

El papel de los procariotas en la degradación del cianuro

The role of prokaryotes in cyanide degradation

Andrea Aguilar-Hernández

ag378261@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8012-178X>

Sylvia Martínez-Hernández

sylvia_martinez10436@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3313-4318>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Recibido: 15 de octubre de 2021

Aceptado: 4 de noviembre de 2021

Publicado: 5 de enero de 2022

Foto de Fondo creado por kipargster - www.freepik.es

Resumen

El cianuro es una sustancia tóxica, potencialmente letal, cuya concentración ha incrementado debido a las actividades antropogénicas, lo que genera un impacto negativo en el ecosistema y en la salud de los organismos expuestos. Desde hace un par de décadas se ha utilizado un proceso biotecnológico llamado “biorremediación”, que consiste en aprovechar las capacidades metabólicas de los microorganismos como bacterias y arqueas que degradan o atenúan contaminantes como el cianuro y los compuestos que forma. El presente trabajo tiene como objetivo identificar a las principales especies de bacterias y arqueas con capacidad para degradar el cianuro en sus distintas formas mediante un análisis bibliográfico. Dentro de los microorganismos utilizados para la degradación de cianuro se encuentran *Bacillus* sp., *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, entre otras especies. Con base en el número de especies descritas y sus eficientes tasas de remoción, se determinó que el proceso de biorremediación del cianuro es una alternativa prometedora, además existe una mayor degradación en el proceso aeróbico comparado con el proceso anaeróbico.

Palabras clave: Contaminante, biorremediación, bacterias, arqueas.

Abstract

Cyanide is a potentially lethal toxic substance. Its concentration in the environment has increased due to anthropogenic activities, which have had a negative impact on the ecosystem and on the health of exposed organisms. A biotechnological process called “bioremediation” has been in use for the past two decades. This method takes advantage of the metabolic capacities of microorganisms such as bacteria and archaea that can degrade or attenuate pollutants such as cyanide and the compounds it forms. This bibliographic analysis seeks to identify the main species of bacteria and archaea that are able to degrade cyanide in its different forms. The microorganisms used for cyanide degradation include *Bacillus* sp., *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, among other species. Based on the number of species described and their efficient removal rates, it was determined that the cyanide bioremediation process is a promising method. It is also worth noting that the aerobic process produces greater degradation than the anaerobic process.

Keywords: Contaminant, pollutant, bioremediation, bacteria, archaea.



Suelo contaminado por cianuro. Fotografía: Andrea Aguilar Hernández.

Soluciones y perspectivas

Uno de los contaminantes más venenosos en la actualidad es el cianuro, molécula formada por un átomo de carbono y uno de nitrógeno mediante un enlace triple. Tiene un olor característico de almendras amargas, se considera altamente reactivo y forma parte de compuestos como los grupos de cianuro inorgánico (Gail *et al.*, 2004), que se presentan como cristales o sales. Uno de los más tóxicos es el cianuro de hidrógeno. En el caso de compuestos orgánicos lo podemos encontrar junto con nitrilos, que son formados por procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y de algunas plantas que lo utilizan como una forma de defensa (Zagrobelny y Møller, 2011).

Los compuestos de cianuro son utilizados dentro de la industria textil, la minería y la metalurgia, así como en la fabricación de plásticos, papel y en pesticidas, incluso se ha reportado su uso en armas químicas. Son sumamente venenosos para los seres humanos si se inhalan, se ingieren o si son absorbidos a través de la piel. Cuando el cianuro entra en contacto con las células inhibe las funciones respiratorias, ya que es tóxico para el citocromo oxidasa, con lo cual la célula deja de respirar y muere. Entre los síntomas por envenenamiento de cianuro destacan el cansancio, adormecimiento, dolor de cabeza, pulsación rápida, enrojecimiento de la piel y náuseas. Su exposición prolongada causa vómito, dificultad para respirar, seguida de inconsciencia, paro respiratorio y muerte.

Su presencia en el ambiente es una bomba de tiempo. Simplemente si el cianuro es depositado en el suelo, se disuelve y se desplaza por el movimiento del agua, fenómeno llamado "lixiviación", lo que provoca el envenenamiento de los hábitats de la vida silvestre y las cuencas hidrográficas cercanas a la zona donde se realizan las actividades industriales que lo utilizan. Se ha reportado que las aves son atraídas por el señuelo de los espejos de agua de estanques contaminados, por lo que con frecuencia se exponen al veneno y mueren.

