

¿Conoces a las Cianobacterias Nostoc?

Jani E. Mendoza

Introducción

Quizá alguna vez has visto Nostoc, pero no los conoces por ese nombre. En Perú, se le llama comúnmente como alga, cushuro, llayta, llullucha, murmunta o nostoc. Esta alga, que aparece luego de las lluvias, son en realidad cianobacterias fotosintéticas que habitan tanto aguas dulceacuícolas continentales de flujo lento como en terrenos muy húmedos (Figura 1). Entre sus características morfológicas destacan ser un cuerpo marrón a verde, esférico o laminado, una dimensión de 3 cm de diámetro con un pequeño tallo oscuro organizado en racimo (ver Figura 2).

Las características morfológicas de Nostoc pueden no ser suficientes para hacer una diferenciación a nivel de especie, por lo que la identificación molecular, con base en ADN, se ha vuelto relevante. Para este tipo de identificación se usan marcadores moleculares como, por ejemplo, el gen 16S, comúnmente utilizado en el reino de las bacterias (Corrales Morales et al. 2017). Sin embargo, secuenciar genomas completos han brindado mejor información sobre estos organismos (Corrales Morales et al. 2017, Gagunashvili y Andrésón 2018).



Figura 1. Paisaje en las orillas de la laguna Mishacocha, Chachapoyas, Amazonas, Perú, con Nostoc (franja verde en la orilla) a una altitud de 3,600 msnm.

Para caracterizar molecularmente a *Nostoc* existen dos formas de muestreo: una es acudir al lugar donde crece y recolectarla para extraer su ADN y la otra es recogerla, cultivarla en laboratorio en medios estériles y cuando tenga cepas puras, recoger pequeñas muestras para extraerle su ADN (Corrales Morales et al. 2017). *Nostoc* se encuentra en el ambiente en interacción con otras especies (Figura 2) y tiene una importancia ambiental, social y económica debido a su capacidad para acumular nitrógeno y ser fuente de compuestos de interés biotecnológico y alimentario (Ponce 2014) El objetivo de este trabajo es describir las maneras de identificar *Nostoc*, sus características morfológicas e importancia económica.



Figura 2. *Nostoc* en interacción en la orilla de la laguna Mishacocha, Chachapoyas, Amazonas, Perú, a una altitud de 3,600 msnm.

Etimología y Taxonomía

Aunque la descripción de *Nostoc* se remonta 400 años d.C. en una dinastía Jin oriental, el término fue acuñado por Aureo Phillipis, científico, filósofo y alquimista. Etimológicamente, significa Nasenloch = Orificio nasal (palabra alemana) (Potts 1997). Taxonómicamente, *Nostoc* pertenece al Dominio Bacteria, Filo Cyanobacterias, Clase Cyanophyceae, Orden Nostocales, Familia Nostocaceae, y Género: *Nostoc*. Y las especies principales son *N. calcicola*, *N. commune*, *N. cycadae*, *N. desertorum*, *N. edaphicum*, *N. ellipsosporum*, *N. entophytum* (NCBI 2014) Sin embargo, *Nostoc*, como nombre común, se

refiere a un grupo de géneros, como *Aliinostoc*, *Aulosira*, *Desmonostoc*, *Halotia*, *Isocystis*, *Mojavia*, *Nostoc* y *Trichormus*. En estos géneros hay más de 300 especies descritas. *Nostoc* se caracteriza por su abundancia de células fijadoras de nitrógeno y una doble capa de células de supervivencia. Estos componentes son dos veces más grandes que la célula vegetativa de *Nostoc*.

