

REBIOL

REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA



Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional de Trujillo



ISSN: 2313-3171(En Línea)

Volumen: 40

Número: 1

Enero - Junio, 2020

REBIOL Y EL PROCESO DE INDEXACIÓN

REBIOL AND THE INDEXING PROCESS

La gran cantidad de investigaciones científicas que se realizan en la actualidad, en las universidades a nivel de pregrado, postgrado; así como en los diversos centros e institutos de investigación públicos y privados, requieren ser mostrados a la comunidad científica, correspondiendo su publicación en revistas científicas como una de las principales formas de difusión del nuevo conocimiento generado.

Una revista científica se puede definir, según La American Library Association (ALA) como una publicación periódica que publica artículos científicos originales y/o información de actualidad sobre investigación y desarrollo acerca de un campo científico determinado (González y Máttar, 2009). Además las normas ISO (International Standardization Organization) consideran que la revista científica es una publicación en serie que trata generalmente de una a más materias específicas y contiene información general o información científica y técnica (Curiel, 2009).

Si nos referimos a una revista indexada podríamos definirla como una publicación periódica de investigación que denota alta calidad y que ha sido listada en alguna base de datos de consulta (Estrada, 2018); teniendo diversas ventajas, como una mayor visibilidad nacional e internacional, promover el prestigio de los autores, así como generar mayor desarrollo científico a nivel local y nacional; en ese sentido, la revista de investigación científica REBIOL y sus editores, estamos comprometidos este proceso, con el incremento para una mayor divulgación de las investigaciones de nuestros docentes, estudiantes; así como de investigadores de otras instituciones locales, nacionales e internacionales de ciencias biológicas y áreas afines.

La revista de investigación científica REBIOL se editó por primera vez en 1964, con el nombre: Revista de la Facultad de Ciencias Biológicas, siendo la primera revista de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo, bajo la dirección del maestro Felipe Ancieta Calderón. Han transcurrido ya 56 años desde su aparición y los diversos directores de la revista, a pesar de las vicisitudes mantuvieron vigente como documento físico 32 volúmenes hasta el año 2012, con diversas investigaciones de los docentes y estudiantes de la facultad, así como, de otras instituciones ininterrumpidamente. A partir del año 2013, empieza la publicación virtual con el volumen 33, siendo un acontecimiento importante en la historia de la revista de nuestra facultad pues se pasa de una publicación escrita a una virtual en un sistema internacional. Actualmente la revista REBIOL es de publicación virtual periódica semestral, cuyo objetivo es ampliar la divulgación y difusión de los trabajos de investigación científica del área de las Ciencias Biológicas a nivel nacional e internacional. Los artículos se publican en español, inglés y portugués. Los artículos son sometidos a un sistema de arbitraje a doble ciego, siendo dos revisores externos especializados en los temas de los artículos enviados. La revista es de acceso abierto y no cobra por publicar los artículos aceptados.

La REBIOL desde el año 2019 cuenta con el DOI (Digital Object Identifier) que es el indicador más usado en la actualidad para identificar los artículos científicos electrónicos, así mismo es el código de barras de la propiedad intelectual (Editor, 2011), por ende los artículos publicados con el DOI pueden ser referenciados y reconocidos a nivel internacional. Además, la revista se encuentra indexada en la base de datos de Latindex Catálogo 2.0, Redib, Google Académico, Cite Factor, Sherpa Romeo entre otros.

La revista al estar indexada en Latindex permite que sus artículos tengan divulgación en América Latina, el Caribe, España y Portugal. También, ofrece información sobre revistas con contenidos iberoamericanistas editadas en cualquier parte del mundo (Latindex, 2020). La revista al someterse a la evaluación para ser indexada en Latindex a través del CONCYTEC ente quien registra e indiza las revistas científicas peruanas para su incorporación en el sistema (Concytec, 2020), obtuvo como resultado de la evaluación el cumplimiento total de las 38 características que exige el sistema.

Por tal motivo, todos los que formamos parte de la revista, director, editor, comité editorial, comité consultivo nos sentimos felices por este primer logro alcanzado. También, agradecemos al decano el Dr. Freddy Mejía Coico por haber confiado en el equipo, y dar un agradecimiento especial a todos nuestros revisores nacionales e internacionales y a nuestros biólogos investigadores internacionales que publican en la revista, gracias por su valioso trabajo y tiempo que dieron como resultado la indexación de la revista. Sin duda el alcanzar la indexación nos compromete a seguir con la mejora continua por lo tanto la revista REBIOL se proyecta a mediano plazo ingresar a la base de datos Scielo, y posteriormente a ser reconocida en la base de datos SCOPUS.

Gina Zavaleta Espejo
La Editora

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González, M. y Máttar, S. (2009). Impacto de las revistas científicas en los indicadores de la universidad pública. *Rev. MVZ Córdoba* 14(1):1529-1530.
- Curiel, S. (2009). Análisis de la cobertura temática de la revista electrónica "Avanzada Científica". *Revista Avanzada Científica* Vol. 12 No. 2.
- Estrada, M. (2018). Revistas Indexadas las conocemos, ¿Cómo llegamos a ellas? <https://www.infotecarios.com/revistas-indexadas-las-conocemos-llegamos-ellas/#.XyQ6HChKiUk>.
- Editor. (2011). En síntesis, El DOI, Identificador de Objetos Digitales. *Inf. tecnol.* vol.22 no.6. DOI: 10.4067/S0718-50062011000600001.
- Latindex. Consultado el 1 de junio de 2020. <https://www.latindex.org/latindex/descripcion>.
- Concytec. Consultados el 13 de junio del 2020. *Revistas Científicas*. <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/noticias-menu/22-informacion-cti/54-revistas-cientificas>.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.00>

REBIOL

Volumen N° 40, Número 1, Enero - Junio, 2020

EDITORIAL

- Rebiol y el proceso de indexación / **Rebiol and the indexing process**..... 2

ARTÍCULOS ORIGINALES/ORIGINAL PAPERS

- Distinción morfométrica de poblaciones domésticas y silvestres de *Rhodnius ecuadoriensis* de diferentes orígenes geográficos / **Morphometric distinction of domestic and sylvatic populations of *Rhodnius ecuadoriensis* from different geographical origins**..... 5
- *Caesalpinia spinosa*: Efecto protector frente a radiación UV en la lipoperoxidación hepática en ratas y detección de fitoconstituyentes / ***Caesalpinia spinosa*: Protective effect against UV radiation in hepatic lipoperoxidation in rats and detection of phytoconstituents**.. 13
- Producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales / **Bioethanol production from organic plant waste**..... 21
- Efecto de dietas con zeolita natural en el crecimiento y supervivencia del camarón de río *Cryphiops caementarius* / **Effect of diets with natural zeolite on the growth and survival of the river shrimp *Cryphiops caementarius***..... 30
- Efecto del follaje de *Ricinus communis* sobre la nodulación radicular de *Meloidogyne* sp. en plantas de tomate / **Effect of *Ricinus communis* foliage on *Meloidogyne* sp. root-galling in tomato plants**..... 39
- Morfometría de frutos y semillas de *Grabowskia boerhaviifolia* “palo negro” / **Morphometry of fruits and seeds of *Grabowskia boerhaviifolia* “black stick”** 46
- Actividad larvívica de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* y *Beauveria bassiana* sobre *Aedes aegypti* / **Larvicidal activity of *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* and *Beauveria bassiana* on *Aedes aegypti*** 53
- Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del Río Monzón, región Huánuco / **Bioaccumulation of heavy metals in three benthic fish species from Monzon river, Huanuco region** 69
- Morfometría de frutos y semillas de *Vallesia glabra* “cuncuno” / **Morphometry of fruits and seeds of *Vallesia glabra* “cuncuno”** 79
- Calidad del agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físicoquímicos en la cuenca del Río Huacamarçanga (La Libertad, Perú) / **Water quality according to benthic macroinvertebrates and physical chemical parameters in the Huacamarçanga river (La Libertad, Perú)** 85

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

- COVID19 – Breve revisión del SARS-CoV-2 / **COVID19 - Brief review of SARS-CoV-2** ... 99
- Plantas utilizadas en medicina tradicional para afecciones respiratorias virales / **Plants used in traditional medicine for viral respiratory conditions**..... 109

Foto de la portada: Nombre científico: *Anairetes nigrocristatus* Lugar: matorral montano, localidad Cañón de Sangal Provincia Cajamarca, Departamento de Cajamarca. Foto tomada por Blgo. Irwing S. Saldaña. Instituto de Ciencias Antonio Brack, y Centro de Investigación en Biología Tropical y Conservación – CINBIOTYC.

MORPHOMETRIC DISTINCTION OF DOMESTIC AND SYLVATIC POPULATIONS OF *Rhodnius ecuadoriensis* FROM DIFFERENT GEOGRAPHICAL ORIGINS

DISTINCIÓN MORFOMÉTRICA DE POBLACIONES DOMÉSTICAS Y SILVESTRES DE *Rhodnius ecuadoriensis* DE DIFERENTES ORIGENES GEOGRÁFICOS

JS. Patterson+ F. Abad- Franch +, CA. Cuba Cuba++ & MA. Miles+

+ Pathogen Molecular Biology and Biochemistry Unit. Department of Infectious and Tropical Diseases. London School of Hygiene and Tropical Medicine. London – England.

++ Unidade de Parasitologia Médica e Biologia de Vetores. Faculdade de Medicina - Universidade de Brasília, Brasil.

Autor para correspondencia: cesaracuba@gmail.com

Recibido: 5 de abril, 2020. Aceptado: 19 de mayo, 2020

ABSTRACT

Rhodnius ecuadoriensis (Hemiptera, Reduviidae) is an important vector of both *Trypanosoma* hemoflagellates, *Trypanosoma cruzi* and *Trypanosoma rangeli*, in Ecuador and Peru. Ecotopes of sylvatic and domestic/peridomestic habitats have been reported in Ecuador. Meanwhile in Peru, to the best of our knowledge, findings of sylvatic populations in their different ecosystem regions have not yet been documented. Could this be the product of a lack of appropriate studies on wild populations of triatominae in Peruvian environments? In order to elucidate this topic, we take advantage of new insights in geometric morphometry as a tool to help differentiate between wild populations and the corresponding domestic/peridomestic ones, collected in their respective environments. When analyzing our results, we confirmed the efficacy of this technique in our study, and furthermore, we believe that it could be a proper tool for rangelirosis and Chagas disease vector control surveillance in Ecuador and Peru.

Keywords: Morphometric geometry, sylvatic, domestic/peridomestic populations distinction, *Rhodnius ecuadoriensis*.

RESUMEN

Rhodnius ecuadoriensis (Hemiptera, Reduviidae) es un importante vector de los tripanosomas *Trypanosoma cruzi* y *Trypanosoma rangeli* en el Ecuador y Perú. Se han reportado ecotopos de hábitats silvestres y domésticos/peridomésticos en Ecuador. Sin embargo, en Perú, hasta donde sabemos, no se ha documentado hallazgos de dichas poblaciones silvestres. ¿Podría este ser el caso de una falta de estudios focalizados en la búsqueda de poblaciones silvestres de triatominos dentro de los diferentes ecosistemas del Perú? Para elucidar este tema, aplicamos nuevas perspectivas en morfometría geométrica, como una herramienta que podría auxiliar en la diferenciación de poblaciones silvestres de aquellas domésticas/peridomésticas, colectadas en sus respectivos ambientes naturales. Al analizar nuestros resultados, se confirmó la utilidad de esta técnica dentro de nuestro estudio, y esto nos llevó a creer asimismo que serviría como un elemento apropiado en el control vectorial de la enfermedad de Chagas y de la rangelirosis, en Ecuador y Perú.

Palabras claves: Geometría morfométrica, silvestre, diferenciación de poblaciones domesticas/peridomesticas, *Rhodnius ecuadoriensis*.

1. INTRODUCTION

Rhodnius ecuadoriensis (Lent y Leon, 1958) is a significant vector of Chagas disease in the Western side of the Andes of Central - Southern Ecuador. In Peru, this insect is the vector of *Trypanosoma rangeli*, even though its role on the epidemiology of Trypanosomiasis americana has not yet been defined (Cuba Cuba et al., 2002). Sylvatic populations breed in *Phytelephas aequatorialis* palm trees in subtropical valleys of Pichincha, Ecuador (Abad Franch et al., 2001). *R. ecuadoriensis* has a natural preference for a dry and xerophytic ecosystem, which is commonly seen in Northern Perú where no palms species are found. The species seems to be exclusively associated with human environments in southern Ecuador and over its entire range in Peru. In a preliminary work, some phenetic differences were recorded between sylvatic and domestic/peridomestic specimens (Abad-Franch, 2000; Patterson et al., 2002). Here we characterize those differences using multivariate statistics of morphometric variable, a technique that is able to discriminate among conspecific bug populations of sylvatic and domestic origin (Dujardin et al., 1997).

2. MATERIAL AND METHODS

A total of 65 adult *R. ecuadoriensis* (classified after Lent y Wygodzinsky, 1979) from four populations were studied: Chicama, Loja/Suyo, El Oro and Manabi (Table 1, and Figures 1 and 2). *Rhodnius pallescens* (15 individuals) was used as an outgroup (here called *pallescens*). Bugs from Peru were collected by Cuba (Cuba et al., 2003), in the Cascas valley, Chicama (Figures 2A, 2B).

Seven parameters were considered when measuring the head of each bug (Fig 3, 1 and 3, 2). Data was obtained by using a digital video camera mounted on a light dissection microscope and analysed by isometry-free canonical variate analysis (CVA). Log- transformed datasets were centred by row and submitted to principal component analysis, the first six principal components (PC) were used as input for canonical variate analysis. The first two canonical factors (CV 1 and CV 2) were subsequently used to construct a factorial map. Mahalanobis distances were submitted to an Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean (UPGMA) cluster analysis. A dendrogram was constructed showing the relationships between populations. The JMP and STATA 7 software packages were utilized. Size differences were analyzed by ANOVA, using the mean values of all log -transformed measurements of each bug ("isometric estimator of size").

3. RESULTS

Factorial maps derived from CVA (Figures 4 and 5) detected important differences between the sylvatic population of *R. ecuadoriensis* and those of peridomestic and/or domestic origins. There was also little overlap between domestic/peridomestic bugs from Ecuador and domestic Peruvian specimens from Cascas valley, Chicama (Table 1). However, these three groups showed limited variability among them. The UPGMA dendrogram (Figure 6) also reflects the separation between domestic and sylvatic *R. ecuadoriensis* populations.

The fact that the Chicama group is clustered together with El Oro is probably related to similarities in size (see Figure 7). In fact, the contribution of size (allometric residuals) to CV was important when examined by regression analysis. No differences were recorded between field-collected bugs from Manabi and those from the laboratory colony. Bugs of sylvatic origin were significantly bigger ($p < 0.05$) than synanthropic ones. (Figure 7). In addition, bugs from Loja-Suyo were smaller than those from Chicama and El Oro, which were very similar in size.

Table 1. Populations used in this study

GROUP	ORIGIN	Nº	HABITAT
Chicama	Cascas, Valley, La Libertad, Peru 7°28'S 78°49' W 1626 msol	14	Domestic
Loja	Lucero, Loja, Ecuador 4°15'S79°30'W1500 msol	15	Domestic / Peridomestic
Suyo*	Piura, Perú 4°30 S 80°51'11 msol	1	Domestic / Peridomestic
El Oro	Lourdes, El Oro, Ecuador** 3°40'S 79°39'W876 msol	18	Domestic / Peridomestic
Manabi	Portoviejo, Manabi, Ecuador 1°6'S 80°24'W130 msol	17	Palm Trees
<i>Rhodnius pallescens</i>	Laboratory colony	15	Colombia

*

(See Discussion and Fig 5).

****Some specimens from a colony (Lab. NIRT FIOCRUZ-Rio de Janeiro, Brazil established in 1992 with bugs collected in the same Ecuadorian locality were also used)**

4. CONCLUSIONS AND DISCUSSION

1. Utility of morphometric variables

Isometry-free morphometric analysis can establish clear-cut differences between sylvatic and synanthropic populations of *R. ecuadoriensis*. Thus, metric variables could be used to monitor the origin of re-infestations after residual spraying and it may give clues to explain the domiciliation process of the species. As pointed out, sylvatic triatominae constitute a challenge in vector control transmission (Guhl et al., 2009), so viable control strategies must emphasize the presence of bugs populations in wild ecotopes.

Differences between the Manabi population (sylvatic) and the El Oro-Loja Peru cluster (domestic) were easily detected using this approach. The sensitivity of the morphometric analysis was further demonstrated when a single bug distorted the Cascas, Chicama cluster (Figure 5). When the origin of bugs was checked, it was discovered that this single specimen had actually been collected from Suyo, a Peruvian locality a few km away from the site of capture of the Loja specimen (Lucero, see Figure 2), to which cluster it was assigned by the morphometric analysis. That group was therefore renamed (Loja-Suyo) and the Suyo specimen included in it. However, the largest part of the intraspecific variation detected does not seem to be geographic in nature. The Cascas, Chicama group (Table 1) bugs are most similar to those of El Oro, a distant locality. In general, all the synanthropic populations are similar to each other, and all of them are clearly different from the sylvatic one. These differences are therefore likely to reflect the distinct habitat.

Our results suggest that a baseline set of metric variables including different local populations could be used to investigate the origin of any re-infesting bug (see also Schofield, 2001). Therefore, the use of geometric morphometry could help overcome the influence of size in the analysis (Jaramillo, 2000).

2. Possible isolation of populations

The strong separation between Manabi and the rest of populations might also reflect a certain degree of genetic isolation. In fact, the palm trees that constitute the primary natural habitat do not exist in the arid north of Peru, nor in the Valley of Loja. Only in El Oro, scattered remnants of humid forests with *Phytelephas* palms can be found (cf. Abad-Franch et al, 2001). Together with the present results, this suggests that domestic and peridomestic populations of southern Ecuador and northern Peru (i.e. the epidemiological significant ones) are probably isolated from sylvatic foci associated with *Phytelephas* palms. Consequently, local eradication of those synanthropic populations may be attainable through residual insecticide spraying. Population genetic studies based on molecular approaches will contribute to clarify the relationships between these populations.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

Supported by the ECLAT network. UNDP/ World Bank TDR (grant 970195), CAPES Ministerio de Educação e Cultura, Brasil), the Oficina Nacional de Epidemiología (Instituto Nacional de Salud. Ministerio de Salud Pública, Perú), the University General Hospital of Valencia, Spain and the Cañada-Blanch Foundation, Spain. F. Guhl and J. Jurberg kindly provided colony specimens from their laboratories.

6. REFERENCES

- Abad-Franch, F. 2000. Ecology and genetics of Chagas disease vectors in Ecuador. Implications for the design of control strategies. MPhil-Phd Upgrading Report. London School of Hygiene and Tropical Medicine. University of London, UK. 150 pp.
- Abad-Franch, F., Paucar, C., Carpio, C., Cuba Cuba C., Aguilar, V. y Miles, M. 2001. Biogeography of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) in Ecuador: Implications for the design of control strategies. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz, 96. 611-620.
- Cuba Cuba CA., Abad-Franch, F., Roldan, J., Vargas, F., Pollack, L. y Miles, M. 2002. The Triatomines of Northern Peru, with emphasis on the Ecology and infection by Trypanosomes of *Rhodnius ecuadoriensis* (Triatominae). Memorias do Instituto Oswaldo Cruz 97, 175-183.
- Cuba Cuba C., Vargas, F., Roldan, J. y Ampuero, C. 2003. Domestic *Rhodnius ecuadoriensis* (Hemiptera: Reduviidae) infestation in Northern Peru A comparative trial of detections methods during a six-month follow-up. Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo. São Paulo 45 (85-9092).
- Dujardin, J., Bermudez, H., Casini, C., Schofield, C. y Tibayrenc, M. 1997. Metric differences between sylvatic and domestic *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in Bolivia. Journal of Medical Entomology.34, 544-551.
- Guhl, F., Pinto, N. y Aguilera, G. 2009. Sylvatic triatominae a new challenge in vector control transmission. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz 104 (Suppl. 1): 71-75.
- Jaramillo, N. 2000. Partición en tamaño y forma de los caracteres métricos y su interés en los estudios poblacionales aplicados a los Triatominos. PhD Thesis, University of Antioquia, Medellin, Colombia, 125 pp.
- Lent, H. y León, L. 1958. Um novo *Rhodnius* Stål do Ecuador (Hemiptera, Reduviidae). *Rev Brasil Biol* 18: 181-185.
- Lent, H. y Wygodzinsky, P. 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera: Reduviidae), and their significance as vectors of Chagas disease. Bulletin of the American Museum of Natural History, 163(3), 123-520.
- Patterson, J., Abad-Franch, F., Aguilar, V., Cuba Cuba, C. y Miles, M. 2002. Morphometrics of *Rhodnius ecuadoriensis* (Triatominae) populations: a tool for Chagas disease vector control surveillance in Ecuador and Perú. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene. 96 (4)353-464.
- Schofield, C. 2001. Field testing and evaluation of insecticides for indoor spraying against domestic vectors of Chagas disease. WHO/CDC/WHOPES/GCDPP/2001. 1WHO, Geneva, Switzerland, 53 pp.

FIGURES

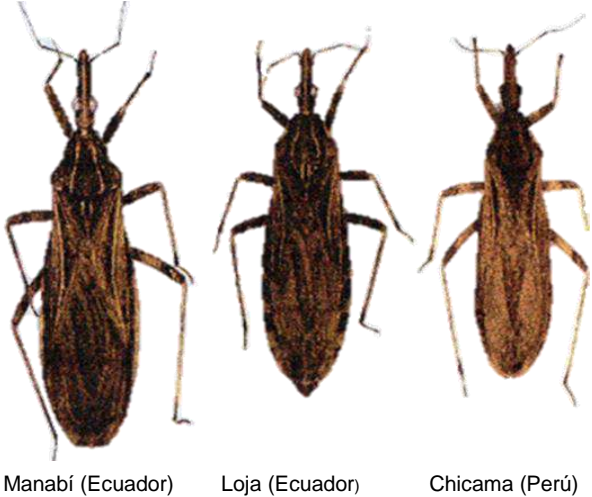


Figure 1. Different *Rhodnius ecuadoriensis* populations



Figure 2. Sites of capture (●) of *Rhodnius ecuadoriensis* populations



Figure 2A. Household infested with *Rhodnius ecuadoriensis* (Lent y León, 1958) - Adult female, below. Presence of eggs and molts inside of Gomez-Nuñez trap. Note the roof built with rice straw material. Cascas valley, Chicama, Peru.

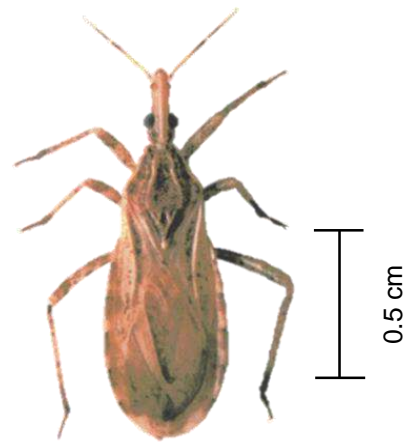
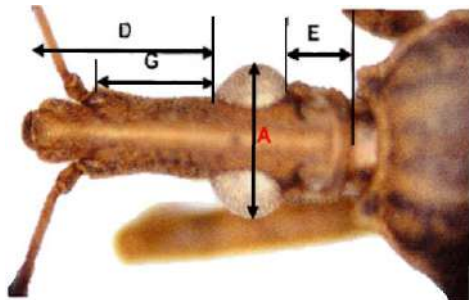
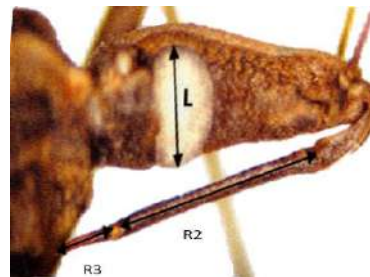


Figure 2B. *Rhodnius ecuadoriensis* individual.



3.1. Dorsal view

- A= Outer distance between eyes
- D= Anteocular distance
- E= Postocular distance
- G= Length of antenniferous tubercle



3.2. Dorsal view

- L= Maximum diameter of the eye
- R2= Length of second rostral segment
- R3= Length of third rostral segment

Figure 3. Dorsal and lateral views of the head indicating morphometric measurements

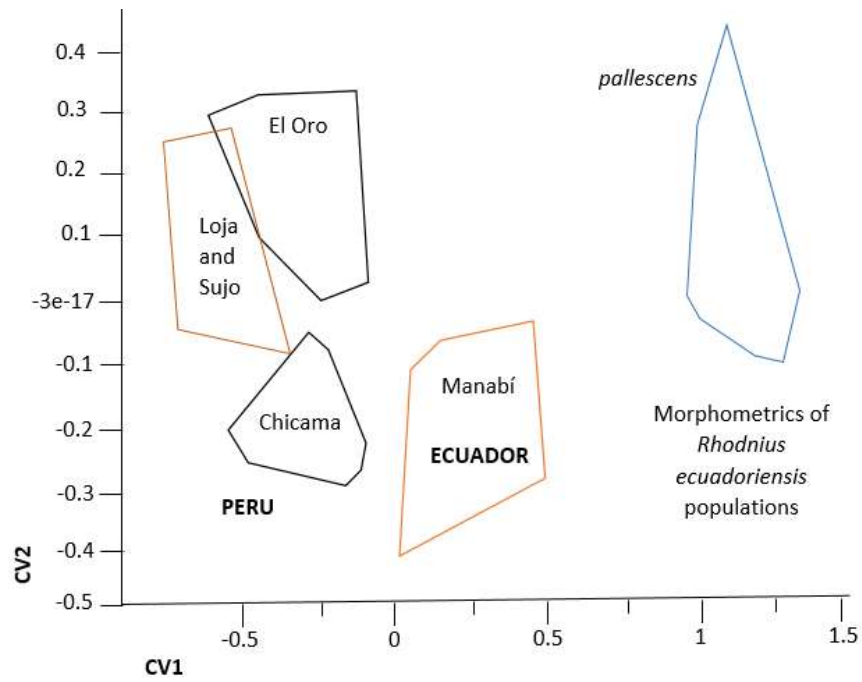
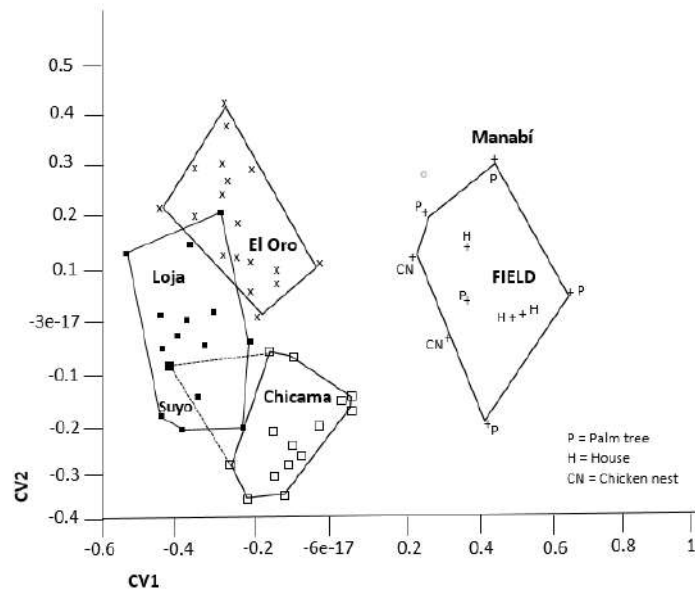


Figure 4. Isometry free - CVA



One *Rhodnius ecuadoriensis* from Peru (■) was closer to the Loja group than to other Peruvian specimens after CVA. The localities where this bug and those from Loja were collected (Suño and Lucero, respectively) are less than 40 km away. No differences were recorded within the Manabí group, regardless of the origin of bugs.

