

Total metals in *Nostoc* “Cushuro” habitat

Sandra Pagador, MSc.^{1*}, Luz Baltodano, Dra², Ivonne Asencio, Dra³, Sweeney Kahomy García Bartra, Ing⁴

¹ Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología, Universidad César Vallejo, Perú, spagador@ucv.edu.pe

² Vicerrectorado de Investigación, Universidad César Vallejo, Perú, lbaltodano@ucv.edu.pe,

³ Programa de Formación Humanística, Universidad César Vallejo, Perú, iasencio@ucv.edu.pe

⁴ Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad César Vallejo, Perú, sweeneykahomy.garcia@gmail.com

*Corresponding author: spagador@ucv.edu.pe

Abstract – Nostoc sp. is a species with attractive biotechnological potential for the industry, with limitations due to its low natural production. The present study aimed to determine the total dissolved metals in the water bodies where Nostoc "Cushuro" grows, in three high Andean areas of the La Libertad Region: Caserío Urupampa, Laguna Verde Oscorgon and Laguna Cushuro, during the months of November and December 2019. Total metals were determined using the EPA-Method 200.7 Rev. 4.4 method by ICP, finding values below the maximum permissible limit except for phosphorus in the sample from Caserío Urupampa because it is an area with greater exposure to the movement of people and animals, which are a source of organic phosphorus. Nostoc parmeloides, Nostoc sphaericum and Nostoc commune species were found, demonstrating their ability to adapt to different conditions.

Keywords — Total metals, Nostoc, Cushuro, water bodies, habitat..

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Metales totales en hábitat de *Nostoc* “Cushuro”

Sandra Pagador, MSc.^{1*}, Luz Baltodano, Dra², Ivonne Asencio, Dra³, Sweeney Kahomy García Bartra, Ing⁴

¹ Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología, Universidad César Vallejo, Perú, spagador@ucv.edu.pe

² Vicerrectorado de Investigación, Universidad César Vallejo, Perú, lbaltodano@ucv.edu.pe,

³ Programa de Formación Humanística, Universidad César Vallejo, Perú, iasencio@ucv.edu.pe

⁴ Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad César Vallejo, Perú, sweeneykahomy.garcia@gmail.com

*Corresponding author: spagador@ucv.edu.pe

Resumen– *El Nostoc sp. es una especie con potencial biotecnológico atractivo para la industria, con limitaciones por la baja producción natural. El presente estudio tuvo como objetivo determinar los metales totales disueltos en los cuerpos de agua en donde crece Nostoc “Cushuro”, en tres zonas altoandinas de la Región La Libertad: Caserío Urupampa, Laguna Verde Oscorgon y Laguna Cushuro, durante los meses de noviembre y diciembre del 2019. La determinación de metales totales fue mediante el método EPA-Method 200.7 Rev. 4.4 por ICP, encontrando valores por debajo del límite máximo permisible a excepción del fósforo en la muestra del Caserío Urupampa por presentar un área con mayor exposición a la circulación de personas y animales, incorporando materia orgánica adicional, que es fuente de fósforo orgánico. Se encontraron las especies de Nostoc parmelloides, Nostoc sphaericum y Nostoc commune, demostrando su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones.*

Palabras clave: Metales totales, Nostoc, Cushuro, cuerpos de agua, hábitat.

I. INTRODUCCIÓN

Las microalgas tienen un enorme potencial para diferentes aplicaciones industriales, como productos farmacéuticos, neutraceuticos, fertilizantes, biopolímeros, pinturas, cosméticos e incluido la captura de CO₂ y tratamiento de aguas residuales, así también como fuente de energía [1].

Nostoc es un género de cianobacterias que crecen a las orillas de lagos, lagunas, ríos, arroyos, manantiales, charcos, así como en suelos impregnados con carbonatos y ocanales de la Cordillera Andina en época de lluvia, formando colonias laminares globosas o esféricas, según la especie, de consistencia gelatinosa en ambientes húmedos [2]. Así también se desarrolla en ecosistemas con cloruro de calcio, sulfatos de magnesio entre otros [3].

Las especies de microalgas como *Arthrospira sp.* o *Nostoc sp.* se han empleado históricamente como alimento básico y actualmente se emplean en platos tradicionales, así como en alimentos saludables por sus propiedades culinarias, contenido nutricional y compuestos bioactivos de gran valor

[4]. Así mismo se han desarrollado diferentes investigaciones en donde han empleado *Nostoc sp.* para la elaboración de algún producto como carne de pechuga de pollo arrebozado [5], néctar [6], entre otros.