Biología molecular para su taxonomía

Por complicaciones en la identificación morfológica y las similitudes en sus estructuras, se hacen estudios a nivel molecular utilizando principalmente la secuencia del gen 16S (Gagunashvili y Andrésón 2018, Galhano et al. 2011). Por ejemplo, en la región subtropical de China, un espécimen se describió como una especie del género *Nostoc*, pero cuando se llevó a cabo la extracción de ADN y posteriormente el estudio filogenético con el marcador rSNR 16S, se encontró un patrón único en su secuencia de ADN, que la distinguía de otros géneros. Aunque las células de supervivencia eran muy similares al género *Nostoc*, se describió un nuevo género *Violetonostoc* y una nueva especie *Violetonostoc minutum* (Cai et al. 2020) En la India, por análisis de la secuenciación del gen 16S rRNA y el gen *rbcL* y *rpoC1*, se encontró la nueva especie *Nostoc thermotolerans* (Suradkar et al. 2017). Como en estos ejemplos, hay varios otros estudios donde el uso de marcadores moleculares es esencial para realizar una buena delimitación de especies dentro del género. Los principales segmentos de ADN usados para la identificación de cianobacterias se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Estudios con marcadores moleculares para identificación de Cianobacterias *Nostoc*.

Región amplificada	Secuencia de cebadores, iniciadores o primers (5'-3')	Para identificar	Referencia
ARNr 16S	CYAN106F(CGGACGGGTGAGTAACG CGTGA)	<i>Calothrix</i> sp., <i>Tolypothrix</i> sp., <i>Scytonema</i> sp. y <i>Nostoc</i> sp.	(Corrales Morales et al. 2017)
	CYAN781R(GACTACWGGGGTATCT AATCCCWTT)		
rpoC1	rpoC145F (ACTCTGAARCCAGAAATGGA) rpoC1006R(TGCTTACCTTCAATAATG TC)		

STRR	Varios	<i>Nostoc sp.</i> y sus individuos simbióticos	(Rasmussen y Svenning 1998)
RAPD	Varios	<i>Nostoc sp.</i>	(Chakdar y Pabbi 2012)
rRNA 16S, rRNA 16S-23S, ARNr 23S	Varios	<i>Synechococcus</i> , <i>Oscillatoriales</i> , <i>Nostoc sp.</i>	(Koksharova et al. 2013)
ARNr 16S, petH	Varios	Género <i>Nostoc</i> y vecinas	(Arima et al. 2012)
ARNr 16S	27F(AGAGTTTGATCMTGGCTCAG) 1492R(TACGGYTACCTTGTTACGAC TT)	Cyanobacterias y <i>Chlorophyta</i>	(Ozturk et al. 2019)
ARNr 18S	ITS1(TCCGTAGGTGAACCTGCGG) ITS4(TCCTCCGCTTATTGATATGC)	<i>Sp.</i>	
ARNr V4 16S SSU	515F (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA) 806R (GGACTACHVGGGTWTCTAAT)	379 géneros bacterianos	(Aguilar et al. 2019)
V4-V5	515F-Y (GTGYCAATTMGCCGCGGTAA) 926R (CCGYCAATTYMTTTRAGTTT)		
16S rRNA, ERIC, STRR1, HIP	Varios	Clado de los nostórmos	(Shokraei et al. 2019)

Oportunidad y problema

Nostoc tienen una amplia gama de aplicaciones, sea como biocombustible, fuente de pigmentos, carotenoides, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, antioxidantes, compuestos antibióticos, antivirales, contra el cáncer, uso en cosméticos, protectores solares, fuentes de proteínas, fertilizantes, agar, ingredientes alimentarios, fibra de papel, y otros. Hay tantas aplicaciones de estas cianobacterias que hay empresas en todo el mundo que se dedican a su uso y comercialización como recurso (Sharma y Sharma 2017). También, hay tantos usos posibles que existen planes para modificar genéticamente algunas de las especies para producir grandes cantidades de compuestos

de interés comercial, especialmente para uso medicinal, alimentario, cosmético y como combustible (Singh et al. 2017)