Figure 5. Isometry-free CVA: Individual diagnosis of origin (without outgroup)

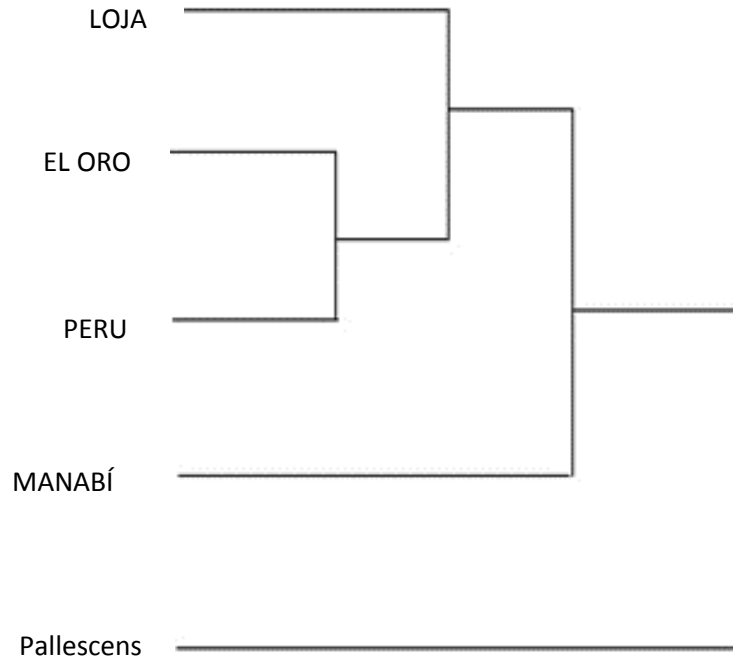


Figure 6. UPGMA dendrogram derived from Mahalanobis distances

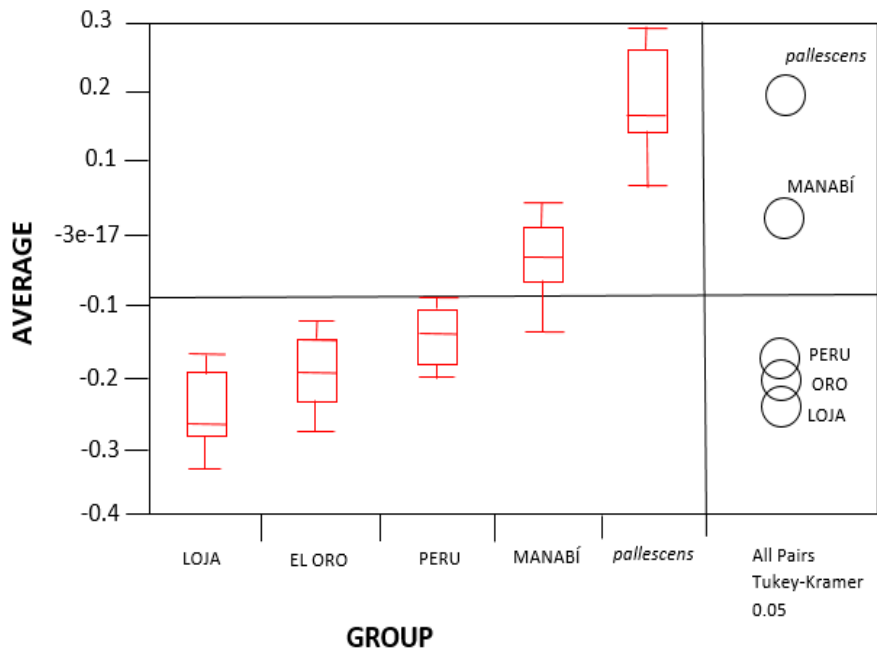


Figure 7. Oneway analysis of size (as the average of log-transformed measurements by individual).

***Caesalpinia spinosa*: EFECTO PROTECTOR FRENTE A RADIACIÓN UV EN LA LIPOPEROXIDACIÓN HEPÁTICA EN RATAS Y DETECCIÓN DE FITOCONSTITUYENTES**

***Caesalpinia spinosa*: PROTECTIVE EFFECT AGAINST UV RADIATION IN HEPATIC LIPOPEROXIDATION IN RATS AND DETECTION OF PHYTOCONSTITUENTS**

Alberto López S¹., Raquel Oré S²†., Cecilia Miranda V².

¹Laboratorio de Genética, Facultad de Ciencias Biológicas. UNMSM, Lima (Perú); ²Centro de Investigación de Bioquímica y Nutrición “Alberto Guzmán Barrón”, Facultad de Medicina Humana, UNMSM, Lima (Perú).

Autor de correspondencia: alopezs@unmsm.edu.pe

Recibido: 20 de abril, 2020. Aceptado: 8 de junio, 2020

RESUMEN

La “tara” es una planta originaria del Perú y que actualmente tiene gran demanda a nivel industrial por sus productos derivados como los taninos y el hidrocoloide. El Perú cuenta con numerosas regiones donde se cultiva este fitorecurso, y en muchas no se ha realizado trabajos bioquímicos ni genéticos que permita caracterizar dichas poblaciones. En el presente trabajo se reporta la presencia de metabolitos secundarios, así como la capacidad protectora de vainas de *Caesalpinia spinosa* (“tara”) procedentes de tres poblaciones naturales provenientes de la Provincia de Tarma (Departamento de Junín, Perú) frente a radiación UV en la lipoperoxidación hepática en ratas. Los metabolitos secundarios encontrados en diferentes cantidades fueron fenoles y taninos (+++). Para determinar el efecto protector frente al daño oxidativo causado por radiación UV, se utilizó extracto acuoso de vainas de “tara” a partir de una concentración de 50 ug/ml, en la reacción del ácido tiobarbitúrico midiendo la formación del malonaldehído (MDA), se encontró una protección a nivel de tejido hepático en ratas por parte del extracto de “tara”, incluso mayor que la vitamina C utilizado como estándar. Estos resultados podrían aprovecharse para incrementar el valor agregado de este recurso, así como colaborar en la caracterización bioquímica del mismo.

Palabras claves: *Caesalpinia*, tara, metabolitos, MDA, lipoperoxidación.

ABSTRACT

The "tara" is a native plant from Peru, and currently it has a great industry demand for its products like tannins and hydrocolloid. Peru has numerous regions where this phyto resource is been cultivated. The results of this evaluation show the presence of secondary metabolites, and the protective effect of *Caesalpinia spinosa* (“tara”) pods from three natural populations at Tarma province (Department of Junin, Peru) against UV radiation inside the liver lipoperoxidation tested in rats. The results show secondary metabolites in different amounts like phenols and tannins (+++). To determined the protective effect against oxidative damage caused by UV radiation, we used aqueous extract of “tara” pods with a concentration of 50 ug/ml, inside of thiobarbituric acid reaction by measuring the formation of malonaldehyde (MDA). Also the results show protection of *C. spinosa* inside the liver tissue tested in rats that was greater than the vitamin C used as standard. These results could be used to increase more scientific value of this Peruvian natural resource,

Keywords: *Caesalpinia*, tara, metabolites, MDA, lipoperoxidation.

1. INTRODUCCIÓN

La “tara”, *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, es una leguminosa originaria del Perú utilizada desde la época prehispánica en la medicina popular, y recientemente tiene una gran demanda en el mercado internacional por los productos derivados que de ella se obtiene. Por la presencia de taninos es usada como materia prima en diversas industrias como la química, de curtientes, tintes, farmacéutica, cerveza, vitivinícola, textil, papelería y otras; del endospermo se obtiene una goma o galactomanano (hidrocoloide) de uso alimenticio, farmacéutico, textil, y cosmetológico (De la Cruz, 2004; Villanueva, 2007). Agapito (1998) refiere que se usa popularmente para faringitis, fiebres, afecciones a la garganta, lavado de heridas y úlceras, y en resfríos. López et al. (1998) refieren que la “tara” contendría taninos, flavonoides y gomas, de allí su uso terapéutico en medicina popular.

En el Perú, la “tara” se encuentra distribuida a lo largo de toda la costa, desde Piura hasta Tacna, y en la sierra en los departamentos de Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Huancavelica, Junín y Pasco (Dostert et al., 2009), encontrándose entre los 1,500 a 3,100 msnm (Rodríguez, 2008). Es un recurso que tiene gran demanda en el mercado internacional, siendo nuestro país el que produce, más del 90% de tara a nivel mundial, y la mayor cantidad proviene de bosques silvestres (Agraria.pe, 2018). Debido a que las poblaciones silvestres son la fuente para sostener y mejorar las poblaciones cultivadas de las especies, es necesario conocer el comportamiento y las características de las mismas, tanto genéticas, bioquímicas y morfológicas que luego nos permitan caracterizar dichas poblaciones silvestres. Existen algunos trabajos que reportan características de poblaciones de “tara” según el lugar de procedencia, así Villena et al. (2019) identifican 7 morfotipos para poblaciones naturales de Cajamarca; Bonilla et al. (2016), reportan características morfométricas del fruto de “tara” de poblaciones de Yauyos y Ayacucho; López et al. (2013) reportan características citogenéticas de poblaciones no cultivadas de “tara” en Junín; Portal (2010) reporta cinco variedades fenotípicas para poblaciones de Ayacucho. Sin embargo, aún falta realizar, más investigaciones de poblaciones naturales según el lugar de procedencia, que nos permitan entender las características del recurso para mejorar la oferta y la producción.

Actualmente existe un creciente interés en la búsqueda de antioxidantes de origen natural, sobre todo provenientes de plantas medicinales o alimenticias (Doroteo et al., 2013). Durante el metabolismo celular se generan especies reactivas de oxígeno (ERO) así como radicales libres que pueden ser dañinos para la célula; cuando hay un desequilibrio entre la generación de ERO y la capacidad de un sistema biológico de desintoxicar rápidamente los reactivos intermedios o reparar el daño oxidativo celular, se dice que hay estrés oxidativo (González et al., 2017). Este estrés oxidativo es responsable de la lipoperoxidación o peroxidación lipídica, por ello en los últimos años se han incrementado los estudios sobre la acción antioxidante de muchas plantas que pueden ayudar a neutralizar las consecuencias de la lipoperoxidación. La exposición prolongada a radiación UV puede causar lesiones epiteliales, daño al ADN, envejecimiento celular y carcinogénesis (Linos et al., 2009). Existen estudios que indican que la radiación UV está relacionada con la generación de especies reactivas de oxígeno, lo que indicaría que la radiación UV activaría procesos de lipoperoxidación a nivel de membrana (Mackerness et al., 2001) Así mismo, hay reportes que indican que las vainas de “tara” tienen un efecto antioxidante (Avilés et al., 2010), sin embargo, faltan aún estudios sobre sus fitoconstituyentes así como corroborar dicha actividad antioxidante.

El departamento de Junín cuenta con poblaciones naturales de “tara”, que pueden ser explotadas de manera racional y sostenible en beneficio de las comunidades locales. Sin embargo, pese a la importancia y ser considerado como un recurso flora con potencialidad para la región (Gobierno Regional de Junín, 2008), aún no hay estudios sobre las propiedades químicas y bioquímicas que puedan ayudar a caracterizar sus poblaciones con fines de selección y mejora de este recurso en la región. Debido a ello, el objetivo del presente trabajo es identificar los fitoconstituyentes presentes en poblaciones naturales de “tara”, provenientes de las localidades de Picoy, Humancocha y Santa Fe de la Provincia de Tarma (Departamento de Junín), así como determinar el efecto protector del extracto acuoso de “tara” sobre la lipoperoxidación hepática en ratas frente a la radiación UV.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAL BOTÁNICO: Las poblaciones muestreadas de “tara”, pertenecen a las localidades de Picoy, (3,000 msnm; Distrito de Acobamba), Tarma (3,100 msnm; Distrito de Tarma) y Santa Fé (2,860 msnm; Distrito de Palca) ubicadas en la provincia de Tarma, perteneciente al Departamento de Junín-Perú. Las vainas recolectadas fueron guardadas en recipientes codificados según la localidad, para transportarlas al laboratorio. Se entregaron muestras al Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para su identificación y certificación (0152-USM-2011).

ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN: Se utilizaron 10 ejemplares machos de *Rattus rattus* var. *albinus* de peso promedio 220 g, de tres meses de edad, en buen estado de salud. De estos ejemplares se extrajo el hígado. Para el sacrificio de los ejemplares se cumplieron con los protocolos y normas éticas internacionales para la investigación con animales.

PREPARACIÓN DEL EXTRACTO ACUOSO: Se colectaron vainas de “tara” procedentes de las tres localidades. Las muestras fueron lavadas y secadas a 40°C durante 48 horas; posteriormente fueron molidas y tamizadas para preparar el extracto acuoso, el cual fue filtrado en gasa y papel Whatman, luego las muestras fueron llevadas a una estufa de aire circulante a 40°C por 5 días; lo recuperado se refrigeró a 4°C hasta su uso.

DETECCIÓN DE METABOLITOS: La detección de metabolitos secundarios se realizó según lo recomendado por Lock (1994) mediante pruebas químicas de caracterización como la reacción de Dragendorff, reacción de Shinoda, prueba de la espuma, reacción del tricloruro férrico, reacción de la gelatina, reacción de Lieberman-Burchard, reacción de la Ninhidrina y reacción de Molish.

EFFECTO REDUCTOR: La capacidad reductora del extracto de “tara” frente al peróxido de hidrógeno se determinó de acuerdo al método de Ruch et al. (1989). Para esta prueba se preparó diluciones del extracto acuoso de “tara” hasta obtener tres concentraciones: Extracto I (10 ug/ml), Extracto II (30 ug/ml), Extracto III (50 ug/ml).

LIPOPEROXIDACIÓN: Se realizó la extracción del hígado, en solución salina, el cuál fue llevado a irradiar a 265 nm por 30 minutos. Posteriormente, se preparó 0,3 ml de homogenizado de hígado al 10% con buffer fosfato de potasio 50 mM, se añade 0,6 ml de ácido tricloro acético (TCA) al 20% y se colocó en ebullición por 10 minutos, dejándose posteriormente enfriar. Luego se añadió 0,9 ml de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25 mM y se llevó a baño maría en ebullición por 30 minutos, para posteriormente dejar enfriar.

Para la prueba se utilizó el extracto acuoso III, del cual se preparó tres concentraciones: i) 8 mg/ml; ii) 4 mg/ml y iii) 2 mg/ml. Como estándar se utilizó vitamina C a una concentración de 8 mg/ml.

El homogenizado se repartió equitativamente en cinco tubos de la siguiente manera:

Tubo 1: Homogenizado de hígado

Tubo 2: Homogenizado de hígado + concentración i del extracto acuoso

Tubo 3: Homogenizado de hígado + concentración ii del extracto acuoso

Tubo 4: Homogenizado de hígado + concentración iii del extracto acuoso

Tubo 5: Homogenizado de hígado + estándar vitamina C

En los tubos 2, 3 y 4 se agregó la concentración de extracto acuoso respectiva hasta completar 0,8 ml; finamente se llevan a leer al espectrofotómetro a 535 nm.

3. RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los metabolitos secundarios encontrados según la marcha fitoquímica de Lock.

Tabla 1. Presencia de metabolitos secundarios en muestras de vainas de tara procedentes de Tarma, Picoy y Santa Fé.

PRUEBA	METABOLITO SECUNDARIO	TARMA	PICOY	SANTA FE
Reacción de Shinoda	Flavonoides	++	++	++
Reacción de Mollish	Glicósidos	++	++	++
Reacción de Tricloruro férrico	Compuestos fenólicos	++	+++	++
Reacción de la Gelatina	Taninos	++	+++	++
Prueba de la Espuma	Saponinas	-	-	-
Reacción de Lieberman-Burchard	Esteroides o terpenoides	-	-	-
Reacción de la Nihindrina	Aminoácidos libres	-	-	-
Reacción de Dragendorff	Alcaloides	-	-	-

Leyenda: (-) negativo, (+) leve, (++) moderada, (+++) abundante.

A partir de los resultados de la marcha fitoquímica, para la prueba de poder reductor se utilizó el extracto acuoso proveniente de la muestra de Picoy, por tener mayor presencia de fenoles y taninos. En dicha prueba de capacidad reductora, se obtuvo que el extracto acuoso I presentó un 13% de reducción del peróxido de hidrógeno, el extracto acuoso II un 12.7% y el extracto acuoso III un 15% tal como se muestra en la figura 1.

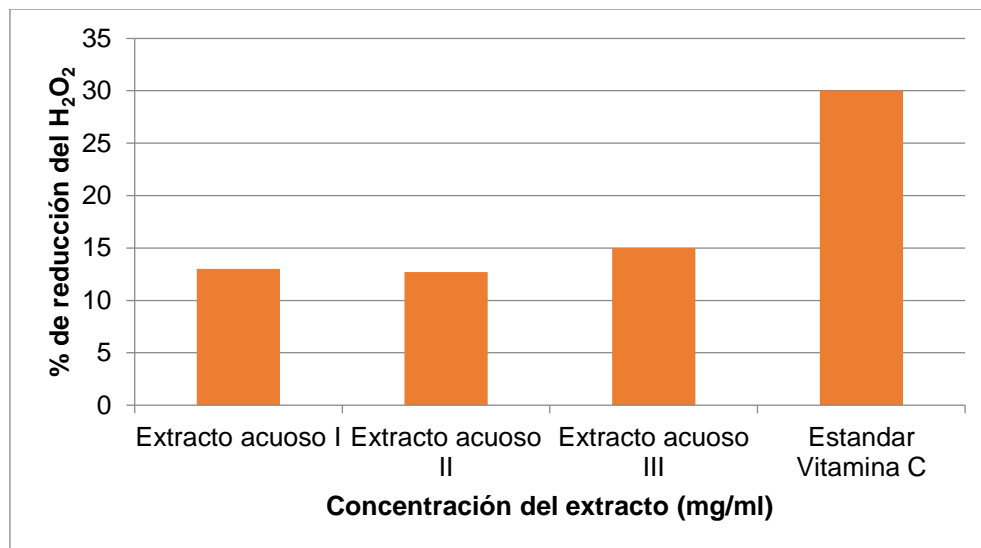


Figura 1. Comparación del porcentaje de reducción del peróxido de hidrógeno por el extracto acuoso de vainas de *Caesalpinia spinosa*. Se utilizó como estándar a la vitamina C.

Para la prueba de la lipoperoxidación se optó por utilizar el extracto acuoso III, debido a que fue el que presentó mayor capacidad reductora del peróxido de hidrógeno. Los resultados de las concentraciones del complejo coloreado MDA-TBARS en mol/L se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones del Complejo MDA-TBARS obtenidas por cada tubo.

Muestra	Complejo MDA-TBARS
Tubo 1	18.24 x 10 ⁻⁴ mol/L
Tubo 2	3.40 x 10 ⁻⁴ mol/L
Tubo 3	3.90 x 10 ⁻⁴ mol/L
Tubo 4	4.60 x 10 ⁻⁴ mol/L
Tubo 5	7.8 x 10 ⁻⁴ mol/L

Tubo 1: Homogenizado de hígado; Tubo 2: Homogenizado de hígado + concentración i del extracto acuoso; Tubo 3: Homogenizado de hígado + concentración ii del extracto acuoso; Tubo 4: Homogenizado de hígado + concentración iii del extracto acuoso; Tubo 5: Homogenizado de hígado + estándar vitamina C.

4. DISCUSIÓN

Los preparados fitoterapéuticos de origen natural están cobrando cada vez mayor importancia para el tratamiento médico, por lo que es necesaria la investigación de los fitoconstituyentes de plantas que se utilizan medicinalmente. La “tara” es una planta que ha sido ampliamente usada en medicina tradicional, y se encuentra en varios departamentos de nuestro país, mostrando buena adaptación a diferentes condiciones ambientales, lo que ha generado biovariedades en los diferentes pisos ecológicos (Guevara et al., 2014). Esta adaptación ha permitido establecer que la “tara” presenta plasticidad fenotípica (Cordero, 2015). El conocimiento e identificación de las cualidades bioquímicas según el lugar de procedencia, permitirá caracterizar dicho fitorecurso. En ese marco se presentan los resultados de la tabla 1, donde se señala que en las tres muestras se han identificado presencia de flavonoides, glucósidos, fenoles y taninos, diferenciándose el de la localidad de Picoy la cuál muestra mayor presencia de fenoles y taninos. Existen trabajos previos donde se reportan presencia de compuestos fenólicos y taninos en “tara” (Callohuari et al., 2017; Huachi et al., 2014), sin embargo no hay aún estudios suficientes acerca de la relación entre las propiedades bioquímicas de la “tara” con su lugar de procedencia. Al respecto, algunos autores señalan que tanto la capacidad antioxidante como el contenido de fenoles en las plantas dependen del microambiente y de factores como área geográfica, la altura y radiación (Soto-Dominguez et al., 2012; Muñoz et al., 2007; Bedascarrasbure et al., 2004). Las diferencias encontradas en nuestros resultados de la marcha fitoquímica entre las tres muestras, referente a los fenoles y taninos, estarían concordantes con ello.

Callohuari et al. (2017) reportan una buena capacidad antioxidante del extracto acuoso de vainas de “tara” procedentes de Tacna; en nuestro caso la muestra de extracto acuoso utilizada fue la procedente de Picoy, donde el extracto III presenta mayor poder reductor. Ello estaría en concordancia con lo obtenido por López et al (2011) quienes al comparar la capacidad antioxidante mediante DPPH entre muestras provenientes de las localidades de Picoy y Santa Fé (Provincia de Tarma), reportan buena capacidad antioxidante de las muestras procedentes de Picoy. La utilización de extracto acuoso es el más recomendable para la caracterización química de plantas medicinales (Calixto, 2006) y además por que en la preparación tradicional se suele utilizar el extracto acuoso y así evitar posibles efectos tóxicos potenciales (Bussmann et al., 2011).

En los últimos años se está incidiendo en las investigaciones acerca de la utilización de derivados o extractos de plantas que puedan contrarrestar los efectos de la radiación UV, ya que las propiedades antioxidantes de muchas de ellas otorgarían un efecto protector contra dicha radiación (Fuentes, 2019; Bae et al., 2010). Así, Vernhes et al., (2013) refieren que el extracto acuoso de la planta *Phyllanthus orbicularis* mostró carácter antioxidante y capacidad protectora frente a radiación UV en ADN plasmídico. Doroteo et al., (2012) utilizan el extracto hidroalcohólico de “tara” en fibroblastos frente a radiación UV catalogándolo como leve; Campos-Ruiz et al., (2013) reportan buen efecto hepato protector del extracto hidroalcohólico del “mangle” sobre la lipoperoxidación en ratas; Castillo et al., (2010) reportan que el extracto etanólico de “sacha inchi” tiene un buen efecto antioxidante en la lipoperoxidación inducida por Fe⁺⁺/ascorbato en hígado de ratas. En nuestro caso, a diferencia de Doroteo et al., (2012), se utilizó extracto acuoso de “tara” el cual nos dió buenos resultados, siendo el tubo 2 (tabla 2) el que menor concentración del complejo MDA-TBARS expresa (3.4×10^{-4} mol/L) y, tal como lo señalan Rodrigo et al., (2011), mayor disminución del complejo marcador de lipoperoxidación indicaría mejor protección antioxidante. A diferencia de los trabajos reportados para “mangle” y “sacha inchi” donde se utiliza extracto alcohólico, el extracto utilizado en nuestra investigación es extracto acuoso de “tara”, el cual ha demostrado tener un buen efecto antioxidante en la lipoperoxidación en hígado frente a radiación UV. Este efecto protector estaría en concordancia con lo mencionado por Carrasco (2009), quien menciona que los fenoles y flavonoides presentes en plantas actúan como absorbedores de radiación UV, previniendo su efecto dañino.

Los resultados obtenidos pueden ayudar a revalorizar y mejorar la oferta de este recurso en la zona; las características antioxidantes de este fitorecurso le brindaría un valor agregado, lo cual según MINAGRI (2017) el darle un valor agregado a la “tara” permitirá a las poblaciones más deprimidas del país tener nuevas oportunidades para mejorar sus ingresos así como una vida más digna.

Así mismo es importante mencionar que, tal como lo recomienda Guevara et al. (2014), se hace necesario evaluar, caracterizar y categorizar las diferentes poblaciones de “tara” que se encuentran en los diferentes pisos ecológicos de nuestro país, ya que corresponderían a diferentes biovariedades. Nuestro trabajo estaría colaborando en ese aspecto.

5. CONCLUSIONES

Se ha identificado flavonoides, glucósidos, compuestos fenólicos y taninos como fitoconstituyentes de vainas de “tara”, procedentes de Tarma, siendo la localidad de Picoy la de mayor presencia de compuestos fenólicos y taninos.