Las cianobacterias son importantes fuentes de metabolitos secundarios, similar a la micosporina, aminoácidos, polisacáridos, pigmentos, escitonemina, antioxidantes y carotenoides, con potencial para ser empleados en productos del cuidado de la piel, como protectores solares, agentes antiarrugas, humectantes o agentes que mejoran la textura [7], tratamiento de lesiones cutáneas [8].

Las algas tienen beneficios para la salud por sus propiedades antiangiogénicas y anticancerígenas de los compuestos bioactivos [9], como por ejemplo, el *Nostoc commune* posee compuestos activos que ejerce un efecto anticolitis, mejorando la lesión de la mucosa intestinal [10], así también *Nostoc sphaeroides Kütz* disminuye la inflamación intestinal, mejora la integridad de la barrera y microbiota intestinal, conllevando a una disminución de hiperlipidemia en seres vivos [11] y en el sector agrícola actúa como bioestimulante y biofertilizante por el contenido de metabolitos, minerales y fitohormonas [12], como también para restaurar suelos [13] y fijar nitrógeno por la capacidad de establecer asociaciones simbióticas, facilitando el crecimiento de las plantas en condiciones de deficiencia de nitrógeno [14]. Así mismo *Nostoc sp.* son algas que acumulan y absorben Cd (II), Cr(VI) y Pb(II), siendo una biorremediación económica además de ecoamigable [15,16].

Las especies de *Nostoc sp.* difieren en diversidad y composición según la zona en donde se desarrollan, además de ser punto crítico para el ciclo del nitrógeno y hábitat para bacterias en lagos y arroyos [17], demostrando una capacidad para la adaptación a estadios de congelamiento, desecación, descongelamiento e hidratación, como también poseer una plasticidad fenotípica, capacidad diazotrófica, de sobrevivencia y propagación en zonas altoandinas [18]. Así mismo, las

cianobacterias del género *Nostoc* son productoras de metabolitos bioactivos, tales como péptidos y estructuras similares a estos, que son de especial interés para la industria farmacéutica y para los laboratorios de investigación [19], además de tener un potencial para acumular y absorber Cd(II), Cr(VI) y Pb(II) del medio donde se encuentran, mostrando mayor afinidad al Pb (II) que al Cd(II) y Cr (VI), constituyendo el uso de *Nostoc commune* como una alternativa para biorremediación ecoamigable [15,19].

La presencia de metales a concentraciones traza, como el Cu, Zn y Fe, es importante para distintas actividades biológicas, al contrario de Pb, Cd y Cr que son considerados tóxicos estando a concentraciones muy bajas, favoreciendo la bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica [20], llegando ser fatales para los que están en contacto con ellos, debido a su baja degradación natural, generando enfermedades como el cáncer, gingivitis, aborto espontáneo, pérdida de la memoria, además de otra gran cantidad de impactos nocivos para la salud humana y de otras especies, así como a nivel ambiental [21,22]. Sin embargo, la presencia de metales tóxicos como el Cd, a la vez pueden producir una generación de microalgas variantes que desarrollen estrategias de resistencia, como la detoxificación para minimizar los efectos tóxicos de los metales, permitiendo la supervivencia a esos ambientes contaminados por metales tóxicos [20].

A nivel local e internacional se han realizado numerosas investigaciones sobre la calidad de agua, evaluando la presencia de metales pesados como en las lagunas de Lacsacocha Yanamate, Milpo y Quiulacocha del departamento de Pasco en donde se encontró Cadmio, Arsénico, Zinc, Cobre y Plomo con valores mayores a los límites máximos permisibles [23]; en la bahía interior de Lago Titicaca – Puno, en donde se cuantificó la concentración de metales en los sedimentos superficiales, tales como: Cu, Zn, Pb, Cd, As y Hg, concluyendo que los valores obtenidos no representan riesgo por exposición de metales totales por estar dentro del rango de valor permisible [24]; en la Laguna de las Ilusiones, ubicada en Villahermosa, Tabasco, México, se evaluaron las concentraciones de metales pesados en agua, en donde se encontró Cd, Ni, Cr, Mn, Zn, Al y Pb, por debajo de lo establecido en la Norma NOM-001- Semarnat-1996. y en sedimentos superficiales la concentración de Cd, Ni, Cr, Mn, Zn, Pb y Al, los que sobrepasan los criterios establecidos en las normas canadienses y estadounidenses, considerándose una laguna contaminada por descargas ilícitas de aguas negras procedentes de las viviendas cercanas, desechos de hospitales y