Algunos desechos del cianuro son tratados actualmente por métodos químicos eficientes y con buenos resultados. Sin embargo, son costosos y lamentablemente pueden generar subproductos más tóxicos que los iniciales. En la búsqueda de tecnologías alternativas para degradar el cianuro que no generen subproductos tóxicos y que no dañen más el entorno, se han impulsado investigaciones enfocadas en la biorremediación, para sustituir los métodos convencionales como son la adsorción, la conversión química y el tratamiento electrolítico.



Miñeros preparando perforaciones. Mina "El Espíritu", Zimapán, Hidalgo. Fotografía: Andrea Aguilar Hernández.



Zonas de cultivo afectadas por dispersión aérea del contaminante. Fotografía: Sylvia Martínez Hernández.

Bacterias y arqueas al rescate

La biorremediación es una técnica empleada en áreas contaminadas que hace uso de las capacidades metabólicas de los microorganismos para lograr la recuperación de ambientes contaminados que, además, puede resultar más barata que otras tecnologías (Garzón *et al.*, 2017). Esta estrategia depende de las actividades catabólicas de estos organismos y, por consiguiente, de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de carbono y energía, lo que se logra a través de reacciones enzimáticas (Mekuto *et al.*, 2018). La técnica ofrece múltiples ventajas, ya que puede emplear microorganismos propios del sitio contaminado (nativos) o de otros sitios (exógenos), pudiendo realizarse en el sitio afectado (in situ) o fuera de este (ex situ), en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno). Aunque no todos los contaminantes son susceptibles a la biodegradación, los procesos generales de biorremediación se han aplicado con éxito para tratar suelos, lodos y sedimentos perturbados con contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Una revisión exhaustiva de los estudios realizados en torno a esta técnica muestra que el proceso de biorremediación con microorganismos autóctonos del suelo es un tratamiento eficaz, dado que solamente se debe estimular el crecimiento de los procariontes presentes, lo que resulta más económico que otras técnicas convencionales.

Se han identificado diversos grupos de bacterias capaces de realizar sus actividades metabólicas al aprovechar y capturar el cianuro dispuesto de manera natural en el ambiente, a la vez que se han realizado pruebas para evaluar su desempeño en los sitios afectados por actividades industriales con resultados

Tabla 1. Especies/géneros bacterianos con capacidad de degradar el cianuro (Adjei y Ohta, 1999; Virender *et al.*, 2013; Rodallega, 2015).

Especie	Nativa	Exógena	Modificada genéticamente
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	X		
<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i>		X	X
<i>Pseudomonas putida</i>	X		
<i>Pseudomonas fluorescens DSM 7155</i>	X		
<i>Pseudomonas cereus</i>	X		X
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	X		
<i>Bacillus subtilis</i>	X		
<i>Bacillus pumilus</i>	X		X
<i>Bacillus megaterium</i>	X		
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	X		
<i>Alcaligenes xylosoxidans</i>	X		X
<i>Thiobacillus denitrificans</i>	X		
<i>Enterococcus sp.</i>	X		
<i>Rhodococcus rhodochrus</i>	X		X
<i>Escherichia coli</i>		X	
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	X		
<i>Klebsiella sp.</i>	X		
<i>Burkholderia cepacia</i>	X		
<i>Serratia marcescens</i>	X	X	

prometedores. Las bacterias son organismos procariontes unicelulares sin envoltura nuclear, de vital importancia para el ecosistema. Algunas especies pueden vivir en condiciones extremas, además, se ha demostrado que algunas toleran



Ejemplo de transporte de contaminantes desde los sitios de producción hasta las zonas aledañas. Fotografía: Sylvia Martínez Hernández.


distintas concentraciones de cianuro, ya que no presentan envenenamiento sujeto a la sustancia, debido a que han desarrollado mecanismos de resistencia ante este tóxico, como la síntesis de una enzima llamada “oxidasa” insensible al cianuro. Las bacterias reportadas con esta capacidad se encuentran en la Tabla 1, tanto nativas como exógenas o que han sido modificadas genéticamente, con la finalidad de mejorar su eficacia. Además, las bacterias son capaces de fijar el cianuro dentro de sistemas aeróbicos y anaeróbicos, siendo más favorable el sistema aeróbico al tener un mayor porcentaje de remoción (Calisaya y Castillo, 2020).