El extracto acuoso de vainas de tara tiene efecto protector antioxidante in vitro, en la lipoperoxidación en hígado de ratas frente a la radiación UV.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Superior de Investigación de la UNMSM por la subvención al proyecto PEM2009B03 del cual deriva la presente publicación. Los coautores quieren además hacer un reconocimiento a la Dra. Raquel Oré con quien se desarrolló el presente trabajo pero que lamentablemente no pudo ver la publicación del mismo por su sensible fallecimiento.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agapito T, Sung I. (1998). Fitomedicina:1100 plantas medicinales. Lima. Ed. Isabel.
- Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias. (2018). Perú produce, más del 90% de la tara a nivel mundial. <https://agraria.pe/noticias/peru-produce-mas-del-90-de-la-tara-a-nivel-mundial-16304>
- Avilés, R., Carrión, J., Huamán, J., Bravo, M.; Rivera, D., Rojas, N., y Santiago J. (2010). Actividad antioxidante, polifenoles totales y contenido de taninos de extractos de tara *Caesalpinia spinosa*. Rev. Per. Quim. Ing. Quim. Vol. 13 (2): 5 – 11.
- Bae, J., Choi, J., Kang, S., Lee, Y., Park, J., y Kang, Y. (2010). Dietary compound ellagic acid alleviates skin wrinkle and inflammation induced by UV-B irradiation. Exp. Dermatol. 19 (8): 182-190.
- Bedascarrasbure, E., Maldonado, L., Alvarez, A., y Rodriguez, E. (2004). Contenido de fenoles y flavonoides del propoleos argentino. Acta Farm. Boanerense 23(3): 369-72.
- Bonilla, H., López, A., Carbajal, Y., y Siles, M. (2016). Análisis de variables morfológicas de frutos de “tara” provenientes de Yauyos y Ayacucho para identificar caracteres agromorfológicos de interés. Scientia Agropecuaria 7(3): 157-164.
- Bussmann, R., Malca, G., Glenn, A., Sharon, D., Nilsen B., Parris, B., Dubose, D., Ruiz, D., Saleda, J., Martínez, M., Carillo L., Walker, K., Kuhlman, A., y Townesmith, A. (2011). Toxicity of medicinal plants used in traditional medicine in Northern Peru. J. Ethnopharmacol. 137 (1):121-140.
- Calixto, M. (2006). Plantas medicinales utilizadas en Odontología (Parte I). Kiru 3 (2): 80-85.
- Callohuari, R., Sandoval, M., y Huamán, O. (2017). Efecto gastroprotector y capacidad antioxidante del extracto acuoso de las vainas de *Caesalpinia spinosa* “tara” en animales de experimentación. An. Fac. med. 78 (1): 61-66.
- Campos-Ruiz, J., y Pretell-Sevillano, O. (2013). Efecto protector del extracto hidroalcohólico de *Rhizophora mangle* sobre la lipoperoxidación hepática en *Rattus rattus* var. *albinus*. Sagasteguiana 1(1):39-44.
- Carrasco, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. Idesia 27 (3): 59-76.
- Castillo, E., Castillo, S., y Reyes, C. (2010). Estudio fitoquímico de *Plukenetia volubilis* L. y su efecto antioxidante en la lipoperoxidación inducida por Fe³⁺/ascorbato en hígado de *Rattus rattus* var. *albinus*. UCV Scientia 2(1): 11-21.
- Cordero, I. (2015). Respuesta ecofisiológica de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) Kuntze a condicionantes abióticos, bióticos y de manejo como referente para la restauración y conservación del bosque de nieblas de Atiquipia (Perú). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Complutense de Madrid. 342 p.
- De la Cruz, P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la tara *Caesalpinia spinosa* - *Caesalpinia tinctoria*. Revista del Instituto de Investigación de la facultad de Ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica. 7 (14): 64-73.
- Doroteo, VH., Díaz, C., Terry, C., y Rojas, R. (2013). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante in vitro de 6 plantas peruanas. Rev. Soc. Quim. Perú 79(1): 13-20.
- Doroteo, VH., Terry, C., Díaz C., Vaisberg, A., y Rojas, R. (2012). Compuestos fenólicos y actividades antioxidante, antielastasa, anticologenasa y fotoprotectora in vitronde *Myrciaria dubia* (camu camu) y *Caesalpinia spinosa* (tara). Rev. Soc. Quim. Perú. 78 (4) 254-263.
- Dostert, N., Roque, J., Brokamp, G., Cano, A., La Torre, M., y Weigend M. (2009). Factsheet: Datos botánicos de Tara. Lima. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Programa Desarrollo Rural Sostenible – PDRS.
- Fuentes, J. (2019). Las plantas como fuente de compuestos fotoprotectores frente al daño en el ADN producido por la radiación ultravioleta. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 43 (168):550-562.
- Gobierno Regional de Junín. Plan de Desarrollo Regional Concertado Junin 2008 – 2015. Junín, (2008). 180 pags.
- González, L., Retana, R., y Roldán, E. (2017). Capacidad antioxidante, lipoperoxidación y calidad seminal de individuos jóvenes clínicamente sanos. Revista Iberoamericana de Ciencias. Vol 4 (4): 63-70.
- Guevara, JM., Guevara, JC., Guevara D, JM., Bejar, V., Huamán, A., Valencia, E., y Abanto, P. (2014). Evaluación del conocimiento de diferentes biovariedades de *Caesalpinia spinosa* (tara) frente a cepas de *Staphylococcus aureus* sensibles y resistentes a oxacilina. An.Fac.med. 75 (2):177-180.
- Huachi, L., Macas, A., y Mendez, G. (2014). Biodegradación de los fenoles presentes en el extracto de guarango (*Caesalpinia spinosa*) y en los colorantes indigo carmín, naranja II y rojo fenol a través de *Trametes versicolor* y *Aspergillus niger*. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida 20(2): 29-35

- Linós, E., Swetter, S., Cockburn, M., Colditz, G., y Clarke, C. (2009). Increasing burden of melanoma in the United States. *J. Invest. Dermatol* 129:1666-1674.
- Lock O. (1994). Investigación Fotoquímica; métodos en el estudio de productos naturales. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú. 2da ed. Lima.
- López, A., Oré, R., Miranda, C., Trabucco, J., Orihuela, D., Linares, J., Villafani, Y., Ríos, S., y Siles, M. (2011). Capacidad antioxidante de poblaciones silvestres de "tara" (*Caesalpinia spinosa*) de las localidades de Picoy y Santa Fe (Provincia de Tarma, departamento de Junín). *Scientia Agropecuaria* 2: 25-29.
- López, A., Siles-Vallejos, M., Orihuela, D., Linares, J., Ríos, S., Villafani, Y., Guevara, M., y Bracamonte, O. (2013). Caracterización citogenética de *Caesalpinia spinosa* de los distritos de Tarma y Palca (Junín). *Rev. Peru. Biol.* 20(3) :245-248
- López, F., Garró, V., Yrei, V., y Gallardo, T. (1998). Acción antimicrobiana *Caesalpinia tintoria* (Molina) Kuntze o Tara, de diferentes regiones del Perú. *Ciencia e Investigación*. Vol. 1. (1): 27-31.
- Mackerness, A., John, C., Jordan, B., y Thomas, B. (2001). Early signaling in Ultraviolet-B reponses: distinct roles for different reactive oxygen species and nitric oxide. *FEBS Lett* 489: 237-242.
- MINAGRI. (2017). Perfil técnico N°1 ABC de la producción y Comercio de tara en el Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú. 6 páginas.
- Muñoz, J., Ramos, E., Alvarado-Ortiz, U., y Castañeda, C. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Rev. Soc. Quim. Perú* 73 (3) : 142-149.
- Portal, E. (2010). Distribución altitudinal y elaboración de clave dicotómica y pictórica de biotipos de tara (*Caesalpinia spinosa*). *Biológica Huamangensis* 1(1) : 1-5.
- Rodrigo, M., Valdivieso, R., Suarez, S., Oriondo, R., y Oré, R. (2011). Disminución del daño oxidativo y efecto hipoglicemiante de la maca (*Lepidium meyenii* Walp) en ratas con diabetes inducida por streptozotocina. *An. Fac. med.* 72(7) : 7-11.
- Rodríguez, M. (2008). Influencia de la temperatura en la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze "taya" de cuatro localidades del Departamento La Libertad, Perú. *Arnaldoa* 15(1):87 – 100.
- Ruch, R.J., Cheng, S.J., y Klauning, J.E. (1989). Prevention of cytotoxicity and inhibition of intracellular communication by antioxidant catchins isolated from Chinese green tea. *Carcinogenesis* 10 (6):1003-1008.
- Soto-Dominguez, A., García-Garza, R., Ramirez-Casas, Y., Morán-Martinez, J., y Serrano-Gallardo, L. (2012). El extracto acuoso de orégano (*Lippia graveolens* HBK) del norte de México tiene actividad antioxidante sin mostrar un efecto tóxico in vitro e in vivo. *Int. J. Morphol.* 30(3): 937-944.
- Vernhes, M., Gonzáles-Pumariega, M., Passaglia, A., Martins, F.C. y Sanchez-Lamar, A. (2013). El extracto acuoso de *Phyllanthus orbicularis* K protege al ADN plasmídico del daño inducido por las radiaciones ultravioletas. *Ars. Pharm.* 54(1): 16-23.
- Villanueva, C. (2007). La Tara, el oro verde de los incas. Lima. Ed. AGRUM. 1° edición. Universidad Nacional Agraria La Molina. 163 pags.
- Villena, J., Seminario, J., y Valderrama, M. (2019). Variabilidad morfológica de la "tara" *Caesalpinia spinosa* (Molina.) Kuntze (Fabaceae), en poblaciones naturales de Cajamarca: descriptores de fruto y semilla. *Arnaldoa* 26 (2): 555-574.

PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS VEGETALES

BIOETHANOL PRODUCTION FROM ORGANIC PLANT WASTE

Luis Alberto Llenque-Díaz*, Aníbal Quintana Díaz, Lidia Torres Lino, Rosa Segura Vega

Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n Urbanización San Andrés, Trujillo, Perú

*Autor para correspondencia: albertoyenque65@gmail.com

Recibido: 9 de marzo, 2020. Aceptado: 10 de mayo, 2020

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue valorar la producción de bioetanol a partir de cáscaras de *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis* y hojas de *Eucalyptus globulus*. Las cáscaras de mandarina, maracuyá y hojas de eucalipto, se recogieron en bolsas de polietileno, rotuladas y se trasladaron al laboratorio; en donde fueron lavadas, desinfectadas, secadas y molidas. A un kg de residuo molido se agregó 4 L de HCl 1.0M, se calentó a 100°C por 5h; luego se filtró y ajustó a pH 4.5 con NaOH 1.0M. El sistema con 2.2 L de medio de producción, 14°Brix y suplementado, se fermentó con *Saccharomyces cerevisiae* MIT-L51, 100 ml/L de hidrolizado, a temperatura ambiente (23-25°C) durante 7 días en reposo. Finalmente, se destiló a 78°C por 3h, y los rendimientos promedios fueron de 3.8 ± 0.2 % (v/v, ml de bioetanol obtenido/100 ml de fermento destilado) para cáscaras de mandarina, 4.2 ± 0.1 % (v/v) maracuyá y 4.7 ± 0.1 % (v/v) de hojas de eucalipto, con un grado alcohólico del 80%(volumen). El análisis de varianza de los valores promedios de los rendimientos obtenidos con nivel de confianza 95%, indica que si hay diferencia significancia ($p < 0.05$), y de acuerdo a Tukey, todos los promedios son diferentes entre sí quedando establecido que el rendimiento obtenido está en relación al tipo de residuo vegetal evaluado. Por lo tanto, los residuos vegetales evaluados pueden ser utilizados para la producción a gran escala teniendo como referencia las condiciones de ensayo.

Palabras claves: Residuos vegetales, producción, bioetanol, rendimiento

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the production of bioethanol made of fruit peels from *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis*, and *Eucalyptus globulus* leaves. The samples were collected and tag in polyethylene bags, then in laboratory were washed, disinfected, dried and crushed. The samples were dissolved in 4 L de HCl 1.0 M adding heat at 100°C for almost 5 hours. The result was filtrated and regulated at pH 4.5 with NaOH 1.0M. This 2.2 L extract, 14° Brix was fermented with *Saccharomyces cerevisiae* MIT-L51, 100 ml/L, and hydrolyzed at room temperature (23-25°C) for seven days. Finally, it was distilled at 78°C for 3 hours, and the average were 3.8 ± 0.2 % (v/v, ml of bioethnol obtained/100 ml of distilled ferment) for *Citrus reticulata* “mandarina”, 4.2 ± 0.1 % (v/v) for “passion fruit” and 4.7 ± 0.1 % (v/v) for *Eucalyptus globulus* “eucalyptus” leaves, with an alcoholic strength of 80% (volume). The analysis of variance of the average values of the yields obtained with a 95% confidence level, indicates that there is a significant difference ($p < 0.05$). According to Tukey, all averages are different from each other. In conclusion, the performance obtained it is in relation to the type of plant residue evaluated. Therefore, the plant residues evaluated can be used for industrial production.

Keywords: vegetable waste; production; bioethanol; yield

1. INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles que se producen de diferentes materias orgánicas provenientes de procesos con organismos vivos o sus desechos están siendo ampliamente estudiados desde hace varias décadas en diferentes países y centros de investigación (Amaris et al., 2015), pero cada una con sus particularidades en relación a la materia prima, proceso y resultados; asimismo, han sido clasificados como, de primera, segunda y tercera generación (Salinas y Gasca, 2009). Los materiales vegetales, azúcar de caña, trigo, maíz, semillas oleaginosas, frutas azucaradas, y otros alimentos están siendo utilizados e igualmente otros componentes que no tienen una función alimentaria (Escalante y Fuentes, 2013).

Las materias primas vegetales de tipo lignocelulósicos son calificados como competentes para la producción de bioetanol de segunda generación (Escalante y Fuentes, 2013); así como de la biomasa de remanentes industriales, agroindustriales o doméstico. Estos últimos tipos de residuos se generan en cantidades apreciables y su acumulación genera impactos negativos directamente al medio ambiente. Por tanto, la propuesta de ser utilizados en la producción de bioetanol (Ibáñez y Morales, 2009), constituye una elección coherente y evitar el empleo de materiales de tipo alimentarios, y lograr simultáneamente reducir los contaminantes orgánicos vegetales (Hernández, 2017).

La producción de bioetanol comenzando con materiales orgánicos es un bioproceso misceláneo de cinco etapas: Preparación de la materia prima, hidrólisis, fermentación, separación, deshidratación, y tratamiento de efluentes. Así tenemos que el bioproceso de producción de bioetanol desde la caña de azúcar abarca la extracción del jugo de caña, compuesto de azúcares, y originar una disolución mejor asimilable para las levaduras en la etapa fermentativa. El producto hidroalcohólico proveniente de la fermentación se separa de la biomasa residual, y se continúa con la separación del bioetanol por distintos procedimientos. La obtención de bioetanol de maíz incluye la hidrólisis de la estructura básica del almidón hasta hidratos de carbono simples requeridos para la fermentación; esta hidrólisis se lleva a cabo por enzimas después de una etapa previa de solubilización para lograr que el almidón sea más asequible a las amilasas de diferentes orígenes (Cardona et al., 2005).

Una propuesta de innovación es generar bioetanol de residuos que se eliminan indiscriminadamente y que generan impactos perjudiciales en todo tipo de ambiente (Serna et al., 2011); además, de no lidiar con productos vegetales que se aprovechan como alimentos (Martínez et al., 2014). Estos subproductos en su generalidad corresponden al material lignocelulósico que contiene polímeros de celulosa y hemicelulosa entre 75 y 80%, que pueden ser degradados, por procesos químicos (Gerena, 2013), físicos y/o biológicos (Tejeda et al., 2010) en azúcares. Además, las investigaciones están orientadas a establecer un protocolo estándar de pretratamiento económico en razón a los diferentes tipos de materiales primarios y la aplicación de hongos, bacterias, silvestres o mejoradas genéticamente que potencializarían la fermentación de azúcares y ulterior destilación de bioetanol (Sánchez et al., 2010), con rendimientos variables.

La celulosa es un biopolímero de elementos de celobiosa constituida por moléculas de D-glucosa ligadas mediante enlaces β -1,4- glucosídicos, estableciéndose cadenas lineales que se ligan uno a otro mediante enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van Der Waals, constituyendo microfibrillas de escasa biodegradabilidad y mayor estabilidad; la hidrólisis de este compuesto ocurre mediante la reacción con enzimas, celulasas. En tanto que, las hemicelulosas son biomoléculas ramificadas en una alta proporción respecto a otras moléculas, poseen diversos grupos funcionales polares por la variedad de azúcares que lo integran, monómeros de hexosas (D-glucosa, D-manosa, y D-galactosa), pentosas (D-xilosa y L-arabinosa), deoxihexosas (L-ramnosa), y ácidos urónicos (D-ácido glucurónico y 4-O-metil-D-ácido glucurónico); y se caracterizan por ser bastante solubles en agua (Morales, 2015).

La lignina es otro biopolímero abundante en la naturaleza y que muestra una divergencia notable en comparación a otras macromoléculas que conforman la pared celular de las células vegetales, es amorfa, ramificada, heterogénea e hidrofóbica. Tridimensionalmente, la lignina rodea las microfibrillas de celulosa y hemicelulosa, y está unida a esta última mediante ciertos enlaces fuertes de tipo covalente. En la naturaleza existen diferentes tipos de lignina, dependiendo de la especie vegetal de origen, y que se diferencian uno de otro por los anillos aromáticos de los monómeros que lo componen y la cantidad proporcional de sus precursores (Segura et al., 2007). Su degradación se realiza a través de la utilización de enzimas de hongos que cohabitan con la madera (Ayuso et al., 2018).

Los recolectores de residuos sólidos urbanos transportan volúmenes de miles de toneladas al año que se acumulan en vertederos informales y la fracción orgánica se cataloga por su composición como material lignocelulósico (Sánchez et al., 2010); es decir, están formados por polisacáridos de naturaleza celulósica, hemicelulósica, y una imponente proporción de ligninas. La constitución molecular es diferente entre los tipos de células, tejidos y especies de vegetales; una proporción en base a peso seco sería de 35% de pectina, 30% de celulosa, 25% de hemicelulosa, y finalmente 10% de proteína. Los residuos lignocelulósicos pueden recibir un pre tratamiento a base de una hidrólisis química con hidróxido de sodio o ácido clorhídrico; y una hidrólisis biológicas utilizando enzimas (Carmona et al., 2009); donde se puede determinar la cantidad de azúcares reductores, utilizado posteriormente en el bioproceso de fermentación; y después de realizar una destilación simple, se determina la cantidad de bioetanol (Malagon et al., 2017).

La explotación no convencional de los residuos urbanos sólidos y en forma exclusiva para elaborar bioetanol, de acuerdo a las situaciones de América Latina (Rondón et al., 2016), donde más del 50% de estos incumben a residuos de peculiaridades orgánicas, no ha sido explotada, y acaba siendo una buena oportunidad para adicionar un valor importante, forjar un relevante crecimiento económico y establecer condiciones de trabajo permanente para las personas que buscan una rentabilidad formal de los múltiples residuos que se generan cotidianamente. Por tal motivo, para aprovechar los conocimientos potenciales de la biotecnología como ciencia, que ofrece diversas expectativas para la generación de energías renovables, se implementa la producción de bioetanol con procesos biológicos mejorados que se encargan de transformar las diferentes materias orgánicas (Martínez et al., 2014).

Los residuos orgánicos vegetales se presentan como una alternativa para enfrentar y superar una problemática ambiental y social que demanda una solución oportuna (Díaz, 2015), y a la vez existe una demanda declarada en la producción de bioetanol. Para este proceso solamente es necesario implementar una estructura controlada que permita la degradación del material vegetal complejo en moléculas sencillas, y establecer el crecimiento efectivo de las células fermentadoras para la generación de etanol a partir de materia orgánica (Patrón y Rodríguez, 2014; Murillo, 2016). Así tenemos que los estudios han evaluado la producción de bioetanol comenzando con los restos de banano (Escalante y Fuentes, 2013), maracuyá (Ávila, 2015), lulo y mango (Malagon et al., 2017), y raquis de banano (Llangari, 2018) como los más convenientes.

Existen muchos conocimientos, investigaciones y tecnologías sobre el bioproceso de producción de bioetanol con materias primas permisibles de la agroindustria y agricultura convencional. Además, existen muchas materias primas orgánicas disponibles en los mercados de abastos de la ciudad de Trujillo y en región La Libertad que podrían ser utilizados como materia prima en las fermentaciones industriales para obtener productos de mayor valor comercial. Por otro lado, hay preocupación de las autoridades para reducir el impacto negativo de los residuos en la urbe de Trujillo y la obtención de un combustible alternativo con el medio ambiente. En razón de los grandes volúmenes de generación de residuos orgánicos de origen vegetal en la ciudad de Trujillo (MPT, 2016), y acumulación de residuos de hojas de eucalipto en el campus universitario de la Universidad Nacional de Trujillo, se pretende evaluar un fortalecido recurso a base de desechos orgánicos de tipo vegetal en la producción de bioetanol y proponer un procedimiento eficiente para minimizar el perjuicio al medio ambiente. Al mismo tiempo, se podría obtener información técnica de producción de bioetanol a un menor costo, y extrapolar la producción a gran escala. En tal sentido, se evaluó el rendimiento en la producción de bioetanol utilizando cáscaras de *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis* y hojas de *Eucalyptus globulus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material biológico:

Cáscaras frescas de *Citrus reticulata* (mandarina), *Passiflora edulis* (maracuyá) provenientes de mercados de la ciudad de Trujillo, y hojas secas de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) procedentes del campus universitario de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

2.2. Metodología

Recolección y procesamiento del material biológico:

Las cáscaras frescas de frutas y hojas secas fueron recolectadas en forma individual en bolsas de polietileno de primer uso, rotuladas y llevadas al laboratorio de Fisiología y Genética Microbiana de la Universidad Nacional de Trujillo. Cada tipo de cáscara y hojas fueron lavados con agua potable, desinfectadas con solución de hipoclorito de sodio 2.5% por 30 minutos, enjuagados con agua destilada, y colocados en recipientes para su secado a 60° C durante 2 h en estufa de laboratorio Memmert. Finalmente, la materia orgánica vegetal seca fue triturada, de manera individual, en un molino mecánico de disco hasta alcanzar un tamaño de 0.5 a 1 mm.

Hidrólisis:

Se pesó un kg de residuo orgánico vegetal seco y molido, se colocó en recipiente de aluminio, y se adicionó cuatro litros de ácido clorhídrico 1.0 M, y calentó a 100°C por 5 h.

Ajuste de pH y medición de densidad inicial:

El sobrenadante anterior (hidrolizado) fue separado por decantación y adicionado una solución de hidróxido de sodio 1.0 M hasta lograr un pH igual a 4.5. La medición de los grados Brix y la densidad se realizó por equivalencia utilizando el refractómetro portátil de mano con ATC, colocando una gota de suspensión en la superficie del prisma, y haciendo lectura directa a través del ocular.

Producción de inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* MIT – L51:

El cultivo de la levadura fue reactivado en caldo Sabouraud glucosa e incubado por 12 h a 30°C. Luego se centrifugó a 4000 rpm durante 10 minutos, y con el sedimento se preparó una suspensión con agua destilada estéril a una concentración de 1.2×10^{12} levaduras/ml, utilizando la cámara de Neubauer y con microscopio óptico Olympus.

Esterilización del hidrolizado, fermentación y separación del producto alcohólico:

2 L de hidrolizado anterior fueron esterilizados en autoclave a 121°C, a una atmósfera de presión por 20 min. Una vez enfriado fue suplementado con sulfato de amonio a razón de 400 mg/L de medio de producción. Además, se agregó 200 ml de inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* MIT - L51.

El sistema anterior fue cerrado herméticamente, mantenido en reposo, e incubado a temperatura ambiente (23-25°C) por 7 días. Se midió el pH, con pH-metro; y el grado alcohólico, por equivalencia con el brixómetro de mano, precisión $\pm 1\%$ (Escalante y Fuentes, 2013). El sobrenadante (producto alcohólico) de la fermentación se obtuvo mediante decantación y filtrado con papel filtro Whatman N° 10. Se realizó tres repeticiones para cada uno de los diferentes tipos de residuos vegetales evaluados.

Destilación:

Un litro de filtrado alcohólico fue acondicionado en el sistema de destilación de vidrio, con serpentín o espiral interno, a 78°C por 3 h. Se midió el volumen de etanol obtenido en una probeta graduada. El grado alcohólico del destilado se determinó mediante la medición de la densidad y uso de la tabla de equivalencia alcoholimetría internacional (International Organisation Legal Metrology, Paris).

Procesamiento de datos y tratamiento estadístico:

Con los datos obtenidos, se calculó el rendimiento promedio en % (Volumen de etanol obtenido/100 ml de caldo fermentado) de la fermentación para cada kg del tipo de residuo orgánico vegetal evaluado, se calculó la desviación estándar, y comparó los valores promedios aplicando el Análisis de Varianza con 95% de confianza y posteriormente se aplicó la prueba estadística de Tukey mediante el software IBM SPSS Statistics 20 (Wong-González, 2010).

3. RESULTADOS

En la Tabla 1, se presenta las características del hidrolizado obtenido después del tratamiento ácido, siendo los valores promedio de densidad entre 1,10 y 1,20 g/ml, pH 2,00 y grado Brix entre 14 y 22, según el tipo de residuo vegetal evaluado.

En la Tabla 2, se presenta las características del fermentado obtenido después de 7 días de incubación a temperatura ambiente (23-25°C), donde el pH final promedio fue de 2,00, y el grado alcohólico varió entre 7 y 9 en relación al tipo de residuo vegetal.

En la Tabla 3, se presenta la densidad promedio entre 0,83 y 0,84 g/ml de los destilados de alcohol obtenido a temperatura ambiente (23-25°C) de cada uno de los residuos vegetales y la correspondiente equivalencia en grado alcohólico (pureza), siendo este de 80° promedio en los tres destilados obtenidos

En la Figura 1, se muestra los rendimientos promedios \pm desviación estándar de bioetanol obtenidos a partir de los diferentes tipos de residuos orgánicos vegetales evaluados; así tenemos que, las cáscaras de mandarina permitió obtener un rendimiento del $3,8 \pm 0.2$ % (v/v, ml de bioetanol obtenido/100 ml de fermento destilado); mientras que, con las cáscaras de maracuyá se logró un $4,2 \pm 0.1\%$ (v/v); finalmente, con las hojas de eucalipto se consiguió el mayor rendimiento, $4,7 \pm 0.1$ %(v/v) en las mismas condiciones de ensayo.

Tabla 1. Características del hidrolizado obtenido después del tratamiento ácido.

Característica	Valor promedio		
	cáscara de mandarina	cáscara de maracuyá	hojas de eucalipto
Densidad (g/ml)	1,15	1,20	1,10
pH	2,00	2,00	2,00
Grados Brix	14,00	20,00	22,00

Tabla 2. Características del fermentado obtenido después de 7 días de incubación a temperatura ambiente (23-25°C).

Característica	Valor promedio		
	cáscara de mandarina	cáscara de maracuyá	hojas de eucalipto
pH	4,5	4,0	4,5
Grado alcohólico	7,0	8,0	9,0

Tabla 3. Densidad promedio del destilado obtenido a temperatura ambiente (23-25°C).