por la infiltración de otras lagunas contaminadas [25], así también en la Laguna de Bustillos se realizó cuantificación de metales pesados como Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Zn, Co, Cu, Pb y Sr, resultando que los valores estaban dentro del límite permisible y no constituye un peligro para el ecosistema [26]; en las aguas superficiales del río Jauru – Brasil, para cuantificar metales (Ni, Cd, Cu, Mn y Pb) mediante espectrometría de absorción atómica de llama, en donde el valor de cobre estaba por encima de lo permitido, debido a la estructura geológica del suelo, sin embargo, los demás metales cuantificados mostraron concentraciones por debajo del límite permitido, por lo que no existe un riesgo de contaminación ambiental [27].

De acuerdo a lo antes mencionado, el género *Nostoc* presenta potencial para la aplicación biotecnológica en nutrición humana, biomedicina, biofertilización y producción comercial de biocombustibles, pero su producción a gran escala se encuentra limitada [28], por ello la importancia de conocer su hábitat con la finalidad de evaluar el desarrollo de la biomasa para una producción a mayor escala, se convierte en desafío muy importante y al no contar con estudios realizados en la zona altoandina de la región La Libertad en donde se desarrolla naturalmente el género *Nostoc* sp., es necesario conocer las características de su hábitat, como por ejemplo el contenido de metales pesados. Es por ello que el objetivo del presente estudio fue determinar los metales totales disueltos en los cuerpos de agua en donde crece *Nostoc* “Cushuro”, tomando muestras durante los meses de noviembre y diciembre del 2019, en tres zonas altoandinas de la Región La Libertad: Caserío Urupampa, Laguna Verde Oscorgon y Laguna Cushuro.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar de estudio se encuentra localizado en la zona altoandina de la Región La Libertad, de donde se obtuvieron muestras en tres zonas: Caserío Urupampa, ubicado en el Sector Eracra – Provincia de Julcán, con coordenadas UTM N: 9104495.56 m, E: 790698.73 m y una altitud de 3702 m.s.n.m.; Laguna Verde Oscorgon – Provincia de Sánchez Carrión, ubicada en las coordenadas UTM N: 9124903.34 m, E: 825220.94 m y una altitud de 3926 m.s.n.m.; y Laguna Cushuro, - Provincia de Sánchez Carrión, con coordenadas UTM N: 9123621.00 m, E: 829779.00 m y una altitud de 3962 m.s.n.m. (Figura 1), obtenido del software ArcGis 18.0.

