del consumo real del recurso hídrico, la deficiente comunicación entre entidades públicas y privadas, y la poca inversión en sistemas de alcantarillados y tratamiento de aguas residual generan un atraso en la sociedad e impactan drásticamente el ambiente.

CONCLUSIONES

Se determino que el hongo *A. Niger* es eficiente para la remoción de metales pesados en aguas residuales, las diferentes cepas del hongo lograron remover por medio de la biosorción, en donde los iones metálicos se adhieren a la superficie o se alojan en las macroporos de los conidios, la bioacumulacion, el ion metalico por medio del intercambio catiónico logra llegar al interior del hongo, o la biotransformación, en donde por medio del metabolismo del hongo los iones metálicos son reducidos, se observo que la eficiencia en la remoción esta directamente relacionada con los factores de crecimiento del hongo y la relación del biosorbente y el sorbato, por lo cual, se establece que las condiciones optimas para el cultivo corresponde a un pH entre 5.5 a 6.5, en este rango de ph la remoción fue mayor, la temperatura ideal se encuentra entre 28°C a 40°C, la disponibilidad de nutrientes es fundamental en el crecimiento del cultivo, pero es posible que los nutrientes generen una disminución en la remoción de los iones metálicos debido a la biosorción, finalmente se determino que las concentraciones demasiado alta de algunos metales pesados generan un impacto sobre el crecimiento del hongo disminuyendo la remoción, por ello se debe realizar pruebas piloto para determinar cuales son los factores de crecimiento ideales, adicionalmente se recomienda el uso de tratamiendos químicos secundarios con el fin de remover el 100% de los metales pesados. Finalmente, se establece que el hongo *A. niger* puede ser considera como un biorremediaron ambiental ante impactos causados por metales pesados, se recomienda para el territorio colombiano realizar una caracterización en cuerpos de agua para determinar si es factible el uso del *A. Niger* según la concetracion de los metales pesados, y se recomienda realizar investigacion con especies de hongos encontradas en nuestro país para determinar si poseen cualidades de biorremediadores como el *A. niger*.

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo incondicional que me brindo, a la universidad militar por la oportunidad de ser parte de esta institución, al grupo de docentes los cuales me brindaron conocimiento y experiencias de vida, y finalmente al grupo de compañeros, los cuales son grandes personas y dejan una huella que perdurara en mi vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. H. Mahmoud, M. S.-M.-Z. (2017). Tolerance and Biosorption of Manganese, Iron and Aluminium by Five *Aspergillus* Species Isolated from Freshwater. *Catrina*, 16 (1), 61-69.
- Alberto Gimeno, M. L. (2011). Micotoxinas y micotoxicosis en animales y humanos. Miami, Estados Unidos: Special nutrients inc.
- Aspergillus.org. (25 de Febrero de 2019). *Aspergillus & Aspergillosis Website*. Obtenido de The Aspergillus Website: <https://www.aspergillus.org.uk/>
- Catherine Soto, S. G. (2010). Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo. *NOVA*, 8(14), 195-205.
- Eduardo R. Martínez, J. F. (2015). Remoción de Cromo (VI) por una Cepa de *Aspergillus niger* resistente a Cromato. *Informacion Tecnologica*, 26 (4), 13-20.
- G. Marinho, B. B. (2017). Potential of the filamentous fungus *Aspergillus niger* AN 400 to degrade Atrazine in wastewaters. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 9(2017) 162-167.
- Garbisu, C. A. (2002). Biorremediación y ecología. *Ecosistemas, Revista científica y tecnica de ecologia y medio ambiente*, 11(3) .
- Gimeno, A. (04 de Mayo de 2002). *Los Hongos y las Micotoxinas en la Alimentación Animal; Conceptos, Problemas, Control y Recomendaciones*. Obtenido de Engormix: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/los-hongos-micotoxinas-alimentacion-t26085.htm>
- Hanlin Ding, X. L. (2019). Alginate-immobilized *Aspergillus niger*: Characterization and biosorption removal of thorium ions from radioactive wastewater. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* , 562 (2019), 186-195.

TEMA CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

- Jose M. Salgado, L. A. (2016). Combined bioremediation and enzyme production by *Aspergillus* sp. in olive mill and winery wastewaters. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 110(2016), 16-23.
- K. Tsekova, D. T. (2010). Removal of heavy metals from industrial wastewater by free and immobilized cells of *Aspergillus niger*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(2010), 447- 451.
- Luis F. Londoño, P. T. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2) 145-153.
- Mohammad N. Sepehr, S. N. (2012). Removal of Cr (III) from tanning effluent by *Aspergillus niger* in airlift bioreactor. *Separation and Purification Technology*, 96(2012), 256-262.
- Québec, I. n. (24 de Abril de 2019). *Institut national de santé publique Québec*. Obtenido de Public health expertise and reference centre: <https://www.inspq.qc.ca/en/moulds/fact-sheets/aspergillus-niger>
- Reyes Ocampo, . M.-I. (2013). Un analisis del metabolismo de *Aspergillus niger* creciendo sobre un sustrato solido. *Revista mexicana de ingenieria quimica*, 12 (1), 41-56.
- Sandoval, G. M. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 77-99.
- Superservicios. (2018). *Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2014-2017*. Bogotá D.C: Superintendencia de servicios publicos domiciliarios.
- Yulieth Reyes, I. V. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2), 66-77.