Característica	Valor promedio		
	cáscara de mandarina	cáscara de maracuyá	hojas de eucalipto
Densidad (g/ml)	0,84	0,83	0,83
Grado alcohólico (Volumen)	80,00	80,00	80,00

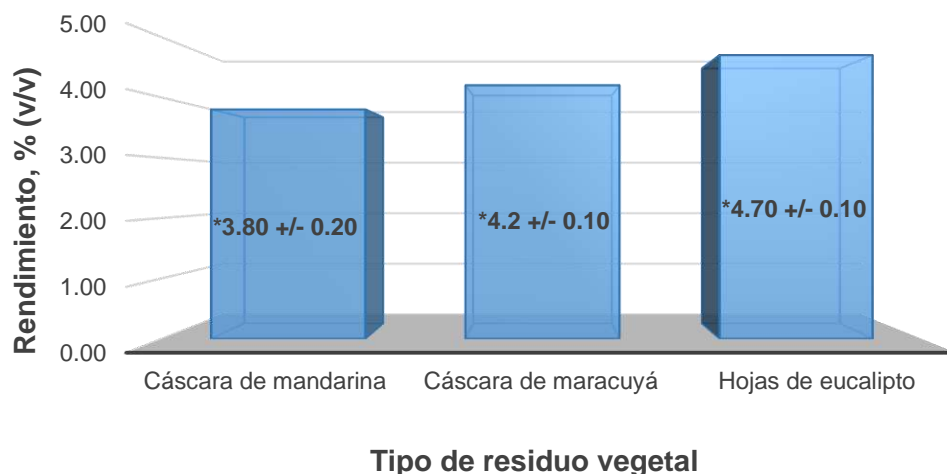


Figura 1. Rendimientos promedio de bioetanol obtenidos, de 80° de pureza, a partir de los diferentes tipos de residuos vegetales evaluados. Presenta diferencias significativas $p < 0,05$

4. DISCUSIÓN

La producción de biocombustibles mediante procedimientos estandarizados (Cardona et al., 2005; Campos et al., 2017) fue posible y ejecutada en condiciones mínimas de materiales y ambientes, utilizando como materia prima, un recurso de alta disposición en cantidad y volumen; como lo son, los materiales orgánicos de origen vegetal que existe en diferentes entornos, como los evaluados en esta investigación, residuos vegetales de mandarinas y maracuyá, originados del comercio en mercados de la ciudad; y de hojas de eucalipto que se acumulan en las áreas verdes del campus universitario. Esta línea de investigación está relacionada con la evaluación del tipo de materia orgánica vegetal que permitió obtener un mayor rendimiento de bioetanol en las condiciones de ensayo particulares (Abascal, 2017; Hernández, 2017).

El proceso de hidrólisis química de los enlaces covalentes entre las unidades de azúcares que forman la estructura del material celular vegetal se consiguió con el uso de una solución comercial de ácido clorhídrico al 1,0 M, el mismo que se verificó con la medición de los grados Brix. Los ensayos realizados para la fermentación alcohólica con *Saccharomyces cerevisiae* MIT L-51 se iniciaron con 14°Brix, volumen de trabajo de 2,2 L, y se verificó la reducción de los azúcares 3,0°Brix después de 7 días de incubación a temperatura ambiente (23-25°C), antes de continuar con la siguiente etapa de destilación. La medición del volumen del destilado, a 78°C en baño maría por 3 h en el sistema de destilación con refrigerante tipo espiral, permitieron determinar los rendimientos promedios de etanol obtenido al final de la fermentación, que fueron de $3,8 \pm 0,2$ % (v/v); es decir que se obtuvo, 3,8 ml de bioetanol por cada 100 ml de fermento que fue destilado, proveniente de cáscaras de mandarina; mientras que, el rendimiento fue de $4,2 \pm 0,1$ % (v/v, ml de bioetanol obtenido/100 ml de fermento destilado) con cáscaras de maracuyá y de $4,7 \pm 0,1$ % (v/v) para hojas de eucalipto, todos con una pureza del 80% en volumen. La comparación de los valores promedios de los rendimientos obtenidos mediante el análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%, indica que si hay diferencia significativa ($p < 0,05$), y de acuerdo al programa estadístico de Tukey en el software IBM SSPS Statistics 20, todos los promedios son diferentes entre sí (Wong-González, 2010) quedando establecido que el rendimiento obtenido está en relación al tipo de residuo vegetal evaluado.

Es cierto que todo la producción de bioetanol ha sido derivado desde el azúcar de caña (Hernando, 2008) y almidón de maíz (González y Brugués, 2010), como materias orgánicas principales, pero ambos insumos pueden llegar a perjudicar la alimentación de las naciones, o aumentaría la demanda de recursos, e incrementaría el precio de los alimentos; de allí que, investigar nuevas alternativas de producir biocombustibles sin perturbar el abastecimiento de alimentos es una necesidad prioritaria y urgente (Sánchez, 2010). En el 2015, la Unión Europea estableció una meta importante, de que solo el 7% de forrajes y cultivos alimentarios sirvan para producir energía renovable; en tanto que, para el año 2020, los biocombustibles que se elaboran utilizando cultivos agrícolas no debe superar el 7% del consumo energético para el rubro de transporte. Estas exigencias, van a permitir liberar tierras de cultivo para alimentos (OCDE/FAO, 2016). En este sentido, el uso de los residuos vegetales que existen de manera natural constituye una gran opción para reemplazar ciertos recursos alimentarios para la producción de bioetanol a nivel regional.

Las diferentes investigaciones sugieren que es factible la producción de etanol (Escalante y Fuentes, 2013; Sela, 2015; Hernández, 2017) a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos, donde sigue siendo necesario un mayor detalle y profundidad de las características particulares y óptimas de cada bioproceso a fin de establecer esta tecnología a escala industrial. Entonces, las investigaciones presentes y futuras ligadas a la responsabilidad social permitirán producir biocombustibles con fines comerciales para satisfacer una demanda insatisfecha, generar fuentes de trabajo y reducir los impactos negativos al ambiente; y los países en desarrollo están tratando de aumentar los niveles de producción, por la demanda expresa, reducir los impactos negativos sobre el ambiente, y disminuir el uso de los combustibles no renovables obtenidos del petróleo (Güiza et al., 2019).

En América Latina, los desechos sólidos de naturaleza orgánica son exuberantes, que representan la porción con un alto porcentaje de residuos sólidos urbanos, donde una pequeña parte de estos son empleados y valorizados; de allí que, es de vital importancia implementar e innovar nuevos bioprocesos y/o crear nuevas cadenas productivas; en este sentido el aprovechamiento de los desechos sólidos orgánicos debe generar un mayor impacto ambiental positivo por el manejo o reducción de este tipo de residuos con la consiguiente generación de productos con valor adicional como es la producción de biocombustibles en los países en vía de desarrollo, donde en términos generales, el rendimiento de etanol que se ha logrado alcanzar estuvo en un promedio de 0,50 g etanol/g de glucosa proveniente de residuos sólidos urbanos, con producción marginal de CO₂ y CH₄ (Martínez et al, 2014); mientras que, Aurora y Barrera (2015) trabajaron con residuos fermentables de *Mangifera indica* (Mango) a pH de $4,02 \pm 0,2$, °Brix de $17 \pm 1,2$ y azúcares reductores de $110 \pm 2,2$ g/L en un biorreactor de 1,5 L de volumen de trabajo a 27°C y presión atmosférica; obteniéndose una concentración de etanol 5,25% (p/v).

Hernández (2017) evaluó los restos de las frutas, como es la cáscara, además de la pulpa de plátano y naranja con un tratamiento hidrotérmico previo entre 120 y 135°C y obtuvo azúcares fermentables en una concentración de 36,80 g/100 g de residuo seco, consiguiendo una concentración final de 1,7 % (v/v) de bioetanol desde la pulpa de plátano tratada a 135°C. Por su parte, Malagón et al. (2017) evaluaron la producción de bioetanol a partir de diversas mezclas de residuos orgánicos vegetales que se recopilan en una empresa procesadora de alimentos, donde establecieron que la combinación de residuos lulo-limón

tuvo la más alta concentración de azúcares reductores, 2,08 g glucosa/L mezcla y lograron obtener 9.22 g bioetanol/kg de residuos como máximo rendimiento; y siendo de 0,87 g, el rendimiento final de producto/sustrato. Mientras que, Escalante y Fuentes (2013) determinó un alto porcentaje de la degradación de hemicelulosa cuando ajustó la disolución a un pH aproximado de 2,5; y obtuvo un producto destilado con un 92% de pureza en peso y un rendimiento de 0,078 g de etanol/g de biomasa.

Existen diferentes instituciones que destinan recursos económicos para mitigar el cambio climático que por sí solas no reducen las emisiones de gas efecto invernadero de manera efectiva; en este sentido, es conveniente reorientar un mejor y real apoyo en cada una de las etapas de este bioproceso y que una reglamentación oportuna permita favorecer la inversión pública y privada para la generación y establecimiento de actividades comerciales que posibilite tu expansión (Gúiza et al., 2019): además, se sugiere continuar con las investigaciones sobre la estandarización de los bioprocesos para cambiar o aprovechar mejor las materias primas alternativas en la producción de biocombustibles especialmente a partir de residuos vegetales como son las hojas de los árboles que caen después de cumplir su función principal.

5. CONCLUSIÓN

Las cáscaras de *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis* y hojas de *Eucalyptus globulus* pueden ser utilizados como material orgánico para producir bioetanol, siendo los residuos de hojas de *E. globulus* los que permitieron obtener un mayor rendimiento (4,7%). Los diferentes residuos vegetales evaluados existen en diferentes ambientes de manera natural o subproductos, y constituyen una gran opción a escala de planta piloto o industrial.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Abascal, R. (2017). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica. Matriz de reacciones y optimización. (Tesis de Pregrado). Universidad de Cantabria, Santander, España
- Amarís, J; Manrique, D; y Jaramillo, J. (2015). Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. Una revisión. Revista Fuentes. El Reventón Energético, 13(2): 23-34.
- Aurora, E; y Barrera, E. (2015). Obtención de bioetanol a partir de los residuos fermentables de mango y determinación de parámetros óptimos de destilación. Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación, 2(2):31-40.
- Ayuso-Fernández, I; Ruiz-Dueñas, F; y Martínez, A. (2018). Evolutionary convergence in lignin-degrading enzymes. PNAS 115(25): 6428–6433 DOI: 10.1073/pnas.1802555115.
- Ávila, L. (2015). Obtención de bioetanol de segunda generación a partir del pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis* f. flavicarpa). (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Campos, C; Delgado, H; Esquivel, J; Samamé, J; y Sirlupú, J. (2017). Diseño de la línea de producción para la elaboración de biodiesel a partir de aceite residual recolectado de la industria chiflera piurana. Facultad de Ingeniería. Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Fecha de consulta 02 de marzo 2020. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3221/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biodiesel.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Cardona, C; Julián, O; Montoya, M; y Quintero, J. (2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. Scientia et Technica, (28):187-192. ISSN 0122-1701.
- Carmona, R; Lienqueo, M; Salazar, O; y García A. (2009). Bionergy II: Biological pretreatment with fungi as a tool for improvement of the enzymatic saccharification of *Eucalyptus globules* Labill to obtain bioethanol. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 7:(1). doi: <https://doi.org/10.2202/1542-6580.1935>.
- Díaz, A. (2015). Hidrólisis de residuos de la venta de verduras y hortalizas para la producción de bioethanol. (Tesis de Maestría). Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Escalante, J. y Fuentes, H. (2013). Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. (Tesis de Pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Gerena, F. (2013). Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* var valencia) y papa (*Solanum tuberosum* var diacol capiro) para

- ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos. (Tesis de Pregrado). Escuela de Ciencias Básicas Tecnológicas e Ingeniería, Duitama. España.
- González, S; y Brugués, A. (2010). Producción de biocombustibles con maíz: Un análisis de bienestar en México. Universidad Autónoma Indígena de México Mochichahui, El Fuerte, Sinaloa. México. Ra Ximhai, 6 (1):73-85.
- Güiza-Suárez, L; Rodas, J; Cifuentes-Guerrero, J; y González, J. (2019). Energías renovables no convencionales y cambio climático. Editorial Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia.
- Hernando, R. (2008). Bioetanol de caña de azúcar. Una energía para el desarrollo sostenible Resumen ejecutivo.
- Hernández, C. (2017). Obtención de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de fruta. (Tesis de Maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Ibáñez, D. y Morales, H. (2009). Diseño y simulación de un fermentador aerobio para producir etanol a partir de jarabe de glucosa usando levaduras nativas. (Tesis de Título). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
- Llangari, A. (2018). Comparación del rendimiento y calidad de bioetanol obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de los pseudotallos de banano. (Tesis de Título). Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, (Tesis de Título). Ecuador.
- Martínez, J; Montoya, N; y Sierra, M. (2014). Energía del futuro: Bioalcoholes a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Rev. Esc. Adm. Neg. Bogotá, 77: 64-81.
- Malagón, M; Paéz, A; Muñoz, A; Santos, J; y Zabala, D. (2017). Producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de los residuos orgánicos generados en una empresa de alimentos. Fundación Universidad de América. Revista de Investigación 10 (1): 47-59 ISSN 2011-639X
- Morales, S. (2015). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, (Tesis de Título). España.
- Municipalidad Provincial de Trujillo (MPT) – SEGAT Y ECOLOGY YASJOMI E.I.R.L. (2016). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del área urbana del distrito Trujillo – mayo 2016. Informe final. pp. 46. Disponible en: file:///C:/Users/FAMILY/Downloads/informe_final.pdf
- Murillo, J. (2016). Producción de etanol carburante de segunda generación a partir de residuos como cáscara de banana, maracuyá y naranja utilizando la levadura *Candida utilis* en fermentación. Rev. Sennova Colombia, 2(1): 15-29.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, OCDE/FAO. (2016). OCDE - FAO Perspectivas Agrícolas 2016 -2025. OCDE Publishing Paris. Fecha de consulta 02 de marzo 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5778s.pdf>.
- Patrón, A. y Rodríguez, A. (2014). Diseño de un biorreactor para la producción de bioetanol a partir de desechos orgánicos a escala de laboratorio. (Tesis de Título). Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia. (Tesis de Título).
- Rondón, E; Szantó, M; Pacheco, J; Contreras, E; y Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manuales de la CEPAL N° 2. ISSN 2518-3923.
- Salinas, E. y Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. El Cotidiano 157: 75-82. ISSN 0186 - 1840. Fecha de consulta 02 de marzo 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/45087460_Los_biocombustibles.
- Sánchez, A; Gutiérrez, A; Muñoz, J; y Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. Revista Tumbaga, 5: 61-91.
- Sánchez, J. (2010). Producción de etanol a partir de basura orgánica. Programa PERSEO aplicado a México.
- Sela, A. (2015). Hidrólisis de residuos lignocelulósicos procedentes del comercio de frutas y hortalizas como paso previo a la producción de bioetanol. (Tesis de Pregrado). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Segura, F; Echeverri, R; Patiño, A., y Mejía, A. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 14 (1): 72-81. ISSN 0121-4004.
- Serna, F; Barrera, L., y Montiel, H. (2011). Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. Journal of Technology Management & Innovation, 6(1): 100-114.
- Tejeda, L; Tejeda, C; Villabona. A; Alvear, M; Castillo, C; Henao, D; Marimón, W; Madariaga, N., y Tarón, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. Revista Educación en Ingeniería, 5(10):120-125.
- Wong-González, E. (2010). ¿Después de un análisis de varianza...qué? Ejemplos en Ciencia de Alimentos. Información técnica. Agronomía mesoamericana, 21(2):349-356. ISSN: 1021-7444.

EFFECTO DE DIETAS CON ZEOLITA NATURAL EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DEL CAMARÓN DE RÍO *Cryphiops caementarius*

EFFECT OF DIETS WITH NATURAL ZEOLITE ON THE GROWTH AND SURVIVAL OF THE RIVER SHRIMP *Cryphiops caementarius*

Nataly Senmache Zamudio¹ y Walter Reyes Avalos^{2*}

¹ Escuela de Biología en Acuicultura. Universidad Nacional del Santa, Perú.

² Laboratorio de Acuicultura ornamental. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional del Santa, Perú. Av. Universitaria s/n Urbanización Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

*Autor para correspondencia: wreyes@uns.edu.pe

Recibido: 14 de mayo, 2020. Aceptado: 17 de junio, 2020

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de dietas con zeolita natural en el crecimiento y supervivencia del camarón de río *Cryphiops caementarius*. Se empleó 72 camarones machos de 4.88 cm de longitud total promedio, capturados en el río Pativilca (Perú). El cultivo se realizó en 12 acuarios (55L) con sistema de recirculación de agua y filtro biológico. En cada acuario se instaló seis recipientes donde se sembró un camarón por recipiente (32 camarones m⁻²). Se empleó cuatro dietas con 0%, 2%, 4% y 8% de zeolita, con tres repeticiones, respectivamente. Los camarones fueron alimentados con el 6% de su biomasa total. La frecuencia de alimentación fue de dos veces al día (08:00 y 16:00 h) durante seis días a la semana. El experimento duró 84 días. Los diferentes niveles de zeolita (2%, 4% y 8%) en la dieta no afectaron ($p > 0.05$) el crecimiento en longitud y peso de los camarones. En cambio, solo la dieta con 8% de zeolita ocasionó disminución ($p < 0.05$) de la supervivencia (50%) al final del periodo de cultivo, donde los camarones muertos evidenciaron signos del síndrome de la ecdisis incompleta.

Palabras claves: Zeolita, crecimiento, supervivencia, camarón, *Cryphiops*

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the effect of diets with natural zeolite on the growth and survival of the *Cryphiops caementarius* river shrimp. 72 male shrimp, 4.88 cm total length, captured from the Pativilca River (Peru) were used. The culture was carried out in 12 aquariums (55L) with a water recirculation system and a biological filter. Six containers were installed in each aquarium where one shrimp was put per container (32 shrimp m⁻²). Four diets with 0%, 2%, 4% and 8% of zeolite were used, with three repetitions, respectively. Shrimp were fed 6% of their total biomass. The feeding frequency was twice a day (08:00 and 16:00) for six days a week. The experiment lasted 84 days. The different levels of zeolite (2%, 4% and 8%) in the diet did not affect ($p > 0.05$) the growth in length and weight of shrimp. In contrast, only the diet with 8% zeolite caused a decrease ($p < 0.05$) in survival (50%) at end of the growing period, where the dead shrimp showed signs of incomplete ecdysis syndrome.

Keywords: Zeolite, growth, survival, shrimp, *Cryphiops*

1. INTRODUCCIÓN

El camarón *Cryphiops caementarius* es la especie de mayor densidad poblacional en los ríos de Arequipa (Perú), cuya extracción fue de 997 t en el 2017 (Wasiw y Yépez, 2015; Produce, 2018). Además, la especie tiene importancia gastronómica y turística (Carrillo et al., 2012) y los ejemplares machos son los que alcanzan mayor tamaño que las hembras (Reyes et al., 2018), de ahí el interés por el cultivo de la especie.

Las dietas disponibles comercialmente contienen fuentes importantes de proteínas, lípidos, carbohidratos, enzimas, astaxantina que se suplementan con vitaminas y minerales, cuyas proporciones dependen de las especies (García-Galano y Carrillo-Farnés, 2015). Los estudios nutricionales con el camarón de río *C. caementarius* son escasos y sólo se refieren a la digestibilidad aparente de la proteína del ensilado de pescado (Rubio, 2010), al uso de levadura (Cornejo et al., 2015), lecitina de soya (Acosta et al., 2018) y con ensilado biológico de residuos blandos de molusco en las dietas (Terrones y Reyes, 2018).

La zeolita natural es un mineral de aluminosilicatos microporosos cristalinos neutros, que se origina en rocas volcánicas y hay más de 45 tipos, de las cuales la clinoptilolita es el más puro, efectivo y barato (Abdel-Rahim, 2017). Las zeolitas se aplican en la remoción eficiente de metales pesados en efluentes mineros (Curi et al., 2006), en la industria, agricultura, ganadería, protección del medio ambiente (Calleja, 2009; Ghasemi et al., 2016) y se utilizan como reductores del amonio, nitritos, sulfuro de hidrógeno de los estanques de cultivos acuáticos (Óz et al., 2016; Abdel-Rahim, 2017).

Las zeolitas dietéticas tienen beneficios biológicos para los animales acuáticos al mejorar el crecimiento y la salud (Ghasemi et al., 2016). En peces de agua dulce, la inclusión de hasta 10% de zeolita en la dieta mejora la eficiencia alimenticia y el crecimiento en *Oncorhynchus mykiss* (Eya et al., 2008) y *Pterophyllum scalare* (Ghiasi y Jasour, 2012). Mientras que en *Cyprinus carpio* se emplea 5% de zeolita (Khodanazary et al., 2013) y en *Oreochromis niloticus* el 3% (El-Gendy et al., 2015). Además, en *Channa striatus* el uso de 4% y 6% de zeolita en la dieta produce, además del incremento en el crecimiento, mejoras en la respuesta inmune y en la resistencia a enfermedades causadas por *Aphanomyces invadans* (Jawahar et al., 2016).

En crustáceos, es limitado el uso de zeolita natural en dietas, solo se conoce que en las postlarvas del camarón marino *Litopenaeus schmitti* el 1% de zeolita en la dieta ocasiona mayor crecimiento en peso y menor conversión alimenticia y de igual manera sucede con *L. schmitti*, pero con 3% de zeolita en la dieta (Galindo et al., 2006). En el camarón de río *C. caementarius* hay investigaciones que evalúan otros insumos alimenticios, pero en todas ellas emplean dietas solo con el 2% de zeolita (Reyes, 2016; Acosta et al., 2018; Terrones y Reyes, 2018) y al no haberse informado que cause alguna complicación con el crecimiento y supervivencia del camarón, la especie debe soportar más del 2% de zeolita en la dieta. Esta hipótesis se sustenta en la investigación con el crustáceo de agua dulce *Astacus leptodactylus*, cuya dieta con hasta 2% de zeolita no afectó el crecimiento y es posible que soporte mayor concentración de zeolita (Zamami y Khoshkholgh, 2007). Por consiguiente, el objetivo fue evaluar el efecto de dietas con zeolita natural sobre el crecimiento y supervivencia del camarón de río *C. caementarius*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Organismos

Los camarones procedieron del río Pativilca cerca del Centro Poblado Huayto (10°9'50"S y 77°40'02"W) a 352 msnm (Lima, Perú). Los camarones se introdujeron individualmente en vasos de plástico de 200 mL (agujereados para permitir el flujo de agua) los que se colocaron en baldes de 20 L con agua del mismo río y con aireación (Reyes, 2016). La densidad fue de 50 camarones por balde y el transporte terrestre duró 4 h. En laboratorio, todos los camarones se aclimataron durante 10 días, en el mismo sistema de transporte. Además, cada dos días se realizó recambios del 30% del agua, limpieza de los restos de alimento y de los desechos sólidos de excreción.

La especie *C. caementarius* se reconoció según Méndez (1981) y el sexo de los camarones machos se verificaron por la presencia de gonóporos en los coxopoditos del quinto par de periópodos, además se diferenciaron por el tamaño de las quelas y la amplitud del abdomen (Reyes et al., 2018). La muestra consistió de 72 camarones machos de 4.97 ± 0.89 g de peso total y de 4.88 ± 0.30 cm de longitud total (LT: desde escotadura postorbital hasta el extremo posterior del telson), con apéndices cefalotorácicos completos, seleccionados al azar de un lote de 110 ejemplares.

Sistema de cultivo

El sistema de cultivo fue el empleado por Reyes (2016), el cual consistió de 12 acuarios de vidrio (0.60 m de largo, 0.31 m de ancho y 0.35 m de alto, con área de 0.186 m² y volumen efectivo de 55 L) cada uno con un filtro biológico percolador (1.5 L min⁻¹), instalado dentro de un sistema de recirculación de agua tipo air-water-lift. Cada filtro biológico estuvo constituido por un recipiente de plástico (2.5 L) conteniendo una capa superior de espuma de poliuretano (1 cm de espesor), una capa intermedia de conchuela triturada (0.5 kg) y una capa inferior de grava de 1 a 2 cm de diámetro (0.8 kg). Además, se instaló dos difusores de aire por acuario para la circulación y aireación del agua. En cada acuario hubo seis recipientes de cultivo individuales de 284 cm², instalados en dos grupos de tres niveles y en la parte lateral de cada recipiente se instaló un tubo PVC de ½" de diámetro y 15 cm de longitud, que sobresalía el nivel del agua, por donde se introducían los gránulos de alimento balanceado. Se utilizó agua potable previamente aireada por 72 h para eliminar el cloro. La siembra fue de un camarón por cada recipiente de cultivo; es decir, se sembró seis camarones por acuario (32 camarones m⁻²).

Dietas

La dieta basal fue la que tuvo 2% de zeolita (Terrones y Reyes, 2018), luego se elaboró dietas con 0%, 4% y 8% de zeolita natural del tipo clinoptilolita. La zeolita natural de las dietas fue balanceada con la harina de maíz según lo recomendado por Jaime-Zevallos y Galindo-López (2006). Todas las dietas fueron suplementadas con 3% de levadura (Cornejo et al., 2015). Las dietas fueron peletizadas (3 mm de diámetro) con prensa manual y luego secada al ambiente durante 24 h. La composición proximal de la dieta fue de 30.0% de proteína cruda y 8.1% de lípidos totales, calculada según Pezzato (1996). El nivel de alimentación fue del 6% del peso húmedo del camarón. La frecuencia de alimentación fue de dos veces al día (08:00 y 16:00 h) distribuida en iguales proporciones durante seis días a la semana.

Tabla 1: Ingredientes de dietas para *C. caementarius* con diferentes niveles de zeolita.

Ingredientes (%)	Zeolita			
	0%	2%	4%	8%
Harina de pescado	15.0	15.0	15.0	15.0
Harina de ensilado de residuos de <i>Argopecten purpuratus</i>	15.0	15.0	15.0	15.0
Harina de soya	21.0	21.0	21.0	21.0
Harina de maíz	18.7	16.7	14.7	10.7
Aceite de pescado	2.0	2.0	2.0	2.0
Aceite de soya	0.5	0.5	0.5	0.5
Aceite de maíz	0.5	0.5	0.5	0.5
Lecitina de soya ¹	1.0	1.0	1.0	1.0
Polvillo de arroz	22.0	22.0	22.0	22.0
Melaza de caña	3.0	3.0	3.0	3.0
Zeolita	0.0	2.0	4.0	8.0
Sal común	1.0	1.0	1.0	1.0
Complexvit ²	0.3	0.3	0.3	0.3

¹: Lecitina de soya purificada comercial (Soya insípida en cápsulas blandas, contenido de fosfatídicos $\geq 60\%$).

²: Comprende (kg⁻¹): Vitaminas A 8 g, E 7 g, B1 8 g, B2 16 g, B6 11.6 g, B12 0.02 g, C 5 g, D3 5 g, K3 1 g, Nicotinamida 10 g, Niacina 6 g, Biotina 0.3 g, DL Metionina 20 g, Pantotenato de calcio 47 g, Cloruro de sodio 2.7 g, Cloruro de potasio 34 g, Sulfato de magnesio 7 g, Maca 5 g y Excipientes 1000 g.