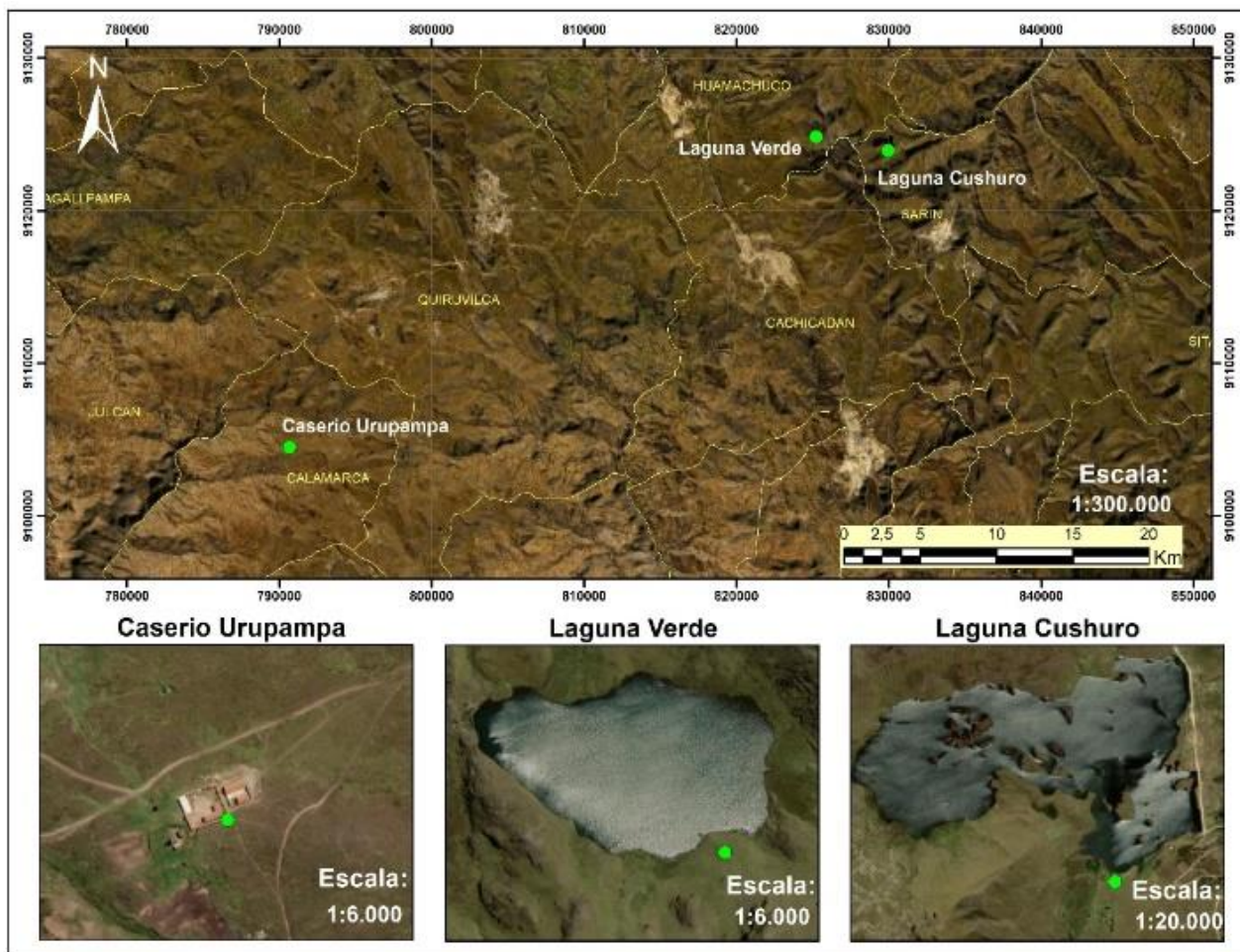


Figura. 1 Mapa de ubicación de las zonas de intervención.
 Note Software ArcGis 18.0

La recolección de las muestras se realizó del 23 de noviembre al 7 de diciembre de 2019, extrayendo de los cuerpos de agua en donde crece *Nostoc* “Cushuro”, 200 ml de volumen de agua en frascos de plástico estériles, tomadas superficialmente a una profundidad aproximada de 10 a 15 cm, siendo transportadas en cooler con material preservante hasta el laboratorio de análisis. La determinación de metales disueltos totales fue realizada mediante el método EPA-Method 200.7 Rev. 4.4 por ICP#, que consiste en tomar una alícuota de la muestra acuosa homogenizada, acondicionarla solubilizando la muestra en ácido nítrico y clorhídrico para luego diluir a un volumen predeterminado y mezclado antes del análisis, la determinación se realizó por Espectroscopía Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP).

Los resultados obtenidos fueron cotejados con los estándares de calidad ambiental para agua del Ministerio del Ambiente y revisiones de artículos científicos

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se observa el resultado del análisis de metales totales de las muestras tomadas, en donde los valores están por debajo de los estándares de calidad ambiental (ECA) [29] a excepción del fósforo encontrado en el Caserío de Urupampa (0.05 mg/l). En dicho lugar, se observó reducción de volumen del cúmulo de agua temporal donde se desarrollaba el alga, convirtiéndose en un área de mayor exposición al tránsito de personas y animales, generando contaminación con materia orgánica, la cual constituye fuente y sumidero de fósforo orgánico [30].