Otro grupo capaz de limpiar el cianuro son las arqueas, similares en tamaño y forma a las bacterias, aunque poseen genes y varias rutas metabólicas que son más cercanas a las de los eucariotas. Pueden vivir en muchos hábitats e incluso se ha estimado que podrían formar hasta el 20% de la biomasa de la Tierra. Actualmente, han sido de gran importancia en el campo de la biotecnología. Aún existen pocas investigaciones sobre el papel de las arqueas en la degradación del cianuro, sin embargo, hay algunas especies cuya efectividad en este proceso se ha demostrado, como son las que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Arqueas con la capacidad de degradar cianuro. Tomado de Luque *et al.* (2017).

Especie	Degradación anaerobia	Degradación aerobia
<i>Methanosarcina</i> sp.	X	
<i>Nitrososphaera gargensis</i>		X
<i>Pyrococcus</i> sp. M24D13	X	

A manera de conclusiones

Adicionar microorganismos procariotas al medio con la finalidad de degradar el cianuro se ha convertido en un método biotecnológico muy importante para combatir altas concentraciones de este contaminante y evitar riesgos a la salud y el ambiente. De esta manera, la biorremediación constituye una alternativa eficiente, por ser específica, respecto a los focos en los que se pretende que actúe y puede resultar muy económico a diferencia de los procesos químicos. La eficiencia del proceso aeróbico es mayor que la del proceso anaeróbico; sin embargo, ambos podrían emplearse y generar una respuesta favorable. 

Referencias

- Adjei, M. D. y Ohta, Y. 1999. Isolation and characterization of a cyanide-utilizing *Burkholderia cepacia* strain. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 15: 699-704. <https://doi.org/10.1023/A:1008924032039>
- Calisaya, C. J. y Castillo, C. D. 2020. Aislamiento y capacidad degradadora de cianuro de *Klebsiella* sp. de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Magollo, Tacna - Perú. *Ciencias*, 4: 37-44. DOI: <https://doi.org/10.33326/27066320.2020.4.985>
- Gail, E., Gos, S., Kulzer, R., Lorösch, J., Rubo, A., y Sauer, M. 2004. Cyano Compounds, Inorganic. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 10: 1-35. Recuperado de: https://doi.org/10.1002/14356007.a08_159.pub2
- Garzón, M. J., Rodríguez, M. J. P. y Hernández, G. C. 2017. Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Revista Universidad y Salud*, 19: 309-318. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- Luque, A. V. M., Cabello, P., Sáez, L. P., Olaya-Abril, A., Moreno-Vivián, C. y Roldán, M. D. 2018. Exploring anaerobic environments for cyanide and cyano-derivatives microbial degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102 (3): 1067-1074. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8678-6>
- Mekuto, L., Ntwampe, S. K. O. y Mudumbi, J. B. N. 2018. Microbial communities associated with the co-metabolism of free cyanide and thiocyanate under alkaline conditions. *3 Biotech* 8, 93 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1124-3>
- Rodallega, S. 2015. Aislamiento y caracterización de bacterias capaces de degradar cianuro presentes en tanques de almacenamiento de cianuro en una mina de oro en el municipio de Buenos Aires, Cauca. Tesis de licenciatura. Universidad Icesi, Santiago de Cali. Recuperado de: https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78791/1/rodallega_aislamiento_caracterizacion_2015.pdf
- Virender K., Vijay K. y Tek Chand, B. 2013. In vitro cyanide degradation by *Serratia marcescens* RL2b. *International Journal of Environmental Sciences*, 3 (6): 1969-1979. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1045.9316&rep=rep1&type=pdf>
- Zagrobely, M. y Møller, B. L. 2011. Cyanogenic glucosides in the biological warfare between plants and insects: The Burnet moth-Birdsfoot trefoil model system. *Phytochemistry*, 72: 1585-1592. DOI: 10.1016/j.phytochem.2011.02.023