Crecimiento y supervivencia

Los camarones fueron muestreados cada 28 días. El peso total de los camarones se determinó con una balanza digital ADAM AQT600 (± 0.1 g). La longitud total se midió con vernier graduado (± 1 mm) con los camarones posicionados ventralmente. Con los datos se determinó ganancia porcentual (GP), tasa de crecimiento absoluto (TCA) y tasa de crecimiento específica (TCE), y la supervivencia (S) se obtuvo contando a los camarones vivos de cada repetición por tratamiento.

$$GP (\%) = \left(\frac{X_2 - X_1}{X_1} \right) \times 100$$

$$TCA (\text{g día}^{-1} \text{ o cm día}^{-1}) = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1}$$

$$TCE (\% \text{ día}^{-1}) = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1} \times 100$$

$$S (\%) = \left(\frac{N_f}{N_i} \right) \times 100$$

donde X_1 y X_2 son el peso húmedo (g) o la longitud total (cm), inicial y final; t_1 y t_2 es la duración en días; $\ln X_1$ y $\ln X_2$ es el logaritmo natural del peso o la longitud inicial y final. N_i es el número inicial de camarones y N_f el número final de camarones.

Calidad del agua

La limpieza de los acuarios se realizó diariamente por sifoneo de los desechos sólidos. El 30% del agua de cada acuario se renovó dos veces por semana. La calidad del agua fue monitoreada cada semana y se registró temperatura con termómetro de Hg de (± 0.1 °C), pH con pH metro Oaklon PC650 (± 0.01 unidades) y oxígeno disuelto con Oxímetro Oaklon PD650 (0.1 mg L^{-1}). El amonio total y los nitritos se analizaron con Test colorimétricos Nutrafin ($\pm 0.5 \text{ mg L}^{-1}$).

Análisis de datos

Los datos se procesaron con el programa Excel. La normalidad de los datos se analizó mediante Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se determinaron con análisis de varianza simple y con la prueba pos hoc de Duncan. En todos los casos la significancia fue del 5%. Los análisis estadísticos se efectuaron con el software estadístico SPSS versión 23 para Windows.

3. RESULTADOS

Calidad del agua

Los parámetros ambientales durante los 84 días de cultivo de *C. caementarius* alimentados con diferentes niveles de zeolita, fueron similares ($p > 0.05$) entre tratamientos (Tabla 2). La temperatura del agua fue de ~ 23.50 °C, el oxígeno disuelto de $\sim 6.50 \text{ mg L}^{-1}$ y el pH fue neutro. El amonio total varió entre 0.01 a 0.02 mg L^{-1} y los nitritos entre 0.03 a 0.04 mg L^{-1} .

Tabla 2: Parámetros físicos y químicos del agua de cultivo de adultos de *C. caementarius* alimentados con diferentes niveles de zeolita natural, durante 84 días de cultivo.

Zeolita	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg L ⁻¹)	pH	Amonio Total (mg L ⁻¹)	Nitritos (mg L ⁻¹)
0%	23.33 ± 0.56 ^a	6.76 ± 0.10 ^a	7.06 ± 0.04 ^a	0.02 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.01 ^a
2%	23.33 ± 0.56 ^a	6.12 ± 1.04 ^a	7.02 ± 0.14 ^a	0.02 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.01 ^a
4%	23.67 ± 0.56 ^a	6.69 ± 0.22 ^a	7.06 ± 0.03 ^a	0.01 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.01 ^a
8%	23.67 ± 0.56 ^a	6.63 ± 0.17 ^a	7.08 ± 0.14 ^a	0.01 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.01 ^a

Datos con letras en súper índice diferentes en una misma fila indica que hay diferencia significativa ($p < 0.05$).

Crecimiento

El crecimiento en longitud (Fig. 1A) y en peso (Fig. 1B) de los camarones adultos de *C. caementarius* alimentados con diferentes niveles de zeolita en la dieta, fueron similares ($p > 0.05$) durante el periodo experimental. Sin embargo, a los 84 días de cultivo, los camarones que se alimentaron con 2% y 4% de zeolita en la dieta, crecieron más en peso (7.35 g y 7.29 g, respectivamente) que aquellos alimentados con 0% y 8% de zeolita (6.36 g y 6.83 g, respectivamente) (Fig. 1B), aunque sin diferencias significativas ($p > 0.05$).

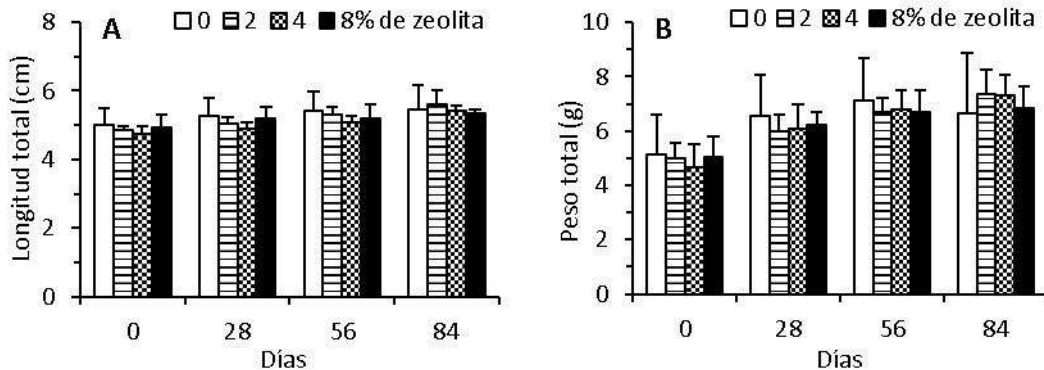


Figura 1. Crecimiento en longitud (A) y peso (B) de adultos de *C. caementarius* alimentados con diferentes niveles de zeolita natural durante 84 días de cultivo.

Los parámetros de crecimiento en longitud y peso de los camarones adultos de *C. caementarius* alimentados con diferentes niveles de zeolita en la dieta, fueron similares ($p > 0.05$) durante el periodo de cultivo. Sin embargo, la ganancia porcentual y la tasa específica de crecimiento, tienden a ser mayor con 2% de zeolita, seguida por la dieta con 4% de zeolita; en cambio, los valores más bajos se obtuvieron con 8% y 0% de zeolita (Tabla 3).

Supervivencia

Los camarones alimentados sin zeolita y con 2% de zeolita en la dieta sobrevivieron durante el periodo de cultivo. En los camarones alimentados con 4% de zeolita la supervivencia fue de 94% a los 84 días de cultivo y la muerte de un camarón fue por causas desconocidas. En los camarones alimentados con 8% de zeolita, la supervivencia fue del 50% en el día 84 de cultivo (Fig. 2), siendo significativamente ($p < 0.05$) menor que los demás tratamientos. En este último tratamiento, los camarones encontrados muertos mostraron signos de haber iniciado la ecdisis, otros murieron después de haber realizado la autotomía del quelípodo mayor debido a la dificultad de culminar con el proceso de la ecdisis, y algunos camarones murieron con el cuerpo encorvado.

Tabla 3. Parámetros de crecimiento en longitud y peso de adultos de *C. caementarius* alimentados con diferentes niveles de zeolita natural, durante 84 días de cultivo (Media \pm desviación estándar).

Parámetros	Zeolita			
	0%	2%	4%	8%
Longitud inicial (cm)	4.99 \pm 0.49 ^a	4.84 \pm 0.12 ^a	4.73 \pm 0.22 ^a	4.94 \pm 0.37 ^a
Longitud final (cm)	5.45 \pm 0.70 ^a	5.61 \pm 0.40 ^a	5.40 \pm 0.17 ^a	5.36 \pm 0.10 ^a
GP (%)	8.94 \pm 3.23 ^a	15.82 \pm 5.66 ^a	14.39 \pm 3.35 ^a	9.06 \pm 9.79 ^a
TCA (cm día ⁻¹)	0.01 \pm 0.00 ^a	0.01 \pm 0.00 ^a	0.01 \pm 0.00 ^a	0.01 \pm 0.01 ^a
TCE (% longitud día ⁻¹)	0.102 \pm 0.035 ^a	0.174 \pm 0.059 ^a	0.160 \pm 0.035 ^a	0.100 \pm 0.110 ^a
Peso inicial (g)	5.15 \pm 1.43 ^a	4.99 \pm 0.56 ^a	4.68 \pm 0.85 ^a	5.06 \pm 0.73 ^a
Peso final (g)	6.63 \pm 2.25 ^a	7.35 \pm 0.92 ^a	7.29 \pm 0.77 ^a	7.31 \pm 1.56 ^a
GP (%)	27.46 \pm 7.40 ^a	47.13 \pm 4.14 ^a	57.72 \pm 15.83 ^a	37.77 \pm 30.49 ^a
TCA (g día ⁻¹)	0.02 \pm 0.01 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a	0.03 \pm 0.00 ^a	0.02 \pm 0.02 ^a
TCE (% peso día ⁻¹)	0.29 \pm 0.07 ^a	0.46 \pm 0.03 ^a	0.54 \pm 0.12 ^a	0.36 \pm 0.29 ^a
Supervivencia (%)	100.00 \pm 0.00 ^a	100.00 \pm 0.00 ^a	94.44 \pm 9.62 ^a	50.00 \pm 16.67 ^b

GP: Ganancia porcentual, TCA: Tasa de crecimiento absoluto, TCE: Tasa de crecimiento específico. Datos con letras en súper índice diferentes en una misma fila indica que hay diferencia significativa ($p < 0.05$).

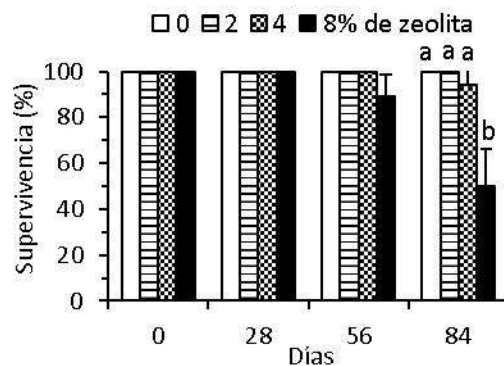


Figura 2: Supervivencia de adultos de *C. caementarius* alimentados con diferentes niveles de zeolita, durante 84 días de cultivo.

4. DISCUSIÓN

La temperatura del agua (~ 23 °C) estuvo dentro de lo registrado para el ambiente natural de la especie de camarón (Wasiw y Yépez 2015). Las concentraciones de oxígeno (~ 6.50 mg L⁻¹), amonio total (≤ 0.02 mg L⁻¹) y los nitritos (≤ 0.04 mg L⁻¹) fueron similares entre tratamientos y estuvieron dentro del rango aceptable para especies acuáticas de agua dulce (Timmons et al., 2002). Por consiguiente, los valores de la calidad del agua no influyeron en el crecimiento y supervivencia del camarón.

En el presente estudio, se demostró que los diferentes niveles de zeolita (2%, 4% y 8%) en la dieta no afectaron ($p>0.05$) el crecimiento en longitud y peso de ejemplares machos de *C. caementarius* durante los 84 días de cultivo. Estos resultados podrían ser debido a que utilizamos camarones adultos (>4 cm de LT), cuyas necesidades nutricionales son distintas a otros estados ontogénicos como postlarvas o juveniles (Hernández et al., 2015) que es necesario estudiarlos. En postlarvas de *L. schmitti* el uso del 1% de zeolita en la dieta ocasiona mayor crecimiento (Galindo et al., 2006).

El crecimiento de los camarones machos de *C. caementarius* alimentados con y sin zeolita en la dieta fueron similares, pero el crecimiento en peso tiende a ser mayor en aquellos alimentados con 2% y 4% de zeolita. Estos resultados indicarían que los nutrientes de la dieta son aprovechados por los camarones adultos cuando hay cierta concentración de zeolita en la dieta, y probablemente se requiera mayor tiempo de cultivo para observar el efecto de estas concentraciones de zeolita en la dieta sobre el crecimiento del camarón. Las zeolitas poseen propiedades que favorecen la nutrición mediante la eficiencia de utilización de los alimentos e influyen en el crecimiento tanto en *L. schmitti* (Jaime-Ceballos y Galindo-López, 2006) como en diversos peces de agua dulce como *O. mykiss* (Eya et al., 2008), *P. scalare* (Ghiasi y Jasour, 2012), *C. carpio* (Khodanazary et al., 2013), *O. niloticus* (El-Gendy et al., 2015), entre otros.

La adición de hasta 4% de zeolita en la dieta fue inocua para *C. caementarius*, por la alta supervivencia ($>94\%$) mantenida durante el periodo experimental, con lo cual se confirma la hipótesis en lo relacionado a que la especie soporta mayor concentración de zeolita (4%) que aquellas de investigaciones previas (2%) (Reyes, 2016; Acosta et al., 2018; Terrones y Reyes, 2018) y con lo informado para *A. leptodactylus* (Zamami y Khoshkholgh, 2007). En *L. schmitti* no hubo mortalidad de postlarvas cuando se alimentó hasta con 3% de zeolita en el alimento (Galindo et al., 2006).

La mayor concentración de zeolita (8%) en la dieta ocasionó disminución significativa ($p<0.05$) de la supervivencia (50%) de *C. caementarius* después de los 56 días de cultivo, lo que indicaría que esta concentración de zeolita probablemente altera la absorción de nutrientes a nivel del tracto digestivo del camarón. Se conoce que la clinoptilolita es un intercambiador de iones, y la ingestión de esta o de zeolitas similares modifican la saturación iónica, el pH y el poder amortiguador de los jugos digestivos, reflejada en la disminución de la actividad enzimática, en los procesos de transporte a través del epitelio intestinal y en el equilibrio de electrolitos en el organismo (Boranić, 2000). Esta alteración influye en el paso de los nutrientes en el tracto digestivo de los animales (Trckova et al., 2004; Eya et al., 2008).

Además, los camarones alimentados con 8% de zeolita mostraron signos evidentes de haber sufrido el síndrome de la ecdisis incompleta. Este síndrome sucede en camarones machos de *C. caementarius* por deficiencia de lecitina de soya en la dieta (Acosta et al., 2018; Reyes, 2018). La lecitina de soya mejora la digestibilidad y absorción del colesterol (Irvin et al., 2010) necesario para la síntesis de ecdisona que se requiere para el proceso de la muda de los crustáceos (Kumar et al., 2018). En consecuencia, la alta concentración de zeolita en la dieta afectó la asimilación de lecitina de soya, evidenciado por la dificultad para culminar con la ecdisis.

5. CONCLUSIONES

Los diferentes niveles de zeolita (2%, 4% y 8%) en la dieta no afectaron ($p>0.05$) el crecimiento en longitud y peso de ejemplares machos de *C. caementarius* durante los 84 días de cultivo. En cambio, la dieta con 8% de zeolita ocasionó disminución ($p<0.05$) de la supervivencia (50%) del camarón al final del periodo de cultivo, donde los camarones muertos evidenciaron signos del síndrome de la ecdisis incompleta.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Rahim, M. (2017). Sustainable use of natural zeolites in aquaculture: A short review. *Fisheries and Oceanography Open Access Journal*, 2(4): 1-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.19080/OFOAJ.2017.02.555593>
- Acosta, A., Quiñones, D., y Reyes, W. (2018). Efecto de dietas con lecitina de soya en el crecimiento, muda y supervivencia de machos del camarón de río *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). *Scientia Agropecuaria*, 9(1): 143-151. DOI: <http://www.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.15>
- Boranić, M. (2000). What a physician should know about zeolites. *Lijec. Vjesn*, 122: 292–298.
- Calleja, A. (2009). Importancia de las zeolitas. *Cuadernos del Tomás*, 1: 211- 227. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3760692>
- Carrillo, G., Pacora, F., Risco, R. & Zerpa, L. (2012). Plan estratégico para el camarón de río. Tesis de Magíster. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 177 pp. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4595>
- Cornejo, J., Pérez, L. y Reyes, W. (2015). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* yeast in the diet of male shrimp *Cryphiops caementarius* (Crustacea, Palaemonidae) on total and differential hemocytes count. *Revista Bio Ciencias*, 3(3): 173-186.
- Curi, A., Granda, W., Lima, H. y Sousa W. (2006). Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes mineros. *Inf. Tecnol.*, 17(6): 111-118. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600017>.
- El-Gendy, M., Gouda, y Shehad, M. (2015). Effect of zeolite on feeding rates and growth performance for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Scientific Research in Agricultural Sciences*, 2: 18-24.
- Eya, J., Parsons, A., Haile, I. y Jagidi, P. (2008). Effects of dietary zeolites (bentonite and mordenite) on the performance juvenile rainbow trout *Onchorhynchus myskis*. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(4): 961-967.
- Galindo, J., Barbarito, J., Fraga, I. y Álvarez, S. (2006). Empleo de zeolita en la alimentación del camarón blanco *Litopenaeus schmitti*. *Comunicación Científica CIVA-2006*, 106-112.
- García-Galano, T. y Carrillo-Farnés, O. (2015). Nutrición del camarón blanco, *Litopenaeus schmitti* Burkenroad: 25 años de investigación científica. *Revista Investigaciones Marinas*, 35(2): 24-40.
- Ghasemi, Z., Sourinejad, I., Kazemian, H. y Rohani, S. (2016). Application of zeolites in aquaculture industry: a review. *Reviews in Aquaculture*, 0: 1-21. DOI: <http://www.doi.org/10.1111/raq.12148>
- Ghiasi, F. y Jasour, M. (2012). The effects of natural zeolite (Clinoptilolte) on aquarium fish, Angel (*Pterophyllum scalare*). *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 2(3): 22-25.
- Hernández, L., Padilla, A., Fernández, M. y López, O. (2015). Avances en Requerimientos Nutricionales de Langostinos Nativos. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., NietoLópez, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Rivas Vega, M. y Miranda Baeza, A. (Eds). *Nutrición Acuicola: Investigación y Desarrollo*, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, pp.82-93. <http://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/35/35>
- Irvin, J., Williams, K., Barclay, M. y Tabrett, S. (2010). Do formulated feeds for juvenile *Panulirus ornatus* lobsters require dietary cholesterol supplementation? *Aquaculture*, 307(3-4): 241-246. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.07.026>
- Jaime-Ceballos, B. y Galindo-López, J. (2006). Dietas para el cultivo de *Litopenaeus schmitti*, una revisión. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(12). 1-13.
- Jawahar, S., Nafar, A., Vasanth, K., Musthafa, M., Arockiaraj, J., Balasundaram, C. y Harikrishnan, R. (2016). Dietary supplementation of zeolite on growth performance, immunological role, and disease resistance in *Channa striatus* against *Aphanomyces invadans*. *Fish & Shellfish Immunology*, 51: 161-169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.02.019>
- Khodanazary, A., Boldaji, F., Tatar, A. y Dastar, B. (2013). Effects of dietary zeolite and perlite supplementations on growth and nutrient utilization performance, and some serum variables in common carp, (*Cyprinus carpio*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13(3): 495-501. DOI: http://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_3_12
- Kumar, V., Kumar, A., Romano, M., Allen, K.M., Bowman, B., Thompson, K. y Tidwell, J.H. (2018). Metabolism and nutritive role of cholesterol in the growth, gonadal development, and reproduction of

- crustaceans. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(2): 254-273. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1429384>
- Méndez, M. (1981). Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) del mar y ríos de la costa del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú – Callao*, 5:1-170. Disponible en: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/1028/BOL%205.pdf?sequence=1>
- Öz, M., Şahin, D. y Aral, O. (2016). The effect of natural zeolite clinoptilolite on aquarium water conditions. *J. Biol. & Chem.*, 44(2): 205-208. DOI: <http://www.doi.org/10.15671/HJBC.20164418130>
- Pezzato, A. (1996). Balanceamiento de raciones para peces tropicales. Programa ALITE versión 1.10B. Produce. (2018). Anuario estadístico pesquero y acuícola 2017. La actividad productiva del sector en números. Ministerio de la Producción. http://ogeiee.produce.gob.pe/images/Anuario/Pesca_2017.pdf
- Reyes, W. (2016). Efecto del recipiente de cultivo sobre la supervivencia y el crecimiento de machos de *Cryphiops caementarius* en sistemas individualizados. *Revista Biociencias*, 3(4): 311-325.
- Reyes, W., Ferrer, K. y Sernaqué, J. (2018). Dimorfismo sexual del camarón *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae). En: Reyes, W.E. (Ed.). Memoria del XVIII Congreso Nacional de Estudiantes de Biología. Trabajos de investigación escritos en extenso. Nuevo Chimbote, del 3 al 8 de septiembre de 2017. pp. 14-16.
- Reyes, W. (2018). El síndrome de la ecdisis incompleta en machos adultos de *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae) y sus consecuencias en cultivo intensivo. *Rev Inv Vet Perú*, 29(1): 368-374 DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14200>
- Rubio, L. (2010). Coeficiente de digestibilidad proteica de dos tipos de ensilado, en juveniles de “camarón de río” *Cryphiops caementarius* (Molina, 1872) (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae), en condiciones de laboratorio. Tesis de Título. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote. Perú. 38 pp.
- Terrones, S. y Reyes, W. (2018). Efecto de dietas con ensilado biológico de residuos de molusco en el crecimiento del camarón *Cryphiops caementarius* y tilapia *Oreochromis niloticus* en co-cultivo intensivo. *Scientia Agropecuaria*, 9(2): 167-176. DOI: <http://www.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.01>
- Timmons, M., Ebeling, J., Wheaton, F., Summerfelt, S. y Vinci, B. (2002). Sistemas de recirculación para la acuicultura. 2da. Edic. Fundación Chile. 745 pp.
- Trckov, M., Matlova, L., Dvorska, L. y Pavlik, I. (2004). Kaolin, bentonite, and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. *Vet. Med. Czech*, 49(10): 389–399.
- Wasiw, J. y Yépez, V. (2015). Evaluación poblacional del camarón *Cryphiops caementarius* en ríos de la costa sur del Perú. *Rev Inv Vet Perú*, 26(2): 166-181. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i2.11103>
- Zamami, H. y Khoshkholgh, M. (2007). Effects of zeolite level on growth indexes of juvenile freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*). *Irianian Scientific Fisheries Journal*, 16(3): 81-90.

EFECTO DEL FOLLAJE DE *Ricinus communis* SOBRE LA NODULACIÓN RADICULAR DE *Meloidogyne* sp. EN PLANTAS DE TOMATE

EFFECT OF *Ricinus communis* FOLIAGE ON *Meloidogyne* sp. ROOT-GALLING IN TOMATO PLANTS

Lizbeth Armas-Mantilla¹, Yuli Janeth Barrios-Cárdenas¹, Jackson Ivan Briceño-Muñoz¹, Iris Alzugaray-Agreda¹, Santos Nélide Murga-Gutiérrez^{1†}

¹Universidad Nacional de Trujillo

*Autor de correspondencia: ivanj24@hotmail.com

Recibido: 26 de mayo, 2020. Aceptado: 27 de junio, 2020

RESUMEN

El efecto del follaje de *Ricinus communis* “higuerilla” sobre la nodulación radicular inducida por *Meloidogyne* sp. en plantas de tomate var. dominator fue determinado en un nethouse, con el objetivo de proporcionar una alternativa ecológica para el control de este patógeno. Se prepararon tres concentraciones, 10, 20 y 30% (v/v), de follaje de *R. communis* e inocularon en suelo franco-arenoso esterilizado contenido en macetas. Cada concentración incluyó 10 réplicas y un grupo control (sin enmienda) fue establecido. En cada maceta se sembró una plántula de tomate, y 48 horas post-siembra se inoculó 3000 huevos de *Meloidogyne* sp. en la base del tallo. El número de nódulos radiculares fue determinado ocho semanas después de la infección. A pesar que todas las plantas desarrollaron nódulos; el número de nódulos en las concentraciones 20 y 30% fue significativamente menor al grupo control ($p < 0,05$). Mientras, las plantas expuestas a 10% de enmienda no exhibieron diferencias significativas con el grupo control. El follaje de *R. communis* aplicado como enmienda orgánica al 20 y 30% en suelo de cultivo de tomate limita la nodulación radicular inducida por *Meloidogyne* sp, sugiriendo su implementación en control de este nematodo.

Palabras claves: Control biológico, enmienda orgánica, nódulos radiculares.

ABSTRACT

The effect of *Ricinus communis* foliage on the root-knot induced by *Meloidogyne* sp. in tomato plants var. dominator was determined under nethouse conditions for providing an ecological alternative in the control of this pathogen. Three concentrations (10, 20 and 30%) of *R. communis* amendment were prepared and inoculated into sterilized potted sandy loam soil. Each concentration was constituted by 10 replicates and a control group (without amendment) was established. A tomato seedling was sown in each pot, and 48 hours after sowing, 3000 eggs of *Meloidogyne* sp. at the base of the stem. The number of root nodules was determined eight weeks after infection. Although, all the plants developed nodules; the number of nodules in the 20 and 30% concentrations was significantly lower than the control group ($p < 0.05$). Meanwhile, plants exposed to 10% amendment did not show significant differences with the control group. The foliage of *R. communis* applied as an organic amendment at 20 and 30% in tomato cultivation soil limits the root nodulation induced by *Meloidogyne* sp, which suggests its implementation in control of this nematode.

Keywords: Biologic control, organic amendment, root-knot

1. INTRODUCCIÓN

Los nematodos son sistemas biológicos con una plasticidad funcional considerable, lo que les ha permitido asociarse casi con cualquier otra forma de vida y ambiente. El parasitismo en los nematodos y, específicamente, su capacidad para infectar raíces de cultivos susceptibles han sido uno de los temas que mayor interés ha despertado en la comunidad científica (López-Pérez *et al.*, 2011). Especies de nematodos asociados al género *Meloidogyne* están entre los que más estragos han causado en los cultivos de importancia económica en todo el mundo (Jones *et al.*, 2013 y Ralmi *et al.*, 2016).

Varios estudios se han realizado sobre el control de este nematodo parásito, los que en su mayoría se enfocaron en la identificación y la eliminación de fuentes de infestación (López-Pérez *et al.*, 2011). Estrategias de control biológico para suprimir este nematodo (Chen *et al.*, 1994; Pérez y Lewis, 2002 y Manzanilla-López *et al.*, 2013) incluyen la rotación de cultivos (McSorley y Dickson, 1995; Ko y Schmitt, 1996 y Fortnum *et al.*, 2001) y el empleo de vegetales con propiedades antagónicas potenciales. Entre los fitoconstituyentes de estas plantas se encuentran metabolitos secundarios tóxicos para el nemátodo (Da R Costa *et al.*, 2003; Meyer *et al.*, 2006; Oka *et al.*, 2006; Oka *et al.*, 2007; Tsay *et al.*, 2004; Ritzinger y McSorley, 1998).