TABLA 1
CONTENIDO DE METALES TOTALES EN LAS MUESTRAS DE AGUA EN LAS
ZONAS DE INTERVENCIÓN

Metales pesados	Caserío de Urupampa – Julcan	Laguna Verde Oscorgon	Laguna Cushuro	LMP ECAS Nacional *
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Arsénico (As)	<0.005	0.005	<0.005	0.15
Bario (Ba)	0.043	<0.003	0.003	0.7
Cadmio (Cd)	0.0002	<0.0001	<0.0001	0.00025
Cobre (Cu)	<0.002	<0.002	0.002	0.1
Mercurio (Hg)	<0.001	<0.001	<0.001	0.0001
Níquel (Ni)	<0.0006	0.0006	0.0008	0.052
Fósforo (P)	0.05	0.03	0.03	0.035
Plomo (Pb)	<0.002	<0.002	<0.002	0.0025
Selenio (Se)	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Talio (Tl)	<0.002	<0.002	<0.002	0.0008
Zinc (Zn)	0.003	0.005	0.007	0.12

*Límite máximo permisible (LMP), según los estándares de calidad ambiental (ECA) [29]

Las concentraciones trazas encontradas de Cu (<0.002) y Zn (0.007), corroboran lo descrito por Cortés *et al.* [20], quienes afirman que la presencia de estos metales es importante para la actividad biológica de las algas, así como la presencia de Cd que permite la generación de microalgas con funciones de detoxificación, evidenciándose desarrollo de género *Nostoc* tal como se encontró en las zonas estudiadas. Diferentes especies de *Nostoc*, fueron encontradas, como son: *Nostoc parmelooides*, *Nostoc sphaericum* y *Nostoc commune*, lo que confirma la capacidad de estas especies para la adaptación a las diferentes condiciones [18], además de tener la función de absorber plomo y cadmio [15,19].

IV. CONCLUSIONES

Se determinó el contenido de metales totales disueltos en muestras de cuerpos de agua en donde crece *Nostoc* “Cushuro”, de las zonas altoandinas de la Región La Libertad: Caserío Urupampa, Laguna Verde Oscorgon y Laguna Cushuro, en las que se encontró valores por debajo del límite máximo permisible, lo que demuestra la capacidad de adaptación de la especie, así como la función de detoxificación para minimizar los efectos tóxicos que pueden ocasionar los metales pesados.

Se identificó diferentes especies de *Nostoc*: *Nostoc parmelooides*, *Nostoc sphaericum* y *Nostoc commune* en las zonas intervenidas demostrando su potencial para adaptarse a

diferentes estadios, lo que hace atractivo para replicar su hábitat y desarrollar su biomasa a mayor escala.

Siendo el *Nostoc*, un alga de importancia ambiental, social, económica e industrial, se torna relevante ampliar la investigación respecto al análisis de muestras de las fuentes de agua que alimentan el hábitat donde se desarrolla el *Nostoc* “cushuro”, así como su capacidad de absorción de metales y potencial función como biorremediador.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad César Vallejo, por el financiamiento otorgado al proyecto: “Caracterización de cushuro (*Nostoc commune vauch*) deshidratado para el desarrollo de productos nutritivos”, mediante el Fondo Concursable de Investigación Docente 2019 y a las comunidades visitadas para la recolección de muestras.

REFERENCIAS

- [1] T.E. Devi, R. Parthiban, “Hydrothermal liquefaction of *Nostoc ellipsosporum* biomass grown in municipal wastewater under optimized conditions for bio-oil production”, *Bioresource Technology*, vol. 316, 2020 123943. Doi: [10.1016/j.biortech.2020.123943](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123943)
- [2] A. Aldave, *Algas toda una vida Perú*. Trujillo, Perú: La Libertad, 2015.
- [3] A. Corpus-Gomez, M. Alcántara-Callata, H. Celis-Teodoro, B. Echevarría-Alarcón, J. Paredes-Julca, L. Paucar-Menacho, “Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Hábitat, características fisicoquímicas, composición nutricional, formas de consumo y propiedades medicina”. *Agroindustrial Science*, vol. 11, no 2, pp. 231-238, 2021. doi: [10.17268/agroind.sci.2021.02.13](https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.13)
- [4] J.L. Pérez-Lloréns, “Microalgae: From staple foodstuff to avant-garde cuisine”, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 21 (2020) 100221. Doi: [10.1016/j.ijgfs.2020.100221](https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100221)
- [5] Li Ningning, Li Zhao, ZHAO Shengming, MA Hanjun, ZHANG Wenzhen, KANG Zhuangli, ZHU Mingming, WANG Zhengrong, HE Hongju, “Effect of *Nostoc commune* on Gelation and Rheological Properties of Chicken Breast Meat Batters”, *Food Science*, vol. 42 (2021) 53-59. doi: [10.7506/spkx1002-6630-20191031-348](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20191031-348)
- [6] A. Torres-Maza, C. Yupanqui-Bacilio, V. Castro, E. Aguirre, E. Villanueva, G. Rodríguez, “Comparison of the hydrocolloids *Nostoc commune* and *Nostoc sphaericum*: Drying, spectroscopy, rheology and application in nectar”, *Scientia Agropecuaria*, vol. 11, no 4, pp. 283-289, 2020. Doi: [10.17268/sci.agropecu.2020.04.14](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.14)
- [7] B. Nowruz, G. Sarvari, S. Blanco, “The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites”, *Algal Research*, vol. 49, 2020. 101959. Doi: [10.1016/j.algal.2020.101959](https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101959)
- [8] X. Alvarez, A. Alves, M. P. Ribeiro, M. Lazzari, P. Coutinho, A. Otero, “Biochemical characterization of *Nostoc* sp. exopolysaccharides and evaluation of potential use in wound healing”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 254, 2021. 117303. Doi: [10.1016/j.carbpol.2020.117303](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117303)
- [9] B. Kumar, T. Mathimani, M. Sudhakar, K. Rajendran, A. Nizami, K. Brindhadevi y A. Pugazhendhi, “A state of the art review on the cultivation of algae for energy and other valuable products: Application, challenges,