En Perú, se ha estudiado *Nostoc sphaericum* (Figura 3) en la laguna de Patoca, provincia de Recuay en Ancash, y la extracción hidrocoloide (que es de importancia medicinal y comercial) se ha realizado con diferentes protocolos, concluyendo en el establecimiento del procedimiento que mejor se adapte a esta especie y el aislamiento de hidrocoloides (Roldán Carbajal 2015). Hay casos en los que debido a la cultura de consumo se ha puesto en riesgo algunas especies, como el caso de *Nostoc flageliforme* en las estepas áridas o semiáridas occidentales y oeste-norte de China, donde se ha consumido como un manjar debido a sus valores herbales durante cientos de años, ya que contiene hasta 23% de proteínas con 19 aminoácidos. Sin embargo, el recurso está siendo sobreexplotado y su población está disminuyendo, mientras que la demanda en el mercado está aumentando. *N. flageliforme* puede soportar un gradiente de temperatura de 95°C, ya que en las zonas donde se produce hay una variación de temperatura muy pronunciada entre estaciones y ha sido ampliamente estudiada tanto en sus características físico-biológicas como químicas (Kunshan 1998).



Figura 3. *Nostoc sphaericum* en racimos en la laguna Mishacocha, Chachapoyas, Amazonas, Perú, a una altitud de 3,600 msnm.

La presencia de cianobacterias puede presentar problemas debido a la producción de cianotoxinas. En Sri Lanka, se aislaron 45 muestras de cianobacterias extraídas de pozos en la zona seca y el estudio buscó individuos productores de toxinas, donde 16 aislados

eran cianobacterias como potenciales productores de microcistina (MC) y dos potencialmente productores de cilindrospermopsina (CYN). Ambas toxinas afectan al hígado del ser humano al ser consumidas (Liyanage et al. 2016). También se tomaron muestras de Nostoc de los mercados locales de Cusco-Perú y se analizaron a través de estudios de identificación de compuestos químicos, y se encontró la presencia de β -N-metilamino-L-alanina (BMAA) que está relacionada con enfermedades neurodegenerativas. Esto es un problema, ya que estacionalmente estos productos son de consumo masivo y pueden estar relacionados con enfermedades como Alzheimer o Parkinson (Johnson et al. 2008).

Conclusiones

Nostoc tiene estructuras complejas y variedad de formas, tamaños y colores, por lo que su identificación morfológica no es suficiente. Últimamente, un complemento requerido es la identificación molecular usando ADN. Nostoc es un grupo de cianobacterias muy versátil y explotado, ya que sus aplicaciones biotecnológicas y alimentarias son muy factibles. El uso de este recurso se ha verificado en países asiáticos donde ya se produce en masa, incluyendo algunos ejemplares genéticamente modificados, mientras que en Perú estas actividades aún no se han desarrollado y solo se consumen estacionalmente y sin conocimiento del daño que pueden ocasionar al ser humano por las toxinas que produce.

Laboratorio de Biología Molecular. Instituto de Investigación para el Desarrollo Sostenible de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. jmendoza@indes-ces.edu.pe

Mendoza JE. 2021. ¿Conoces a las Cianobacterias Nostoc?. Bioagrocencias 14(2): 23-31

Referencias

- Aguilar P, Dorador C, Vila I, Sommaruga R. 2019. Bacterial communities associated with spherical Nostoc macrocolonies. *Frontiers in Microbiology*, 10(MAR), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00483>
- Arima H, Horiguchi N, Takaichi S, Kofuji R, Ishida K-I, Wada K, Sakamoto T. 2012. Molecular genetic and chemotaxonomic characterization of the terrestrial