El control biológico basado en inóculos de fuente vegetal incluye diversas especies como: *Artemisia vulgaris* (Da R Costa *et al.*, 2003), *Azadirachta indica* (McSorley, 2011), *Allium sativum* (Jardim, I. N *et al.* 2020), *Crotalaria juncea* (Jardim, I. N. *et al.* 2020), *Tagetes minuta* (McSorley, 1999), *Tagetes erecta* (Zhou *et al.*, 2010) y *Ricinus comunis* (McSorley, 1999). Las especies de *Ricinus* constituyen un grupo de antagonistas potenciales con crecimiento rápido, que han sido comúnmente usados en el control de varios géneros de nematodos parásitos (Franco-Navarro *et al.*, 2002). Un estudio previo demostró el potencial de *Ricinus* para inducir resistencia contra *Meloidogyne* al interferir en la formación de nódulos radiculares (McSorley, 1999). Esta evidencia motivó posteriores investigaciones como comprobar la independencia de la acción nematicida de *Ricinus* de la actividad microbiana del suelo, obteniéndose como resultado una interacción no significativa (Mashela y Nthangeni, 2002). El efecto nematicida de *Ricinus* fue también evaluado *in vitro* cuando fueron aplicados extractos acuosos, obtenidos de las hojas, en individuos juveniles de *M. incognita* (Arboleda *et al.*, 2010). Otro estudio evaluó el potencial *Ricinus comunis* en el control y manejo de *Spodoptera litura* en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) bajo condiciones de invernadero (Zhou *et al.*, 2010), lo que comprueba el potencial biotecnológico de este recurso vegetal en condiciones *in vitro* e *in vivo*.

El tomate es una de las hortalizas más cultivada en todo el mundo y debido a su alto valor comercial, cualidades organolépticas y valor nutricional, su cultivo y producción se mantiene en aumento. En el Perú, las zonas productoras están ubicadas en su mayoría en el litoral del país y son explotadas para este fin a lo largo del año. Las zonas de Chancay, Huaral y Cañete tienen cosechas en la temporada de verano en los meses diciembre-marzo y durante la temporada de otoño e invierno en La Libertad, Lambayeque y Piura (Córdoba, 2016). En la región La Libertad, ubicada en el litoral norte del Perú, es uno de las regiones con mayor producción de tomate anualmente. En el 2017 la producción alcanzó 6013 toneladas y en marzo del 2018 la productividad aumentó a 119.8 %. La variedad Dominator es una de las más cultivadas, debido a su buena cobertura de frutos y capacidad de producir alto rendimiento (INEI, 2018a y INEI, 2018b). Sin embargo, el cultivo tomate implica varios desafíos, como la susceptibilidad a patógenos recurrentes. El nematodo *M. incognita* es uno de los parásitos que más daños causa al cultivo de esta especie vegetal, el cual perjudica grandes extensiones de sembríos, reduce la producción y consecuentemente afecta la economía de los agricultores.

Por lo expuesto, en el presente trabajo se investigó el efecto de *R. comunis* aplicado como enmienda orgánica al 10, 20 y 30% (v/v) sobre la nodulación radicular inducida por *Meloidogyne* sp. en plantas de tomate var. dominator cultivadas en un nethouse.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras biológicas.

Huevos de *Meloidogyne* sp. fueron aislados de plantas de tomate infectadas con el nematodo según Taylor y Sasser, 1978. Brevemente, las plantas fueron colectadas de campos cultivo del distrito de Moche (La Libertad, Perú). El sistema radicular fue separado del resto de la planta y lavado con agua estéril. Las raíces colectadas fueron cortadas en segmentos de 2 cm y lavadas con hipoclorito de sodio 0.5% por 3 min, en agitación manual. La suspensión fue filtrada a través de dos tamices, la primera con malla 200 (aberturas de 0.074 mm) y la segunda con malla 500 (aberturas de 0.028 mm). La suspensión de huevo resultante del segundo tamiz se lavó con una corriente lenta de agua fría de grifo y se almacenaron en un recipiente de vidrio de un litro. El aislamiento e identificación de los huevos de *Meloidogyne* sp. se realizó en el laboratorio de Helminología parasitaria de la facultad de Microbiología y Parasitología, facultad Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo.

El modelo vegetal utilizado para este estudio fue plántulas de tomate var. dominator, de aproximadamente dos meses, obtenidas del vivero ALABAMA (Lima, Perú). Las plantas de *R. communis* fueron cultivadas en el campus de la Universidad Nacional de Trujillo y colectadas tres meses post siembra.

El sustrato de cultivo estuvo constituido por una mezcla de suelo fértil y arena en proporción 1:1, de textura franco arenosa. El experimento se realizó en un *nethouse* construido en el campus de la Universidad Nacional de Trujillo.

Diseño experimental

Se establecieron cuatro grupos de estudio; tres experimentales y un control, con 10 réplicas por grupo. Cada réplica estaba constituida por una maceta conteniendo 1 kg de sustrato de cultivo esterilizado. El sustrato fue autoclavado a 121°C por 30 min y secado a temperatura ambiente por 24 horas. Antes de incorporar el sustrato en las macetas, este fue mezclado con fragmentos (0.5 mm de diámetro) de follaje fresco de *R. communis* para obtener concentraciones de 10, 20 y 30% (v/v). En el grupo control no se aplicó enmienda. Las macetas fueron humedecidas a capacidad de campo por dos días y se sembró una plántula de tomate.

Inoculación de *Meloidogyne* sp.

Los huevos de *Meloidogyne* sp. fueron suspendidos en buffer fosfato (pH 7,0), el conteo de los huevos se realizó en tres muestras de un mililitro cada una y luego se ajustó para inocular 3000 huevos por planta. El inóculo fue aplicado 48 horas después de transferir las plantas a las macetas para asegurar la aclimatación de las plántulas al sistema *nethouse*.

Evaluación del efecto del follaje de *R. communis* sobre la nodulación de *Meloidogyne* sp.

Las plantas de tomate fueron colectadas ocho semanas después de la inoculación. Las raíces fueron separadas del todo el sistema vegetal y lavadas con agua destilada e hipoclorito de sodio al 0,5%. El número de nódulos inducidos por *Meloidogyne* sp. se determinó en cada réplica con ayuda de un estereoscopio.

Análisis estadístico.

El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el ANOVA y las medias se compararon mediante la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$).

3. RESULTADOS

Las plantas de los cuatro grupos de estudio desarrollaron nódulos en las raíces (**Fig. 1**), inducidas por la infestación de *Meloidogyne* sp. El grupo tratado con enmienda de *R. communis* al 10% no mostró diferencias en el número de nódulos con respecto al grupo control, mientras que los grupos con tratamiento al 20 y 30% mostraron una disminución significativa en el número de nódulos ($p < 0,05$), según la prueba ANOVA. El promedio de los números de nódulos radiculares en las plantas del grupo con 10% de enmienda (v/v) fue 25,4 (7 – 19), en las de 20% fue 6,9 (0 – 18), en las de 30 %, 3,9 (0-8) y en las del testigo, 20,8 (8-35) (**Tabla 1**).

Tabla 1. Número de nódulos radiculares de las plantas de tomate por tratamiento *R. communis* según la prueba del rango múltiple de Duncan.

Tratamientos	Número de nódulos ^a
30%	3,90 a
20%	7,00 a
10%	25,40 b
Control	20,80 b

^a El número mostrado se refiere al promedio del conteo de nódulo
Valores con letras iguales no tienen diferencia significativa ($p > 0.05$)



Fig. 1. Nódulos inducidos por *Meloidogyne* sp. en raíces de tomate var. dominator

4. DISCUSIÓN

Las plantas con y sin tratamiento de enmienda mostraron baja susceptibilidad a la infección por *Meloidogyne* sp, en relación con otras variedades pertenecientes a esta especie. Por ejemplo, ejemplares de tomate cv. Maya del tipo Saladette infectadas en condiciones de invernadero presentaron un promedio de 467 nódulos por raíz (Cristobal *et al.*, 2010). Aunque el efecto histopatogénico fue menor al esperado, se evidenció el signo característico de la infestación de las raíces; además, de los síntomas en el sistema aéreo de las plantas como la disminución del crecimiento y deficiencias nutricionales (López-Pérez *et al.*, 2011). El uso de enmiendas orgánicas induce el crecimiento y viabilidad de las plantas haciéndolas más resistentes a la infección por nematodos. Algunos estudios sugieren que inducen la resistencia al estrés ocasionada por factores abióticos y bióticos incluyendo la infección por nematodos. Una de las posibles causas de la resistencia a la infección por nematodos sería la alteración de la relación de auxina-citoquina de las plantas tratadas.

Los constituyentes específicos de las enmiendas orgánicas involucrado en la resistencia no han sido totalmente identificados. Aunque estudios reportaron que los extractos de *Ascophyllum nodosum* contienen betainas las cuales reducen la infección de *Meloidogyne* sp. en plantas de tomate. Las betainas funcionan como fuente de nitrógeno para las plantas ayudándoles a incrementar su contenido de clorofila, y les sirven como un osmolito y un soluto compatible que alivia el estrés osmótico (Oka, 2010). Las enmiendas orgánicas inducen el desarrollo de mayor biomasa de raíces las cuales ayudan a la planta para adquirir nutrientes y poder resistir temporadas de elevada densidad de nematodos (McSorley *et al.*, 2011). Las enmiendas orgánicas liberan componentes nematotóxicos como ácidos orgánicos, componentes nitrogenados o varios metabolitos secundarios durante su descomposición. Los cuales pueden cambiar las propiedades fisicoquímicas en el suelo (pH, salinidad, conductividad eléctrica, concentraciones de oxígeno y CO₂, potencial redox) o propiedades físicas (densidad, porosidad, retención del agua del suelo) estos cambios pueden afectar negativamente el comportamiento de los nematodos como la eclosión de sus huevos, movimiento o supervivencia (Thoden *et al.*, 2011). La susceptibilidad de la planta para ser infectada por fitonemátodos está determinada por mecanismos de regulación genética, los cuales determinan la resistencia de la planta a la infección del patógeno (Schaff *et al.*, 2007).

En el estudio no se encontraron diferencias significativas en el número de nódulos inducidos por *Meloidogyne* en las plantas de tomate entre el grupo control y el grupo tratado con la enmienda al 10%. El número de nódulos radiculares inducidos por *Meloidogyne* fue menor en las plantas de tomate cuyo suelo de cultivo tenía fragmentos de follaje de *R. communis* en concentraciones de 20 y 30%; lo que indicaría que esta enmienda tiene efecto antagonico en el desarrollo nodular de *Meloidogyne*. La infección de las plantas por este parásito está sujeto a la concentración del tratamiento, pues al aplicar una menor concentración del follaje de *R. communis* la generación de nódulos fue semejante al grupo control. Este efecto es concordante con los resultados de estudios realizados por otros autores quienes han descrito dicho efecto nematicida de *R. communis* aplicado como extractos de hojas, tallos y raíces en condiciones de laboratorio, invernadero y campo (Gao *et al.*, 2011). Por otro lado, la variabilidad de eclosión de huevos en *Meloidogyne* puede ser una limitación para determinar el efecto de *Ricinus* sobre la nodulación inducida por este parásito (Karssen y Moens, 2006), desde que una disminución en el número de nódulos podría también deberse a la no eclosión de huevos. Sin embargo, el uso de réplicas biológicas (10) y el análisis de homogeneidad de varianza en el test estadístico (ANOVA) usado en este estudio determinaron una regularidad en el número de nódulos en cada tratamiento y permitieron encontrar una relación inversamente proporcional entre el aumento de la concentración de follaje y la disminución del número de nódulos inducidos. El efecto del follaje de *Ricinus* también pudo haber sido sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* (Saire, 2017). Otros estudios demostraron el efecto larvicida de *R. communis* sobre larvas de mosquitos que transmiten patógenos (Sogan *et al.*, 2018). Este efecto larvicida es debido a la presencia del alcaloide llamado ricina, el cual está presente en las hojas de *R. communis* (Arboleda *et al.*, 2010).

5. CONCLUSIONES

El follaje de *R. communis* adicionado como enmienda orgánica al suelo de cultivo en concentraciones de 20% y 30% limita la nodulación radicular inducida por *Meloidogyne* sp. en plantas de tomate var. dominator.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda, J., Guzmán, O., y Restrepo, J. (2010). Efecto in vitro de extractos acuosos de higuierilla (*Ricinus communis* linneo) sobre el nematodo barrenador [*Radopholus similis* (cobb) thorne]. *Agron*, 18 (2), 25 – 36.
- Chen, S., Dickson, D. W., y Whitty, E. B. (1994). Response of *Meloidogyne* spp. to *Pasteuria penetrans*, Fungi, and Cultural Practices in Tobacco. *Journal of nematology*, 26(4 Suppl), 620–625.
- Cristóbal, J., Herrera-Parra, E. Reyes, V., Ruiz, E., Tun, J., y Celis, T. (2010). Glomus intraradices para el control de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood en condiciones protegidas. *Fitosanidad*, 14 (1), 25-29.

- Córdova, T; Pinasco, R; Pizarro, G; Quiñones, T. (2016). Planeamiento Estratégico del Tomate en el Perú (en línea). Consultado 12 dic. 2018. Disponible en <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7519>
- Da R Costa, S., De A Santos, M. S., y Ryan, M. F. (2003). Effect of *Artemisia vulgaris* Rhizome Extracts on Hatching, Mortality, and Plant Infectivity of *Meloidogyne megadora*. *Journal of nematology*, 35(4), 437–442.
- Fortnum, B. A., Lewis, S. A., y Johnson, A. W. (2001). Crop Rotation and Nematicides for Management of Mixed Populations of *Meloidogyne* spp. on Tobacco. *Journal of nematology*, 33(4S), 318–324.
- Franco-Navarro, F., Cid del Prado-Vera, I., Zavaleta-Mejía, E., y Sánchez-García, P. (2002). Aplicación de enmiendas orgánicas para el manejo de *Nacobbus aberrans* en tomate. *Nematropica*, 32(2), 113-124.
- Gao, Q. Y., Hu, F. L., Zhu, H. H., Liu, M. Q., Li, H. X., y Hu, F. (2011). Control Effects of *Ricinus Communis* Extracts on *Meloidogyne Incognita*. *The Journal of Applied Ecology*, 22(11), 3033-8.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2018). Compendio estadístico Perú 2018. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1635/cap13/cap13.pdf (a).
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2018). Perú panorama económico departamental. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1531/parte%201.pdf (b).
- Jardim, I. N., Oliveira, D.F., Campos, V. P., Silva, G. H. y Souza, P.E. (2020). Garlic essential oil reduces the population of *Meloidogyne incognita* in tomato plants. *European Journal of Plant Pathology*, 157, 197–209. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02000-1>.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M., y Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 14(9), 946–961. <https://doi.org/10.1111/mpp.12057>.
- Karssen, G., y Moens, M. (2006). Root-knot nematodes. In: Perry, R.N. and Moens, M. (eds) *Plant Nematology*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 59–90.
- Ko, M. P., y Schmitt, D. P. (1996). Changes in plant-parasitic nematode populations in pineapple fields following inter-cycle cover crops. *Journal of nematology*, 28(4), 546–556.
- López-Pérez, J. A., Edwards, S., & Ploeg, A. (2011). Control of root-knot nematodes on tomato in stone wool substrate with biological nematicides. *Journal of nematology*, 43(2), 110–117.
- Manzanilla-López, R. H., Esteves, I., Finetti-Sialer, M. M., Hirsch, P. R., Ward, E., Devonshire, J., y Hidalgo-Díaz, L. (2013). *Pochonia chlamydosporia*: Advances and Challenges to Improve Its Performance as a Biological Control Agent of Sedentary Endo-parasitic Nematodes. *Journal of nematology*, 45(1), 1–7.
- Mashela, P., y Nthangeni, M. (2002). Efficacy of *Ricinus communis* Fruit Meal with and without *Bacillus* Species on Suppression of *Meloidogyne incognita* and Growth of Tomato. *Journal of phytopathology*, 150(7), 365-412.
- McSorley, R., y Dickson, D. (1995). Effect of Tropical Rotation Crops on *Meloidogyne incognita* and Other Plant-Parasitic Nematodes. *Journal of nematology*, 27(4S), 535–544.
- McSorley R. (1999). Host Suitability of Potential Cover Crops for Root-knot Nematodes. *Journal of nematology*, 31(4S), 619–623.
- McSorley R. (2011). Overview of organic amendments for management of plant-parasitic nematodes, with case studies from Florida. *Journal of nematology*, 43(2), 69–81.
- Meyer, S. L., Zasada, I. A., Roberts, D. P., Vinyard, B. T., Lakshman, D. K., Lee, J. K., Chitwood, D. J., y Carta, L. K. (2006). *Plantago lanceolata* and *Plantago rugelii* Extracts are Toxic to *Meloidogyne incognita* but not to Certain Microbes. *Journal of nematology*, 38(3), 333–338.
- Oka, Y., Ben-Daniel, B. H., y Cohen, Y. (2006). Control of *Meloidogyne javanica* by Formulations of *Inula viscosa* Leaf Extracts. *Journal of nematology*, 38(1), 46–51.
- Oka, Y., Tkachi, N., Shuker, S., y Yerumiyahu, U. (2007). Enhanced Nematicidal Activity of Organic and Inorganic Ammonia-Releasing Amendments by *Azadirachta indica* Extracts. *Journal of nematology*, 39(1), 9–16.
- Oka, Y. (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—A review. *Applied Soil Ecology*, 44(2), 101–115.
- Pérez, E. E., y Lewis, E. E. (2002). Use of entomopathogenic nematodes to suppress *Meloidogyne incognita* on greenhouse tomatoes. *Journal of nematology*, 34(2), 171–174.
- Ralmi, N., Khandaker, M., Mat, N. (2016). Occurrence and control of root knot nematode in crops: A review, *Australian Journal of Crop Science*, 10(12), 1649-1654.

- Ritzinger, C. H., & McSorley, R. (1998). Effect of Castor and Velvetbean Organic Amendments on *Meloidogyne arenaria* in Greenhouse Experiments. *Journal of nematology*, 30(4S), 624–631.
- Saire, L. (2017). *Productos químicos alternativos e ingredientes activos comercialmente nuevos para el control de Meloidogyne incognita en tomate en invernadero*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Schaff, J., Nielsen, D., Smith, C., Scholl, E., y Bird, D. (2007). Comprehensive transcriptome profiling in tomato reveals a role for glycosyltransferase in Mi-mediated nematode resistance. *Plant physiology*, 144(2), 1079–1092. <https://doi.org/10.1104/pp.106.090241>.
- Sogan, N., Kapoor, N., Singh, H., Kala, S., Nayak, A., y Nagpal, B. N. (2018). Larvicidal activity of *Ricinus communis* extract against mosquitoes. *Journal of vector borne diseases*, 55(4), 282–290. <https://doi.org/10.4103/0972-9062.256563>.
- Taylor, A., Sasser, J. (1978). *Biology, identification and control of root-knot nematodes (Meloidogyne species)*. Raleigh, North Carolina, USA, North Carolina State University Graphics. 111 p.
- Thoden, T., Korthals, G., y Termorshuizen, J. (2011). Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: a promising method for nematode management. *Nematology(online)*, 13, 133-153. DOI:10.1163/138855410X541834.
- Tsay, T. T., Wu, S. T., y Lin, Y. Y. (2004). Evaluation of Asteraceae Plants for Control of *Meloidogyne incognita*. *Journal of nematology*, 36(1), 36–41.
- Zhou, Z., Chen, Z., & Xu, Z. (2010). Potential of trap crops for integrated management of the tropical armyworm, *Spodoptera litura* in tobacco. *Journal of insect science (Online)*, 10, 117. <https://doi.org/10.1673/031.0>

MORFOMETRÍA DE FRUTOS Y SEMILLAS DE *Grabowskia boerhaviifolia* “PALO NEGRO”

MORPHOMETRY OF FRUITS AND SEEDS OF *Grabowskia boerhaviifolia* “BLACK STICK”

Maria Margarita Mora-Costilla¹, Segundo Eloy López-Medina², José Mostacero-León², Armando Efraín Gil-Rivero²; Angélica López-Zavaleta²; Anthony J. De La Cruz-Castillo²; Luigi Villena-Zapata³

¹Asociación peruana para la Conservación de la Naturaleza. (APECO). Av. Carrión 400, Urb. San Nicolás. Trujillo, Perú.

²Laboratorio de Biotecnología del Instituto de Papa y Cultivos Andinos. Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II S/N; Ciudad Universitaria, Trujillo - Perú.

³Área de Investigación. Facultad de Ingeniería. Universidad Cesar Vallejo Chepén, Perú.

Autor para correspondencia: slopezm@unitru.edu.pe

Recibido: 21 de febrero, 2020. Aceptado: 30 de junio, 2020

RESUMEN

Grabowskia boerhaviifolia (L. f.) Schltdl. “palo negro”, es catalogado una especie forestal propia de las dunas de los Bosques Secos del Perú, constituyéndose como soporte para el desarrollo de otras especies vegetales y animales. La intervención humana ha contribuido con su tala indiscriminada, a la disminución acelerada de su población, por lo que para su reforestación son necesarios estudios agronómicos elementales que brinden información sobre el estado productivo de frutos y semillas. Ante la necesidad de un mayor conocimiento se planteó como objetivo determinar la morfometría de frutos y semillas de *G. boerhaviifolia* “palo negro”. Para ello se colectaron frutos procedentes del Área del campus de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en Lambayeque. En laboratorio se evaluó el peso, largo y ancho del fruto, además de calcularse el peso de la semilla. Obtenido los resultados se realizó un análisis estadístico descriptivo. El peso promedio del fruto fue de 0.275 ± 0.020 g, tuvo una longitud promedio de 0.620 ± 0.027 cm y un ancho promedio de 0.713 ± 0.031 cm, además de evidenciar 2 semillas por fruto. Mientras que las semillas tuvieron un peso de 0.019 ± 0.002 g. Se identificó que las variables presentaron una correlación altamente significativa, siendo la variable peso de semilla, la que presentó la mayor variabilidad relativa. Se concluye que *G. boerhaviifolia* “palo negro” evidencia frutos del tipo baya y semillas pequeñas, existiendo además una correlación positiva y alta entre las variables largo y ancho de fruto, lo cual permite diferenciarlo de cualquier otra especie del Bosque Seco del Norte del Perú. Constituyéndose ser información básica preliminar del estado productivo de frutos y semillas.

Palabras claves: Morfometría, semilla, *Grabowskia*, palo negro.

ABSTRACT

Grabowskia boerhaviifolia (L. f.) Schltdl. “Palo negro”, is classified as a forest species typical of the dunes of the Dry Forests of Peru, becoming a support for the development of other plant and animal species. Human intervention has contributed with its indiscriminate felling, to the accelerated decline of its population, so that for its reforestation elementary agronomic studies are needed that provide information on the productive state of fruits and seeds. In view of the need for greater knowledge, the objective was to determine the morphometry of fruits and seeds of *G. boerhaviifolia* “palo negro”. For this, fruits were collected from the Campus Area of the National University Pedro Ruiz Gallo, in Lambayeque. The weight, length and width of the fruit were evaluated in the laboratory, in addition to calculating the weight of the seed. The average weight of the fruit was 0.275 ± 0.020 g, have an average length of 0.620 ± 0.027 cm and an average width of 0.713 ± 0.031 cm, in addition to showing 2 seeds per fruit. While the seeds have a weight of 0.019 ± 0.002 g. It was identified that the variables presented a highly significant correlation, being the seed weight variable, which presented the greatest relative variability. It is concluded that *G. boerhaviifolia* “palo negro” evidences fruits of the berry type and small seeds, there is also a positive and high correlation between the variables length and width of the fruit, which allows it to be differentiated from any other species in the Northern Dry Forest of the Peru. Constituting to be preliminary basic information on the productive state of fruits and seeds.

Keywords: Morphometry, seed, *Grabowskia*, black stick.

1. INTRODUCCIÓN

Grabowskia boerhaviifolia (L.f.) Schltld. “palo negro” pertenece a la familia Solanaceae. El género *Grabowskia* con aproximadamente 6 especies, se distribuyen en México, Galápagos, Bolivia, Noreste de Argentina y Perú hasta los 1600 m.s.n.m. Del Perú *G. boerhaviifolia* se caracteriza por ser una especie arbustiva, perenne, espinosa, xerofítica, que alcanza los 3 m. de alto. Presenta hojas simples, alternas, pecioladas. Inflorescencias corimbosas con 2 a 8 flores blancas, pedunculadas. Flores solitarias o en cimas, medianas o pequeñas; cáliz acampanado. Los frutos son bayas drupáceas de 6 a 8 mm. de diámetro, amarillas o amarillo-anaranjadas al madurar. Esta especie se caracteriza por habitar en zonas desérticas, médanos, dunas, cercos, distribuyéndose a lo largo de la Costa norperuana (Global Plants, 2020; Mostacero et al., 2009; Tropicos, 2020).

Desde el punto de vista ecológico, *G. boerhaviifolia* cumple un rol esencial en protección del suelo para conservación de la humedad, aumentando la fertilidad del suelo en los Bosques Secos de la costa del Perú. Tanto *G. boerhaviifolia* como *Vallesia glabra* “Cuncúno” cumplen el rol de control de dunas, propiciando condiciones favorables para el desarrollo de otras especies como *Prosopis limensis* “huarango” y *Acacia macracantha* “espino” (Whaley et al., 2010; Mostacero et al., 2009). Así mismo *G. boerhaviifolia* constituyen fuente de alimento y refugio de una gran diversidad biológica de especies animales, destacando *Phytotoma raimondii* “cortarrama peruano” (MINAM, 2011; Whaley et al., 2010; Rosina y Romo, 2012). Sin embargo, en la actualidad especies forestales como los algarrobos (*Prosopis pallida*), sapotes (*Colicodendron scabridum*) y palo negro (*Grabowskia boerhaviifolia*), en los últimos años han disminuido considerablemente debido a la tala indiscriminada, por el uso como leña (La República, 2018).

La caracterización de los vegetales puede basarse en caracteres cualitativos o cuantitativos, siendo morfométricos aquellos que consiste en la toma de medidas (González, 2001). Los estudios morfométricos de frutos y semillas son parte de investigaciones que permiten caracterizar poblaciones y disponer de material genético para su mejoramiento o conservación (Bonilla et al., 2016; Iglesias et al., 2005). Estas características morfométricas han venido siendo estudiadas para determinar la diversidad genética, identificar plantas cultivadas y conservar los recursos genéticos (Onamu et al., 2012). Considerando que esta información es de importancia para la propagación de *G. boerhaviifolia*, con la finalidad de alcanzar un mejor manejo y conservación del ecosistema al generarse programas de reforestación (Iglesias et al., 2005; López et al., 2017; López et al., 2018; López et al., 2020). Ante la necesidad de un mayor conocimiento en esta área, el objetivo de la investigación fue determinar la morfometría de frutos y semillas de *G. boerhaviifolia* “palo negro”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta y morfometría

El material biológico fue colectado en el campus de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque que pertenece a los remanentes del bosque seco del norte del Perú, encontrándose en la Zona de Vida desierto desecado-Sub Tropical (ONERN,1976). Las coordenadas son: UTM WGS84 este: 620899.87, norte: 9258463,98 mientras que su altitud fue entre los 17 a 19 m.s.n.m (Figura 1). Una rama florífera fue seleccionada en base a su grado de floración y maduración, así como frutos maduros para su estudio morfométrico de frutos y semillas. La rama florífera fue colectada en prensa botánica para ser secada, montada y etiquetada en el Herbarium Truxillense (HUT), para su determinación taxonómica. Mientras que para los frutos se colectaron racimos de 30 plantas al azar para luego ser transportados en recipientes plásticos al Laboratorio de Biotecnología del Instituto de la Papa y Cultivos Andinos de la Universidad Nacional de Trujillo, donde se seleccionó 90 frutos, libres de lesiones de insectos y abolladuras.