- and opportunities”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 138, 2021. 110649, doi: [10.1016/j.rser.2020.110649](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110649)
- [10] X. Xu, Ch. Wei, Y. Yang, M. Liu, A. Luo, H. Song, Y. Wang y X. Duan, “Nuevo descubrimiento de principios activos anti-colitis ulcerosa de *Nostoc commune*: p-Hydroxy benzaldehyde”, *Journal of Functional Foods*, vol. 77, 2021. 104327, doi: [10.1016/j.jff.2020.104327](https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104327).
- [11] F. Wei, Y. Liu, C. Bi, S. Chen, Y. Wang, B. Zhang, “*Nostoc sphaeroids* Kütz ameliorates hyperlipidemia and maintains the intestinal barrier and gut microbiota composition of high-fat diet mice”, *Food Science & Nutrition*, vol. 8, issue 5, pp- 2348-2359, 2020. Doi: [10.1002/fsn3.1521](https://doi.org/10.1002/fsn3.1521)
- [12] Y. Pérez-Madruga, I. Lopez-Padron, Y. Reyes-Guerrero, “Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos”, *Cultivos Tropicales*, vol. 41, no 2. ISSN 1819-4087, 2020 [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200009&lng=es&nrm=iso
- [13] B. Roncero-Ramos, J.R. Román, E. Rodríguez-Caballero, et al., “Assessing the influence of soil abiotic and biotic factors on *Nostoc commune* inoculation success”, *Plant Soil* 444, pp. 57–70, 2019. Doi: [10.1007/s11104-019-04239-y](https://doi.org/10.1007/s11104-019-04239-y)
- [14] C. Álvarez, J. Navarro, F. Molina-Heredia, and V. Mariscal, “Endophytic Colonization of Rice (*Oryza sativa* L.) by the Symbiotic Strain *Nostoc punctiforme* PCC 73102”, *International Society for Molecular Plant-Microbe Interactions*, vol. 33, no 8, pp. 1040-1045, 2020. Doi: [10.1094/MPMI-01-20-0015-SC](https://doi.org/10.1094/MPMI-01-20-0015-SC)
- [15] S. Ramírez, J. Medina, & J. Villanueva, (2018), Evaluación de la capacidad acumuladora de Cd(II), Pb(II) y Cr(VI) por colonias de *Nostoc commune* "Murmunta", *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 84, no. 2, 2018 [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000200008&lng=es&tng=es. [Accedido: 10-marzo-2021]
- [16] R.I.A. Ahad, M.B. Syiem, A.N. Rai, “Cd(II) sorption by *Nostoc* sp. JRD1: Kinetic, thermodynamic and isotherm studies”, *Environmental Technology & Innovation*, vol. 21, 2021. 101283. Doi: [10.1016/j.eti.2020.101283](https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101283)
- [17] P. Aguilar, C. Dorador, I. Vila, R. Sommaruga, “Bacterial communities associated with spherical *Nostoc* macrocolonies”, *Frontiers in Microbiology*, 2019. Doi: [10.3389/fmicb.2019.00483](https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00483).
- [18] H. Montoya, J. Fiestas, R. Cruz, R. Quispe, S. Rodríguez, “Comunidades criofílicas de los glaciares del nevado de Allinapac, Andes del sur de Perú, departamento de Puno: variabilidad fenotípica de la cianobacteria *Nostoc commune* (Nostocales, Nostocaceae)”, *Arnaldoa*, vol. 26, no 2, 2019. Doi: [10.22497/arnaldoa.261.26209](https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26209)
- [19] A. Fidor, R. Konkel y H. Mazur-Marzec, “Bioactive Peptides Produced by Cyanobacteria of the Genus *Nostoc*”, *A Review, Marine drugs*, vol. 17 no. 10 pp. 561, 2019. Doi: [10.3390/md17100561](https://doi.org/10.3390/md17100561)