- cyanobacterium *Nostoc commune* and its neighboring species. *FEMS Microbiology Ecology*, 79(1), 34–45. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01195.x>
- Cai F, Peng X, Li R. 2020. *Violetonostoc minutum* gen. et sp. nov. (nostocales, cyanobacteria) from a rocky substrate in China. *Algae* 35(1), 1–15. <https://doi.org/10.4490/algae.2020.35.3.4>
- Chakdar H, Pabbi S. 2012. Morphological characterization and molecular fingerprinting of *Nostoc* strains by multiplex RAPD. *Microbiology (Russian Federation)*, 81(6), 710–720. <https://doi.org/10.1134/S0026261712060070>
- Corrales Morales M, Villalobos K, Rodríguez Rodríguez A, Muñoz Simón N, Umaña-Castro R. 2017. Identificación y caracterización molecular de cianobacterias tropicales de los géneros *Nostoc*, *Calothrix*, *Tolypothrix* y *Scytonema* (Nostocales: Nostocaceae), con posible potencial biotecnológico. *UNED Research Journal*, 9(2), 280–288. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i2.1710>
- Gagunashvili AN, Andrésón ÓS. 2018. Distinctive characters of *Nostoc* genomes in cyanolichens. *BMC Genomics*, 19(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4743-5>
- Galhano V, de Figueiredo D R, Alves A, Correia A, Pereira M J, Gomes-Laranjo J, Peixoto F. 2011. Morphological, biochemical and molecular characterization of *Anabaena*, *Aphanizomenon* and *Nostoc* strains (Cyanobacteria, Nostocales) isolated from Portuguese freshwater habitats. *Hydrobiologia*, 663(1), 187–203. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0572-5>
- Johnson HE, King SR, Banack SA, Webster C, Callanaupa WJ, Cox PA. 2008. Cyanobacteria (*Nostoc commune*) used as a dietary item in the Peruvian highlands produce the neurotoxic amino acid BMAA. *Journal of Ethnopharmacology*, 118(1), 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.04.008>
- Koksharova OA, Kravzova TR, Lazebnaya IV, Gorelova OA, Baulina OI, Lazebny OE, Fedorenko TA, Lobakova ES. 2013. Molecular identification and ultrastructural and phylogenetic studies of cyanobacteria from association with the white sea hydroid *Dynamena pumila* (L., 1758). *BioMed Research International*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/760681>

- Kunshan G. 1998. Chinese studies on the edible blue-green alga, *Nostoc flagelliforme*: a review. *Journal of Applied Phycology*, 103(3), 239–248. <https://doi.org/10.1023/A>
- Liyanage HM, Magana Arachchi DN, Chandrasekaran NV. 2016. Genetic divergence among toxic and non-toxic cyanobacteria of the dry zone of Sri Lanka. *SpringerPlus*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3680-5>
- Ozturk BY, Asikkutlu B, Akkoz C, Atici T. 2019. Molecular and morphological characterization of several cyanobacteria and chlorophyta species isolated from lakes in turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(8), 635–643. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_8_01
- Ponce E. 2014. Nostoc: Un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. In *Idesia* (Vol. 32, Issue 2, pp. 115–118). <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000200015>
- Potts M. 1997. Etymology of the genus name *Nostoc* (cyanobacteria). *International Journal of Systematic Bacteriology*, 47(2), 584. <https://doi.org/10.1099/00207713-47-2-584>
- Rasmussen U, Svenning MM. 1998. Fingerprinting of Cyanobacteria Based on PCR with Primers Derived from Short and Long Tandemly Repeated Repetitive Sequences. In *applied and environmental microbiology* (Vol. 64, Issue 1). <https://doi.org/10.1128/AEM.64.1.265-272.1998>
- Roldán Carbajal WV. 2015. Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del nostoc (*Nostoc sphaericum* V.) [UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA]. En la Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1823>
- Sharma P, Sharma N. 2017. Industrial and Biotechnological Applications of Algae: A Review. *Advances in Plant Biology*, 1(1), 1–26. <https://openaccesspub.org/japb/article/530>
- Shokraei R, Fahimi H, Blanco S, Nowruzi B. 2019. Genomic Fingerprinting Using Highly Repetitive Sequences to Differentiate Close Cyanobacterial Strains. *Microbial Bioactives*, 2(1). <https://doi.org/10.25163/microbbioacts.21015a2624310119>

- Singh R, Parihar P, Singh M, Bajguz A, Kumar J, Singh S, Singh V P, Prasad S M. 2017. Uncovering potential applications of cyanobacteria and algal metabolites in biology, agriculture and medicine: Current status and future prospects. *Frontiers in Microbiology*, 8(APR), 1–37. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00515>
- Suradkar A, Villanueva C, Gaysina LA, Casamatta DA, Saraf A, Dighe G, Mergu R, Singh P. 2017. *Nostoc thermotolerans* sp. nov., a soil-dwelling species of *Nostoc* (Cyanobacteria). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67(5), 1296–1305. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001800>