Figura 1. Colecta de material botánico de *G. boerhaviifolia* “palo negro”, en el campus de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

En laboratorio, según la metodología de López et al. (2017), al tiempo de 24 horas de las colectas, se midió la longitud y el ancho de las bayas (frutos) de *G. boerhaviifolia* “palo negro” con un paquímetro Vernier Caliper®. Luego se registró el peso de los frutos y semillas, para ello las semillas fueron extraídas manualmente para luego ser pesadas utilizando una balanza analítica y estimar su desviación estándar para cada una de estas.

Análisis estadístico

Se consideró un análisis estadístico de tipo descriptivo, constituido por muestras aleatorias de 30 frutos con 3 repeticiones, por cada componente evaluado. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente con el software R, estimándose su desviación estándar, coeficiente de variación y análisis de correlación.



Figura 2. Frutos maduros de *G. boerhaviifolia* “palo negro”.

3. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 1, se resume la estadística de la morfometría de fruto y semilla de *G. boerhaviifolia* “palo negro”. Las variables largo del fruto y ancho del fruto, presentaron un coeficiente de variación de 11,522% y 11,486% respectivamente, presentado de esta manera una variabilidad relativa homogénea ($CV < 15\%$), mientras que la variable peso del fruto con un coeficiente de variación igual a 19.797%, una variabilidad relativa variable, siendo la variable peso de semilla, la que presentó la mayor variabilidad relativa ($CV = 23,963\%$).

Por otro lado, la tabla 2, resume el análisis de la correlación de las variables: Largo (cm), ancho (cm) y peso (gr) de frutos y semillas de *Grabowskia boerhaviifolia* “palo negro”. Se calculó las correlaciones de spearman y de pearson, así mismo, en las variables peso del fruto ($p = 0,638$) y peso de semilla ($p = 0,497$) se cumplió el supuesto de normalidad con la prueba Shapiro Will ($p > 0,05$), calculando la correlación de Pearson para ambas variables. Ambas presentaron una correlación altamente significativa ($p < 0,05$), así como una relación directa entre ellas.

Tabla 1. Resultados estadísticos de la morfometría de frutos y semillas de *Grabowskia boerhaviifolia* “palo negro”

Variable	Estimación de la media*	Des.Est.	CV (%)
Largo (cm)	0,620±0.027	0,071	11,522
Fruto Ancho (cm)	0,713±0.031	0,082	11,486
Peso (g)	0,275±0.020	0,054	19,797
Semilla Peso (g)	0,019±0.002	0,005	23,963

Nota: Des. Est. (Desviación estándar); CV (Coeficiente de variación).

*Estimación t student, al 95.0% de confianza con media±2,045*Error estándar de la media

Tabla 2. Análisis de la correlación de las variables: Largo (cm), ancho (cm), peso (gr), de frutos y peso de semillas de *Grabowskia boerhaviifolia* “palo negro”

Variable	Fruto_Largo (cm)	Fruto_Ancho (cm)	Fruto_Peso (g)	Semilla_Peso (g)
Fruto_Largo (cm)	1	$r_s = 0,734^*$ (p=0,000)	$r_s = 0,750^*$ (p=0,000)	$r_s = 0,602^*$ (p=0,000)
Fruto_Ancho (cm)		1	$r_s = 0,834^*$ (p=0,000)	$r_s = 0,717^*$ (p=0,000)
Fruto_Peso (g)			1	$r = 0,833^*$ (p=0,000)
Semilla_Peso (g)				1

Nota: *Las correlaciones son altamente significativas $p < 0,01$.

4. DISCUSIÓN

Referente a la morfometría de fruto de *G. boerhaviifolia* “palo negro” (Tabla1), presenta en promedio un largo de 0,620±0.027 cm y un ancho de 0,713±0.031 cm, es decir produce frutos del tipo baya pequeños (Figura 2). Comparado con otras especies del bosque seco como *Prosopis pallida* “algarrobo” que produce frutos del tipo legumbre cuyo largo y ancho de fruto es entre 10 - 28 cm y 11 -13 mm (Dostert et al., 2012; Galera, 2000). De la misma manera *Caesalpinia spinosa* “tara” con frutos del tipo legumbre cuyo largo y ancho de fruto es de 9,99 ± 1,5 cm y 1,89 ± 0,1 cm. Los frutos de *G. boerhaviifolia* tienen un peso de 0,275±0,020 g, el cual es menor comparado con los frutos de *P. pallida* y *C. spinosa* con 0,25-0,3 g y 3,82± 0,8 g, respectivamente (Bonilla et al., 2016; Castañeda, 2018).

Con respecto a la semilla de *G. boerhaviifolia* “palo negro” presenta un peso de 0,019±0,002 g, el cual es menor comparado con las semillas de *P. pallida* con 0,3 g y *C. spinosa* con 0,261 g, ambas especies del bosque seco del Perú (Bonilla et al., 2016; Campos et al., 2019; López y Gil., 2017; Villena et al.,

2019). Es importante resaltar que el peso de la semilla se relaciona con la tolerancia a la desecación, afirmándose que a menor peso mayor conservación y tolerancia a la desecación (Dickie y Pritchard 2002; Khurana et al. 2006; Magnitskiy y Plaza 2007; Romero y Pérez, 2016). Debido a que mantienen su viabilidad y son tolerantes a la desecación (Hong y Ellis, 1996; Romero y Pérez, 2016). A este tipo de semillas se les cataloga como ortodoxas ya que al ser almacenadas o conservadas se mantienen viables por un largo periodo de tiempo, pudiendo sobrevivir condiciones adversas como las presentes en el bosque seco del norte del Perú (FAO, FLD y Bioversity International, 2007). Por otro lado, referente a las bayas de *G. boerhaviifolia* “palo negro” tienen dos semillas por fruto, sin embargo, existe la tendencia que las especies del bosque seco produzcan frutos con muchas semillas para garantizar la supervivencia de la especie (García et al., 2018).

En cuanto al análisis estadístico de *G. boerhaviifolia* “palo negro” (Tabla 1), se demuestra que las variables con mayor variabilidad son el peso de semilla (CV=23.963%). Este resultado puede deberse a la influencia de factores ambientales y nutricionales (Silva et al., 2018). Los valores del coeficiente de correlación de Pearson (r) y Spearman (r_s) (Tabla 2), presentaron una correlación positiva, así mismo dichas correlaciones son altamente significativas (p < 0,01), lo cual es indicador de la existencia de una relación directa entre las variables. Resaltando que fueron las variables largo y ancho de fruto las que presentaron la mayor fuerza de asociación (altos valores de una variable implican altos valores en la otra variable), debido a la dependencia existente entre ambas variables en el estado productivo (Hinkle et al., 2003).

Cabe resaltar que los datos morfométricos *G. boerhaviifolia* “palo negro”, constituyen ser información básica preliminar del estado productivo de frutos y semillas de interés agronómico (García et al., 2018; Hernández et al., 2010). Siendo necesario estudios posteriores en germinación y viabilidad que permitan complementar la investigación, contribuyendo con la propagación y conservación de esta especie en bancos de semilla y programas de reforestación para restablecer el orden en el ecosistema de bosque seco del Perú.

3. CONCLUSIÓN

Se concluye que *Grabowskia boerhaviifolia* “palo negro” evidencia frutos del tipo baya y semillas pequeñas, existiendo una correlación positiva y alta entre las variables largo y ancho del fruto, lo cual permite diferenciarlo de cualquier otra especie del Bosque Seco del Norte del Perú. Constituyéndose ser información básica preliminar del estado productivo de frutos y semillas.

4. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Laboratorio de Biotecnología del Instituto de La Papa y Cultivos Andinos de la Universidad Nacional de Trujillo-Perú, por brindarnos las facilidades para llevar a cabo esta investigación en su establecimiento.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonilla, H., López, A., Carbajal, Y., y Siles, M. (2016). Análisis de variables morfométricas de frutos de “tara” provenientes de Yauyos y Ayacucho para identificar caracteres agromorfológicos de interés. *Revista Scientia Agropecuaria* 7(3): 157-164.
- Campos, D., Chávez, C., Lopéz, S., Mostacero, J., Gil, A., Lopéz, A., y De La Cruz, A. (2019). Efecto de la 6- bencilaminopurina y del medio de cultivo MS (1962) en el establecimiento *in vitro* de *Prosopis pallida* (willd.) Kunth. *Rebiol* 39 (2): 30- 40.

- Castañeda, N. (2018). *Vallesia glabra* (Cav.) Link (etnobotánica). Lima, Perú. Recuperado el 10 de enero del 2020. https://www.researchgate.net/publication/325978661_Link_Vallesia_glabra_Cav_Link_etnobotanica.
- Dickie, J., y Pritchard, H. (2002). Systematic and evolutionary aspects of desiccation tolerance in seeds. En: Black, M., Pritchard, H.W. (eds.), *Desiccation and Survival in Plants: Drying without Dying*. CAB International, Wallingford, Reino Unido. pp 239–259.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2012). *Hoja botánica: Algarrobo*. Lima, Perú: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. Recuperado el 12 de enero del 2020. http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Algarrobo_2012.pdf
- FAO, FLD y Bioersity International. (2007). *Conservación y manejo de los recursos genéticos forestales: En plantaciones y bancos de germoplasma (ex situ)*. Roma, Italia: Ed. Bioersity International.
- Galera, F. (2000). *Las especies del género Prosopis (algarrobos) de américa latina con especial énfasis en aquellas de interés económico*. Córdoba, Argentina: Ed. Talleres Gráficos de Graziani Gráfica.
- García, R., Castañeda, S., y Valdéz, E. (2018). Quality of rocoto pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) seeds in relation to extraction timing. *Acta Agronómica* 67(2): 246-251. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v67n2.59057>
- Global Plants. (2020). *Grabowskia boerhaviifolia* (L. f.) Schlttdl. [family SOLANACEAE]. Recuperado el 11 de enero del 2020, de Global Plants website: <https://plants.jstor.org/stable/10.5555/al.ap.specimen.cord00021411>
- González, AF. (2001). La caracterización morfológica. In: González-Andrés F, Pita-Villamil J.M (Eds.). *Conservación y Caracterización de Recursos Fitogenéticos*. Publicaciones I.N.E.A. Valladolid. España. pp: 199-217.
- Hernández, S., López, R., Porras, F., Parra, S., Villareal, M., y Osuna, T. (2010). Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia* 44(6): 667-677.
- Hinkle, D., Wiersma, W., y Jurs, S. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences* Boston, United States: Houghton Mifflin (Eds).
- Hong, T., y Ellis, R. (1996). Ex situ biodiversity conservation by seed storage: multiple-criteria to estimate seed storage behaviour. *Seed Science and Technology* 25: 157-161.
- Iglesias, L., Mora, I., y Casa, J.L. (2005). Morfometría, viabilidad y variabilidad de las semillas de la población de *Pinus hartwegii* del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Cuadernos de biodiversidad* 19(1): 14-18. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2006.19.03>
- Khurana, E., Sagar, R. y Singh, J. (2006). Seed size: a key trait determining species distribution and diversity of dry tropical forest in northern India. *Acta Oecologica* 29: 196-204. doi:10.1016/j.actao.2005.10.003
- La República. (2018). Serfor y municipio de Talara coordinan acciones para conservar bosque seco. Recuperado el 10 de enero del 2020, de La República website: <https://larepublica.pe/sociedad/1219827-serfor-y-municipio-de-talara-coordinan-acciones-para-conservar-bosque-seco/>
- López, S., Mendoza, C., López, A., Caicedo, M., Gil, A., y Pazos, A. (2017). Caracterización morfométrica de frutos y semillas de charalina, *Casimiroa edulis* (Rutaceae). *Rebiol* 37(1): 30-35.
- López, S., Caicedo, M., Gil, A., López, A., y Pazos, A. (2018). Morfometría de fruto y semilla de *Bixa orellana* L. "achiote". *Sciendo* 21(2): 213-216.
- López, S., Mostacero, L., Quijano, C., Gil, A., y Rabanal, F. (2020). Caracterización del fruto, semilla y fibra de *Gossypium raimondii* Ulbrich, ecotipo algodón silvestre. *Revista Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(1): 1-8. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1219
- López, S. y Gil, A. (2017). Efecto del acondicionamiento osmótico en la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Feuillée ex Molina) Kuntze (Fabaceae) "taya". *Arnaldoa*, 24 (1): 333-342. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>
- Magnitskiy, S., y Plaza, G. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana* 25(1): 96-103.
- MINAM. (2011). *La desertificación en el Perú. Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía*. Lima, Perú. Recuperado el 15 de enero del 2020, de MINAM website: <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/desertificacionperu.pdf>
- Mostacero, L., Mejía, F., y Gamarra, T. (2009). *Fanerógamas del Perú*. Trujillo, Perú: GRAFICART (Eds.).
- Onamu, R., Legaria, J., Sahagún, J., Rodríguez, J., y Pérez, J. (2012). Análisis de marcadores morfológicos y moleculares en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista fitotecnia mexicana* 35(4): 267-277.
- ONERN. (1976). *Mapa Ecológico del Perú*. Recuperado el 21 de junio del 2020, de ANA website: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1052>.

- Romero, J., y Pérez, C. (2016). Rasgos morfológicos regenerativos en una comunidad de especies leñosas en un bosque seco tropical tumbesino. *Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology and Conservation* 64: 859-873
- Rosina, M., y Romo, M. (2012). Reproducción y alimentación de *Phytotoma raimondii*, cortarrama peruana en El Gramadal, Ancash. *Revista Peruana de Biología*, 19(2), 167-173.
- Silva, L., Smiderle, O., Gomes, J., Lima, R., Miranda, F., y Bardales, R. (2018). Caracterización de frutos y semillas de *Astrocaryum aculeatum* G. Mey. en la amazonia septentrional, Roraima, Brasil. *Revista de Ciencias Agrarias Amazonian Journal* 61(1): 1-7. doi: 10.22491/rca.2018.2338
- Tropicos. (2020). *Grabowskia boerhaviifolia* (L. f.) Schlttdl. Recuperado el 5 de enero del 2020, de Tropicos website: <http://legacy.tropicos.org/name/29603213>
- Villena, J., Seminario, J., y Valderrama, M. (2019). Morphological variability of the "tara" *Caesalpinia spinosa* (Molina.) Kuntze (Fabaceae), in natural populations of Cajamarca: fruit and seed descriptors. *Arnaldoa* 26(2): 555-574. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>
- Whaley, O., Orellana, A., Pérez, E., Tenorio, M., Quinteros, F., Mendoza, M., y Pecho, O. (2010). *Plantas y Vegetación de Ica, Perú*. Lima, Perú: Litho Arte (Eds.). Recuperado el 5 de enero del 2020, http://www.kew.org/science/tropamerica/peru/resources/Plantas_de_Ica_ed2_book_vlr.pdf

Artículo Original

ACTIVIDAD LARVICIDA DE *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* Y *Beauveria bassiana* SOBRE *Aedes aegypti* LARVICIDAL ACTIVITY OF *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* AND *Beauveria bassiana* ON *Aedes aegypti*

¹Neyde Rebaza-Sánchez; ²Gina Zavaleta-Espejo; ²Willian Blas-Cerdán; ²José Saldaña-Jiménez,
²Juan Pedro-Huaman

1 Hospital EsSalud Almanzor Asenjo Aguina Chiclayo-Lambayeque
2 Universidad Nacional de Trujillo

Autor para correspondencia: neyde_385@hotmail.com

Recibido: 20 de mayo, 2020. Aceptado: 7 de junio, 2020

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la actividad larvicida de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* y *Beauveria bassiana* sobre larvas del III estadio de *Aedes aegypti*, bajo condiciones de laboratorio, además se determinó la dosis letal media (DL₅₀) y máxima (DL₉₀). Se realizaron los bioensayos con doce grupos experimentales y dos grupos control, con tres repeticiones, utilizando 25 larvas del III estadio de *A. aegypti* en 100 mL de agua destilada por cada unidad experimental. Se utilizaron seis grupos experimentales con *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis*, a las concentraciones de 670; 1683; 4247; 10619; 26673; 67000 esp/mL y un grupo control; obteniéndose una mortalidad del 50% a las 8 horas y del 100% a las 24 horas. Con *B. bassiana* se utilizaron seis grupos experimentales a las concentraciones de 4x10⁸; 1x10⁹; 2,5x10⁹; 6,3x10⁹; 1,6x10¹⁰; 4x10¹⁰ conidios/mL y un grupo control; obteniéndose una mortalidad del 50% a los 7 días y del 100% a los 9 días. Mediante la dosis letal media (LD₅₀) y máxima (DL₉₀) se demostró que tanto *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* como *B. bassiana* presentan mayor mortalidad en relación directa a la concentración e inversamente al tiempo. Se concluye que *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* y *B. bassiana* a las diferentes concentraciones utilizadas en los bioensayos, presentó una alta actividad larvicida en *A. aegypti* bajo condiciones de laboratorio.

Palabras claves: entomopatógeno, mortalidad, control biológico, hongo, bacteria

ABSTRACT

The fact of this research is the larvicidal activity of *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* and *Beauveria bassiana* on *Aedes aegypti*, under laboratory conditions. The average lethal dose (DL₅₀) and maximum (DL₉₀) was also determined. Biological testings were used with twelve experimental groups and two control groups, with three replications, using 25 *A. aegypti* larvae in 100 mL of distilled water for each experimental unit. Six experimental groups with *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis*, at concentrations of 670; 1683; 4247; 10619; 26673; 67000 esp / mL and a control group; obtaining a mortality of 50% at 8 hours and 100% at 24 hours. With *B. bassiana* six experimental groups were used at concentrations of 4x10⁸; 1x10⁹; 2.5x10⁹; 6.3x10⁹; 1.6x10¹⁰; 4x10¹⁰ conidia/mL and a control group; obtaining a mortality of 50% at 7 days and 100% at 9 days. Using the mean lethal dose (LD₅₀) and maximum (DL₉₀), it was shown that both *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* like *B. bassiana* present higher mortality in direct relation to concentration and inversely to time. In conclusion, *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* and *B. bassiana* at the different concentrations used in the biological testings shows high larvicidal activity in *A. aegypti* under laboratory conditions.

Keywords: entomopathogen, mortality, biological control, fungus, bacteria.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cuyos agentes etiológicos son transmitidos por mosquitos vectores, se encuentran entre las principales que afectan a los humanos (World Health Organization, 2014). En este contexto el virus del dengue es transmitido por la hembra del mosquito *A. aegypti*, que al alimentarse de la sangre de una persona infectada lo porta en su organismo e inicia la cadena de transmisión de la enfermedad (Duong et al., 2015). El ciclo biológico de este vector tiene dos etapas bien diferenciadas, la fase acuática con huevo, larva y pupa, y la fase aérea con el adulto o imago. *A. aegypti* es un mosquito doméstico por excelencia, vive en recipientes que acumulan agua por largo tiempo (Valdéz, 2009). En el departamento de La Libertad, las condiciones climáticas, el crecimiento urbano no planificado, la falta de saneamiento ambiental son factores propicios para la proliferación de este mosquito (Guerrero, 2018; Merino, 2019).

Durante muchos años se ha utilizado productos químicos para bajar los niveles de infestación de *A. aegypti*, tales como insecticidas organofosforados, piretroides, entre otros (Mendoza-Ledesma et al., 2015). En ese sentido el uso irracional de estos productos químicos ha contaminado el medio ambiente, debido a su efecto residual prolongado (Gallegos, 1995; Gómez y Cáceres, 2010). En Brasil, Argentina, México, Cuba, entre otros se usa insecticidas entomopatógenos de hongos y bacterias, considerándose una alternativa para reemplazar a los plaguicidas químicos (Rodas, 2016). Existen controladores biológicos como hongos que presentan tales cualidades como: *Beauveria*, *Metarhizium* y *Paecilomyces* y bacterias como *Bacillus thuringiensis* (Dong et al., 2012; Soares-da Silva et al., 2015).

B. thuringiensis (Bti) fue descrita por el científico japonés Shigetane Ishiwata en 1900, pero fue investigada en el año 1911 por el bacteriólogo Berliner. El bacilo fue usado por primera vez para el control de insectos a finales de 1920. En 1977 Golbert y Margalit aislaron una cepa de *B. thuringiensis* en Israel, que fue identificada por De Barjac en 1978 y clasificada como serotipo H-14 var. israelensis que afecta de forma muy específica a las larvas de mosquitos de las especies *A. aegypti*, *Anopheles albimanus* y *Culex quinquefasciatus* (Galán, 1993). *B. thuringiensis* es el agente microbiano más utilizado en el control de vectores usado por más de 30 años y no ha mostrado resistencia en las poblaciones de mosquitos en diferentes regiones del mundo (Bravo et al., 2011; Stalinski et al., 2016). Bti es una bacteria gram positiva que genera toxinas muy específicas contra *A. aegypti*, las mismas que actúan por ingestión. En su proceso de esporulación produce cristales paraesporales formados por la glicoproteína delta-endotoxina (Chandrashekhar et al., 2014). Después de la ingestión del cristal biocida, las condiciones de pH y la presencia de enzimas proteolíticas en la porción intestinal de las larvas, hidroliza el cristal, dando lugar a la formación de una sustancia tóxica que desintegra el intestino medio de la larva ocasionándole la muerte (Da Costa et al., 2010). Trabajos realizados en Florida con *B. thuringiensis* H-14 mostraron una efectividad del 55% de mortalidad de *A. aegypti* (Pruszyński et al., 2017).

Beauveria bassiana, es un organismo eucariótico heterótrofo que parasita a varios insectos (Miranpuri y Khachatourians, G. 1991), pertenece a la clase Hyphomycete, división Deuteromycetes, es un hongo entomopatógeno (Echevarría, 2006). El ataque de este hongo sobre el insecto huésped se da principalmente por contacto y se realiza en diferentes etapas divididas en: adherencia, germinación, diferenciación y penetración (Kouassi, 2001). Alcalde et al. (2014) demostró la efectividad biocida de *B. bassiana* sobre larvas del III estadio de *A. aegypti* al quinto día de aplicación con un LC₅₀ de 3,6x10⁶ conidios/mL. Diversas investigaciones han demostrado su efectividad biológica en el combate de este insecto, a concentraciones de 1x10⁷, 1x10⁸ y 1x 10⁹ bajo condiciones de laboratorio, con 80% de humedad y 27°C de temperatura, obteniendo elevados índices de mortalidad (Mwamburi et al., 2009; García-Munguía et al., 2011).

Es importante que los controladores biológicos vayan introduciéndose dentro de los programas de control de *A. aegypti*, ya que para reducir los índices aédicos se usa hasta la fecha el insecticida organofosforado temephos (Abate) para las fases larvianas y las cipermetrinas para los adultos, productos que se acumulan en el medio ambiente y además mata a otras formas de vida que se encuentran en la cadena alimenticia generando un desequilibrio en el ambiente (Montada et al., 2006; Guzmán y Cabrejos, 2017). Cabe recalcar que el vector del Dengue está mostrando resistencia a los productos químicos usados en el Perú y en otros lugares del mundo (Bisset et al., 2016). Por tal motivo es que el presente trabajo tuvo como

objetivo evaluar la actividad larvicida de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* y *B. bassiana* sobre *A. aegypti*; así como también determinar la DL₅₀ (dosis letal media) bajo condiciones de laboratorio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

OBTENCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LARVAS III DE *A. aegypti*:

Se trabajó con larvas de *A. aegypti* que fueron colectadas de barriles revestidos de cemento y baldes de plástico de viviendas positivas al vector del Distrito de Laredo, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad; estas fueron colectadas con goteros de plástico y colocados en frascos de plástico hasta su traslado al laboratorio Biología (MINSA, 2017).

CRIANZA DE *Aedes aegypti*:

En laboratorio, las larvas fueron colocadas en recipientes de plástico de 40x28x5 cm con 1 L de agua potable clorada, y fueron alimentadas durante todos los estadios con “alimento de peces” bien triturado previa esterilización (Zavaleta, 2010). El agua se cambió cada dos o tres días dependiendo de la descomposición orgánica, hasta que las larvas alcanzaron el estadio de pupa. Las pupas fueron colocadas en una jaula para adultos, las hembras (hematófagas) fueron alimentadas a la exposición cutánea de un cobayo por unos 30 minutos; y los machos (fitófagos) fueron alimentados con glucosa al 10 %. Se acondicionó un vaso descartable pequeño con agua potable clorada, donde se colocó papel filtro adherido a las paredes, sobre el cual las hembras realizaron la oviposición aproximadamente entre 50 y 100 huevos por hembra (Pérez et al., 2004). Después de obtener un número suficiente fueron sumergidos en agua potable hasta obtener las larvas de III estadio que fueron utilizadas en los bioensayos.

PREPARACIÓN DEL CULTIVO DE *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis*:

La cepa de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* se obtuvo de la Universidad Cayetano Heredia perteneciente al lote N° 91509 del Instituto Pasteur de Paris – Francia.

Reactivación de la cepa: Se tomó una asada del cultivo obtenido en el medio TPH (Triptosa fosfato) y se sembró por el método de agotamiento en medio agar NYSMA para la esporulación, luego se incubó a 30°C por 24 horas. Se realizó el control microbiológico mediante la coloración Gram y verde de malaquita modificado (Ventosilla et al., 2000). Para el reaislamiento se seleccionó una colonia típica y se tomó una asada de esta y se procedió como en el caso anterior.

Siembra en el medio Agar Nysma: Para la siembra se tomó una asada de una colonia típica de *B. thuringiensis* H- 14 var. *israelensis* y se hizo una suspensión en 1ml de solución salina estéril y se homogenizó por 3 minutos. De este homogenizado se extrajo 100 uL y se hicieron 3 diluciones con solución salina estéril, la última dilución se sembró en seis placas por desplazamiento superficial y colocado a estufa por 30°C durante 96 horas. Cada 24 horas se hizo el control microbiológico (coloración Gram y verde de malaquita modificado) (Vandekar y Dulmage, 1982).

Cosecha de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis*: Concluido el tiempo de incubación se realizó la cosecha, en tubos cónicos estériles. Para el primer lavado se agregó 10 mL de solución salina estéril y se centrifugó a 3500 r.p.m. por 25 minutos, para los dos lavados siguientes se realizó el mismo procedimiento que para el primer lavado. Finalmente, la cosecha se inactivó a 75°C por 15 minutos y se realizó los respectivos controles microbiológicos y toxicológicos. El resto se selló y guardó a 4°C hasta su posterior uso (Ventosilla et al., 2000).