- [20] A. Cortés, S. Sánchez-Fortun y C. Bartolomé, “Mecanismos de resistencia a metales tóxicos (Cd) bajo variaciones abióticas en microalgas”, *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, vol.21, no.1, pp.40-52, 2018. Doi: [10.1016/j.recqb.2017.08.005](https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.08.005)
- [21] S. Pabón, R. Benitez, R. Sarria-Villa y J. Gallo, “Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión”, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 14, no. 27, pp. 9-18, 2020. Doi: [10.31908/19098367.1734](https://doi.org/10.31908/19098367.1734)
- [22] O. Mancila-Villa, B. Anzaldo-Cortes, R. Guevara-Gutiérrez, O. Hernández-Vargas, H. Ortega-Escobar, H. Flores-Magdaleno, A. Can-Chulim, J. Olgún-Lopez, I. Mendoza-Saldivar, E. Sánchez-Bernal, E. Cruz-Crespo y O. Barreto-García, “Metales pesados, arsénico y boro en agua de riego subterránea en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro, Jalisco”, *Agrociencia* vol. 54, no 8, 2020. Doi: [10.47163/agrociencia.v54i8.2298](https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i8.2298).
- [23] M. Baylón, K. Roa, T. Libio, L. Tapia, E. Jara, D. Macedo, A. Salvatierra y A. Dextre, “Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú)”, *Revista Ecología Aplicada*, vol. 17, no 1, 2018. Doi: [10.21704/rea.v17i1.118](https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.118)
- [24] E. Moreno, G. Argota, R. Alfaro, M. Aparicio, S. Atencio y G. Goyzueta, “Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú”, *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 20 no 1, 2018. Doi: [10.18271/ria.2018.326](https://doi.org/10.18271/ria.2018.326)
- [25] C. Flores, E. Del Angel, D. Frías, A. Gómez, “Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 9 no. 2, 2018. Doi: [10.24850/J-TYCA-2018-02-02](https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2018-02-02)
- [26] H. O. Rubio-Arias, P. F. Mejía-Leyva, L. Cortés-Palacios, J. M. Ochoa-Rivero, y C. De La Mora-Orozco, “Metales pesados en sedimentos de la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México y comparación de agua regia y peróxido de hidrógeno como métodos de digestión”, *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, no. 74, pp. 39-47, 2018. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/674/67455945006/index.html>, [Accedido: 11-marzo-2021]
- [27] G. Rodrigues, H. Rodrigues, T. Ferreira, L. Pereira, “Avaliação físico-química e quantificação de metais potencialmente tóxicos em águas superficiais do rio Jauru”, *Revista Internacional de Ciências*, vol. 8, no. 2, pp. 268 – 280, 2018. Doi: [10.12957/ric.2018.34864](https://doi.org/10.12957/ric.2018.34864).
- [28] M. L. Ortiz-Moreno, L. V. Solarte-Murillo, & K. X. Sandoval-Parra, “Análisis de la producción de biomasa de *Nostoc muscorum* en sistema hidropónico”. *Orinoquia*, Vol. 24 no. 1, pp. 23–31, 2020. Doi: [10.22579/20112629.599](https://doi.org/10.22579/20112629.599)
- [29] MINAM, Ministerio del Ambiente, *Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. [En línea]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- [30] Z. Long, Z. Ji, Y. Pei, “Characteristics and distribution of phosphorus in surface sediments of a shallow lake”, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 124 pp. 50-60, 2023. Doi: [10.1016/j.jes.2021.10.012](https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.10.012).