Dosificación del inóculo: Del lavado obtenido se hicieron 8 diluciones, que fueron sembradas en medio Agar NYSMA para el conteo de colonias, determinándose la concentración madre y de la cual se obtuvo las diferentes concentraciones que fueron usadas en el bioensayo (Vargas et al, 2001).

INOCULACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* SOBRE LAS LARVAS DE III ESTADIO DE *A. aegypti*

Para el bioensayo de capacidad biocida se utilizaron 525 larvas de *A. aegypti* de III estadio de desarrollo, las que se repartieron en vasos de plástico de 250 mL de capacidad, cada vaso con 25 larvas y 100mL de agua destilada. Se trabajó por triplicado 7 grupos, de los cuales seis fueron experimentales y el séptimo fue el grupo control. A los experimentales se les adicionó una suspensión de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* a las concentraciones de 670; 1683; 4227; 10619; 26673 y 67000 esp/mL respectivamente. Al grupo control no se le adicionó la suspensión bacteriana. A los siete grupos se mantuvo a las mismas condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa, las lecturas fueron realizadas a las 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas (Zavaleta, 2010).

PREPARACIÓN DEL CULTIVO DE *Beauveria bassiana*:

El cultivo de *B. bassiana* Uchisa-Perú fue proporcionada por el laboratorio de Biología Celular de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo.

Siembra de la Cepa de *B. bassiana*: Se tomó esporas del cultivo y se sembró en 6 frascos de vidrio estériles con medio Agar Papa Dextrosa, estos fueron incubados a 27 °C, por ocho días hasta observar la formación de colonias características de *B. bassiana* (Lucero et al., 2004).

Cosecha del hongo: A los 8 días, de los 6 frascos de vidrio sembrados, se realizó la cosecha, la que fue colocada en una suspensión de Tween 80 al 0.1% (Gerónimo-Torres et al., 2016).

Dosificación del inóculo: A partir de esta suspensión se hicieron diluciones seriadas y con un microscopio de luz (40x) más la cámara Neubauer, se realizó el recuento de los conidios infectivos por mililitro a fin de calcular la concentración de la suspensión madre (Gerónimo-Torres et al., 2016).

INOCULACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE *B. bassiana* SOBRE LAS LARVAS DE III ESTADIO DE *A. aegypti*.

Para el bioensayo de capacidad biocida se utilizaron 525 larvas de *A. aegypti* de III estadio de desarrollo, las que se repartieron en vasos de plástico de 250 mL de capacidad, cada vaso con 25 larvas y 100mL de agua destilada. Se formaron 7 grupos por triplicado, de los cuales seis fueron experimentales y el séptimo fue el grupo Control. A los experimentales se les adicionó una suspensión de *B. bassiana* a las concentraciones de 4×10^8 ; 1×10^9 ; 2.5×10^9 ; 6.3×10^9 ; 1.6×10^{10} y 4×10^{10} conidios/ml respectivamente. Al grupo control no se le adicionó la suspensión de esporas. A los siete grupos se mantuvieron a las mismas condiciones ambientales como la temperatura y humedad relativa, las lecturas se realizaron a los 4, 5, 6, 7, 8, y 9 días.

INDICADORES DEL EFECTO DE *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* y de *B. bassiana* SOBRE LAS LARVAS DE *A. aegypti*

Las larvas que fueron afectadas por *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* presentaron color negruzco, deshidratadas y no tuvieron movimiento (Federici, 1982). Las larvas que fueron afectadas por *B. bassiana* presentaron color pardo oscuro, disminución en la movilidad y alimentación, desecación del tejido, y momificación (Anderson et al., 1989).

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS LETAL MEDIA (DL₅₀) Y MÁXIMA (DL₉₀):

Mediante el conteo de larvas muertas de III estadio de *A. aegypti* en cada una de las concentraciones de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* y de *B. bassiana*, a partir de estos datos se obtuvo el promedio de cada concentración, las cuales fueron utilizadas para determinar la (DL₅₀) y (DL₉₀) mediante el análisis de regresión. Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente aleatorizado (DEBCA) donde cada concentración es un tratamiento y cada bloque es el tiempo, para determinar la actividad larval de Bti y *B. bassiana*.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Con los datos obtenidos se calculó los estimadores estadísticos como la media, varianza, error estándar, análisis de regresión para determinar la relación entre las concentraciones de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* y de *B. bassiana*, en la mortalidad de larvas de *Aedes aegypti*, así como también se realizó el análisis de varianza y la comparación de promedios mediante la Prueba de Comparación Múltiple de Duncan con una PEI ≤ 0.05 para determinar la existencia de diferencias significativas (Calzada, 1994). Se utilizó el software libre R para realizar el análisis estadístico con una PE ≤ 0.05 .

3. RESULTADOS

En la Tabla 1, se presenta el porcentaje promedio de mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* evaluadas a las 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas. Se observó que a las 2 horas el mayor porcentaje de mortalidad de larvas fue a la concentración de 67000 esp/mL y a las 4 horas el porcentaje de mortalidad fue mayor al 50% en las concentraciones 4227; 10619; 26673; 67000 esp/mL; y a las 24 horas el porcentaje de mortalidad de larvas fue de 100% en las seis concentraciones mientras que en el control no murió ninguna larva.

La dosis letal media (DL₅₀) y máxima (DL₉₀) de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* sobre larvas del III estadio de *A. aegypti* para las diferentes horas de exposición se muestra en la Tabla 2.

Se demostró la existencia de diferencias significativas a través del análisis de varianza para la mortalidad del III estadio larval de *A. aegypti* a diferentes concentraciones de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis*, tal como se demuestra en la Tabla 3, a través de la comparación de los promedios aplicando la prueba de Duncan (Tabla 4).

En la Tabla 5, se observa el Análisis de Varianza en Bloques para la mortalidad de larvas de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones y tiempos de exposición de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* en condiciones de laboratorio, el cual demostró presentar diferencias significativas entre bloques (tiempos) y en los tratamientos (concentración).

En la tabla 6, se presenta el porcentaje promedio de mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones de *B. bassiana* evaluadas a los 4, 5, 6, 7, 8 y 9 días. A los 4 días el mayor porcentaje de mortalidad de larvas se dio en la concentración de 4×10^{10} conidios/mL y a los 5 días el porcentaje de mortalidad fue mayor al 50% en 3 de las concentraciones 6.3×10^9 ; 1.6×10^{10} ; 4×10^{10} conidios/mL; y a los 9 días el porcentaje se tuvo un 100% de mortalidad larval en las seis concentraciones mientras que en el testigo no murió ninguna larva.

La dosis letal media (DL₅₀) y máxima (DL₉₀) de *B. bassiana* sobre larvas del III estadio de *A. aegypti* para los diferentes días de exposición se muestra en la Tabla 7.

El Análisis de Varianza para la mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones de *B. bassiana* bajo condiciones de laboratorio demostró presentar diferencias significativas entre los tratamientos (concentración) como se demuestra en la Tabla 8, a través de la comparación de los promedios aplicando la prueba de Duncan (Tabla 9).

En la Tabla 10, se observa el Análisis de Varianza en Bloques para la mortalidad de larvas de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones y tiempos de exposición de *B. bassiana* en condiciones de laboratorio, el cual demostró presentar diferencias significativas entre bloques (tiempos) y en los tratamientos (concentración).

Tabla 1. Porcentaje promedio de mortalidad de larvas de III estadio de *Aedes aegypti*, expuestas a diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* evaluadas a las 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas, bajo condiciones de laboratorio.

Tiempo	Conc.						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Control
2 horas	4	6	17	53	79	91	0
4 horas	23	25	51	77	85	95	0
6 horas	45	69	81	93	97	100	0
8 horas	63	81	91	97	100	100	0
12 horas	83	89	100	100	100	100	0
24 horas	100	100	100	100	100	100	0

Temperatura 27 ± 2°C, Humedad relativa 80 ± 2

Leyenda:

C₁ = 670 esp/mL
 C₂ = 1683 esp/mL
 C₃ = 4227 esp/mL
 C₄ = 10619 esp/mL
 C₅ = 26673 esp/mL
 C₆ = 67000 esp/m

Tabla 2. Dosis letales (esporas/mL) al 50% (DL₅₀) y 90% (DL₉₀) e intervalos de confianza de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* sobre larvas del III estadio de *Aedes aegypti* bajo condiciones de laboratorio.

Tiempos de exposición	DL	Valor	Intervalos de confianza (95%)	Ecuación de la recta
2 horas	DL ₅₀	10786,03	8956,37 - 13058,43	-7,43655 + 1,84398x
	DL ₉₀	53438,02	40137,04 – 77227,68	
4 horas	DL ₅₀	3681,29	2835,28 – 4686,16	-4,53378 + 1,27139x
	DL ₉₀	37496,57	25887,00 – 61424,09	
6 horas	DL ₅₀	796,014	509,28– 1102,40	-3,85796 + 1,32991x
	DL ₉₀	7320,80	5324,54 – 11280,59	
8 horas	DL ₅₀	453,13	249,10 – 656,65	-4,23886 + 1,59582x
	DL ₉₀	2879,33	2166,38 – 4263,63	
12 horas	DL ₅₀	218,56	52,48 – 391,92	-4,026236 + 1,72091x
	DL ₉₀	1214,16	853,33 – 1774,96	

P.E ≤ 0,05

Tabla 3. Análisis de Varianza para la mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* en condiciones de laboratorio.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor Calculado	Valor Tabulado
Tratamiento	6	7370	1228,3	32,17	<2e-16*
Error experimental	119	4544	38,2		
Total	125	119914			

P.E ≤ 0,05

* Presenta diferencia significativa
P.E: Probabilidad de error

Tabla 4. Comparación de promedios aplicando la prueba de Duncan para la mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* según las concentraciones de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis*.

Concentración	Media	Diferencia significativa
670	13,2	X
1683	15,4	X
4227	18,3	X X
10619	21,4	X
26673	23,6	X
67000	24,4	X

P.E ≤ 0,05

“X”: indica diferencia significativa.

Tabla 5. Análisis de Varianza en bloques para la mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones y tiempos de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* en condiciones de laboratorio.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor Calculado	Valor Tabulado
Entre tratamientos	5	7370	1228,3	82,39	<2e-16*
Entre bloques	5	2844	568,9	38,16	<2e-16*
Error	114	1699	14,9		
Total	125	11913			

P.E ≤ 0,05

* Presenta diferencia significativa
P.E: Probabilidad de error

Tabla 6. Porcentaje promedio de Mortalidad de larvas de III estadio de *Aedes aegypti*, expuestas a diferentes concentraciones de *Beauveria bassiana* evaluadas a los 4, 5, 6, 7, 8 y 9 días en condiciones de laboratorio.

Conc. Tiempo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Control
	4 días	1	5	17	41	53	69
5 días	23	32	47	73	75	82	0
6 días	44	63	79	89	87	100	0
7 días	64	79	89	100	100	100	0
8 días	83	89	100	100	100	100	0
9 días	100	100	100	100	100	100	0

Temperatura $27 \pm 2^\circ\text{C}$, Humedad relativa 80 ± 2

Leyenda:

$C_1 = 4 \times 10^8$ conidios/mL
 $C_2 = 1 \times 10^9$ conidios/mL
 $C_3 = 2.5 \times 10^9$ conidios/mL
 $C_4 = 6.3 \times 10^9$ conidios/mL
 $C_5 = 1.6 \times 10^{10}$ conidios/mL
 $C_6 = 4 \times 10^{10}$ conidios/mL

Tabla 7. Dosis letales (conidios/mL) al 50% (DL₅₀) y 90% (DL₉₀) e intervalos de confianza de *Beauveria bassiana* sobre larvas del III estadio de *Aedes aegypti* bajo condiciones de laboratorio

Tiempos de exposición	DL	Valor	Límites de confianza (95%)	Ecuación de la recta
4 días	DL ₅₀	1,34E+10	1,04E+10 – 1,81E+10	-13,20213 + 1,30352x
	DL ₉₀	1,29E+11	7,80E+10 – 2,6163E+11	
5 días	DL ₅₀	2,67E+09	1,89E+09 – 3,66E+09	-8,55511 + 0,90755x
	DL ₉₀	6,90E+10	3,82E+10 – 1,64417E+11	
6 días	DL ₅₀	5,18E+08	3,07E+08 – 7,56E+08	-9,31346 + 1,06873x
	DL ₉₀	8,20E+09	5,58E+09 – 1,40E+10	
7 días	DL ₅₀	2,67E+08	1,44E+08 – 3,92E+08	-12,79293 + 1,51831x
	DL ₉₀	1,86E+09	1,39E+09 – 2,78E+09	
8 días	DL ₅₀	1,31E+08	3,15E+07 – 2,35E+08	-14,02846 + 1,72817x
	DL ₉₀	7,23E+08	5,09E+08 – 1,06E+09	

P.E ≤ 0,05

Tabla 8. Análisis de Varianza para la mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones y tiempos de *B. bassiana* en condiciones de laboratorio.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor Calculado	Valor Tabulado
Entre tratamientos	6	6726	1121,0	29,04	<2e-16*
Error experimental	119	4594	38,6		
Total	125	11320			

P.E ≤ 0,05

* Presenta diferencia significativa
P.E: Error experimental

Tabla 9. Comparación de promedios aplicando la prueba de Duncan para la mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* según las concentraciones de *B. bassiana*.

Concentración	Media	Diferencia significativa
4x10 ⁸	13	X
1x10 ⁹	15	X X
2.5x10 ⁹	18	X X X
6.3x10 ⁹	21	X
1.6x10 ¹⁰	21	X
4x10 ¹⁰	23	X

P.E ≤ 0.05

“X”: indica diferencia significativa

Tabla 10. Análisis de Varianza en bloques para la mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* expuestas a diferentes concentraciones y tiempos de *B. bassiana* en condiciones de laboratorio.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor Calculado	Valor Tabulado
Entre tratamientos	6	6726	1121.0	106.80	<2e-16*
Entre bloques	5	3398	679,5	64,75	<2e-16*
Error	114	1197	10,5		
Total	125	113.21			

P.E ≤ 0,05

* Presenta diferencia significativa
P.E: Error experimental

4. DISCUSIÓN

Al evaluar la actividad larvicida de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* (Bti) en *A. aegypti*, se encontró que las diferentes concentraciones de Bti y tiempos de exposición ocasiona una mortalidad significativa sobre las larvas del III estadio (Tabla 1), en la misma tabla se observa que a mayor concentración del Bti mayor es la mortalidad larval producida, resultados concordantes con Lee y Zairi (2006), quienes demostraron una reducción de más del 80% de *Aedes* en los contenedores tratados en condiciones de campo en Malasia. La muerte masiva de las larvas del III estadio de *A. aegypti* a las 24 horas, en el mismo sentido Couch (1980), señala que altas mortalidades larvales de mosquitos se producen entre las 24 y 48 horas de realizadas las aplicaciones. Los resultados obtenidos en la investigación se encuentran dentro de los límites establecidos del tiempo de mortalidad.

En un trabajo de investigación en el que se desea comprobar la actividad de una sustancia determinada es necesario conocer la dosis letal media y máxima, porque a partir de ellas se pueden elegir las concentraciones más adecuadas para conseguir un objetivo determinado (Blas et al., 2017). En ese sentido se utilizó la línea de regresión para determinar las concentraciones de Bti que ocasionan la letalidad media y máxima de las larvas III de *A. aegypti* según los tiempos establecidos (Tabla 2), donde se observa que a mayor tiempo de exposición de las diferentes concentraciones de Bti menor es la dosis letal media (DL₅₀) y (DL₉₀). Se determinó las dosis letales medias (DL₅₀) y dosis letales al 90% (DL₉₀) de Bti a diferentes tiempos de exposición, a las dos horas la (DL₅₀) y (DL₉₀) fue de 10786,03 y 53438,02 esporas/mL respectivamente y a las doce horas la (DL₅₀) y (DL₉₀) fue de 218,5677 y 1214,1617 esporas/mL, resultados que evidencian que las larvas de *A. aegypti* son susceptibles a la acción tóxica de la deltaendotoxina, resultados concordantes con Penata et al. (2013) reportan que a mayor tiempo de exposición menor es la dosis letal media (DL₅₀).

Con respecto a los resultados obtenidos se observa que el número de larvas muertas de *A. aegypti* se va incrementando hasta el sexto tratamiento en cada repetición y dentro de cada concentración, este comportamiento distinto indicado con sus promedios fue confirmados por el análisis de varianza (Tabla 3), para identificar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, a pesar de ser un método riguroso es muy genérico y sensible a las diferencias que se puedan presentar por lo menos en un par de tratamientos, ante ello se aplicó la prueba de comparación de promedios de Duncan (Tabla 4). Estas diferencias que existen entre todos los tratamientos se deberían a la cantidad de cristales ingeridos por las larvas de acuerdo a la concentración, pues a mayor concentración, mayor es la cantidad de cristales, desencadenándose su acción tóxica y provocando la muerte de las larvas (Percy y Fast, 1986). El cristal proteico de (Bti) evidenciado con la coloración verde de malaquita modificado demostró ser efectivo contra las larvas del III estadio de *A. aegypti*. Sin embargo, nuestros resultados demostraron que la eficiencia del (Bti) aplicado en menor concentración se vio reducido durante las primeras horas como lo menciona (Becker et al., 1992). Según estudios realizados en laboratorio demuestran que las larvas de *Aedes* y *Culex* necesitan temperaturas óptimas que oscilan entre 28 y 30 °C para aumentar su efectividad y por lo tanto su metabolismo (Delnat et al., 2019).

Cuando se trabaja con más de una variable y se desea comprobar si una de ellas ejerce un efecto en el comportamiento de la otra es necesario aplicar un diseño experimental en bloques completos al azar, en nuestro trabajo comprobamos que la variable tiempo de exposición influye en la actividad larvicida del Bti (Tabla 5), tal como lo reporta en su investigación Chandrashekhar et al., (2014) a mayor tiempo de exposición el porcentaje de mortalidad larval es alta, llegando al 100% a las 24 horas.

En la Tabla 6, se observa que el porcentaje promedio de mortalidad de larvas de *A. aegypti* a la aplicación de *B. bassiana* se da a partir de los 4 días y está en relación directa al tiempo y a la concentración, pues a mayor tiempo de exposición a las concentraciones aumenta la mortalidad de larvas de *A. aegypti*, resultados similares a los obtenidos por Miranpuri y Khachatourians, (1991), quienes encontraron una gran efectividad de *B. bassiana*, contra este insecto. Esta efectividad se debe a los conidios de *B. bassiana* pues estos son retenidos por contacto en la superficie de la cutícula hasta formar los túbulos germinales que facilitan la diseminación del hongo a través del hemocele (Deshpande, 1999), alterando sus funciones fisiológicas, así como, el deterioro de sus órganos hasta producirle parálisis y finalmente la muerte en un lapso entre 4 y 12 días (Ishii et al., 2015), corroborando los resultados obtenidos, encontrándose dentro de los límites establecidos del tiempo de mortalidad.

La dosis letal media (DL₅₀) y máxima (DL₉₀) de *B. bassiana* sobre las larvas del III estadio de *A. aegypti* (Tabla 7) para cada uno de los tiempos establecidos evidencia que a mayor tiempo de exposición a las diferentes concentraciones de *B. bassiana* menor es la dosis letal media (DL₅₀) y máxima (DL₉₀), resultados similares a los de Daniel et al., (2017) quien reporta un (DL₅₀) de 29,177 ppm a las 24 horas mientras que a las 48 horas determina una (DL₉₀) de 1,2309 ppm. Se determinó las dosis letales medias (DL₅₀) y dosis letales al 90% (DL₉₀) a diferentes tiempos de exposición, las cuales fueron de 1,34E+10 y 1,29E+11 conidios/mL respectivamente y a las doce horas la (DL₅₀) y (DL₉₀) fueron de 1,31E+08 y 7,23E+08 conidios/mL, resultados que demuestran que las larvas de *A. aegypti* son susceptibles a la acción de los conidios, resultados similares con Alcalde et al., (2014) quien reporta una disminución de las dosis letales a mayor tiempo de exposición.

De los resultados obtenidos para *B. bassiana* se observa que el número de larvas muertas de *A. aegypti* va incrementando hasta el sexto tratamiento en cada repetición y dentro de cada concentración, este comportamiento variado en sus promedios fue confirmado por el análisis de varianza donde se determinó la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 8), ante ello se aplicó la prueba de comparación de promedios de Duncan (Tabla 9). Según el Análisis de Varianza en bloques realizados para *B. bassiana* (Tablas 10), muestran que el nivel de variación tiempo afecta el comportamiento de los tratamientos, puesto que este es un ser vivo parasito facultativo cuyo proceso infectivo de las esporas pasa por cuatro etapas que se completan en un lapso de 4 a 12 días hasta que se produce la muerte del hospedero (Kuoassi, 2001), por lo tanto el efecto que producen los conidios de *B. bassiana* depende del tiempo que transcurra, así como también de la concentración y de la cepa utilizada.

El cultivo de *B. bassiana* Uchisa-Perú, utilizada en esta investigación es normalmente empleada para matar especímenes del orden lepidóptera, y al ser probada sobre larvas de *A. aegypti* mostró ser un excelente larvicida, aun cuando el cultivo utilizado no es específico para especies del orden díptera. Esto corrobora los resultados reportados por Maniania y Fargues (1984); Feng y Jhonson (1990), quienes encontraron que la especificidad de los aislados de hongos (Hyphomycetes) entomopatógenos no es estrecha y que el insecto hospedero de origen, no tiene influencia significativa con la virulencia, en este grupo de hongos.

Existen varios factores que regulan la virulencia en un hongo entomopatógeno, la germinación, el equipo enzimático, la capacidad de penetración y el de vencer los mecanismos de resistencia, por parte de los hemocitos del insecto, así como la producción de metabolitos tóxicos, son algunos de ellos (Pelizza et al., 2020). Del mismo modo por parte del insecto, la especie, la raza, momento de su ciclo biológico, estado fisiológico y algunos factores físicos como la temperatura y la humedad relativa, modifican la expresión de la virulencia (Maniania y Fargues, 1984). Por lo tanto, *B. bassiana* requiere de una temperatura óptima para su crecimiento de 27±2 °C y de una humedad relativa de 80% ± 2, factores que podrían afectar la expresión de su virulencia.

En la presente investigación los resultados obtenidos, evidencian el alto potencial el uso de entomopatógenos, para el control de *A. aegypti*, siendo una alternativa para implementar en la lucha contra los vectores e ir reemplazando a los insecticidas químicos que alteran y permanecen en el medio ambiente, sobre todo porque algunos insectos han desarrollado resistencia. Por lo tanto, se propone el uso tanto (Bti) y *B. bassiana* como una alternativa al control de *A. aegypti*, principal transmisor de dengue en la provincia de Trujillo.

5. CONCLUSIONES

Bacillus thuringiensis H-14 var. *israelensis* y *B. bassiana* presentó una alta actividad larvicida sobre *A. aegypti* bajo condiciones de laboratorio.

La más alta concentración (esp/mL) de *B. thuringiensis* H-14 var. *israelensis* presentó un mayor porcentaje de mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* en el menor tiempo de exposición.

La más alta concentración (conidios/mL) de *B. bassiana* presentó un mayor porcentaje de mortalidad de larvas del III estadio de *A. aegypti* en el menor tiempo de exposición.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde, J., Roldán, J., Saravia, V., y Collantes, L. (2014). Efecto Biocida de diferentes concentraciones de *Metarhizium anisopliae* ccb-le302 y *Beauveria Bassiana* CCB-LE265 sobre larvas III de *Aedes aegypti*. UCV - Scientia 6(1): 33-40.
- Anderson, T., Hajek, A., Roberts, D., Preisler, H., y Robertson, J. (1989). Colorado potato beetle (coleoptera: Chrysomelidae): effects of combinations of *Beauveria bassiana*, with insecticides. Journal of Econ. Entomol 82 (1): 83-89.
- Becker, N., Zgomba, M., Ludwing, M., Petric, D., y Rettich, F. (1992). Factors influencing the activity of *Bacillus thuringiensis* var *israelensis* treatments. J Am Mosq Control Assoc. 8(3): 285-289.
- Bisset, J., Rodríguez, M., Hurtado, D., Hernández, H., Valdéz, V., y Fuentes, I. (2016). Resistencia a insecticidas y sus mecanismos bioquímicos en *Aedes aegypti* del municipio Boyeros en los años 2010 y 2012 Revista Cubana de Medicina Tropical 68(1): 82-94.
- Blas, W., Zavaleta, G., Blas, W., y Meléndez, D. (2017). Efecto biocida de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* mutante sobre larvas III de *Aedes aegypti* bajo condiciones de laboratorio. REBIOL 37(2): 14 -21.
- Bravo, A., Likitvivanavong, S., Gill, S., y Soberón, M. (2011). *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. Insect Biochemistry and Molecular Biology Volumen 41(7): 423-431.
- Calzada, J. (1994). Modelos estadísticos para la investigación. Lima – Perú: 447.
- Chandrashekhar, P., Hemant, B., y Satish, P. (2014). Evaluation of Different Culture Media for Improvement in Bioinsecticides Production by Indigenous *Bacillus thuringiensis* and their Application against Larvae of *Aedes aegypti*. Scientific World Journal Volumen 2014: 1-6.
- Couch, T. (1980). Mosquito pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* var *israelensis*. Developments in Industrial Microbiology. 9(4)22-27.
- Da Costa, J., Rossi, J., Marucci, S., Alves, E., Volpe, H., Ferraudo, A., y Lemos, M. (2010). Atividade Tóxica de Isolados de *Bacillus thuringiensis* a Larvas de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). Neotropical Entomology 39(5):757-766.
- Daniel, J., Silva, A., Nakagawa, D., Medeiros, L., Carvalho, M., Tavares, L., Abreud, L., y Rodrigues, E. (2017). Larvicidal Activity of *Beauveria bassiana* Extracts against *Aedes aegypti* and Identification of Beauvericins. J. Braz. Chem. vol.28 no.6: 1003-1013.
- Delnat, V., Tran, T., Janssens, L., y Stoks, R. (2019). Daily temperature variation magnifies the toxicity of a mixture consisting of a chemical pesticide and a biopesticide in a vector mosquito. Science of The Total Environment Vol 659: 33-40.
- Deshpande, M. (1999). Mycopesticide production by fermentation: potential and challenges. Crit. Rev. Microbiol. 25: 229-243.
- Dong, Y., Morton, J., Ramírez, J., Souza-Neto, J., y Dimopoulos, G. (2012). The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* activate toll and JAK-STAT pathway-controlled effector genes and anti-dengue activity in *Aedes aegypti*. Insect Biochemistry and Molecular Biology 42: 126-132.

- Duong, V., Lambrechtsb, L., Paul, R., Ly, S., Srey, R., Long, K., Huy, R., Tarantola, A., Scott, T., Sakuntabhai, A., y Buchy, P. (2015). Asymptomatic humans transmit dengue virus to mosquitoes. *PNAS* vol. 112, Núm. 47: 14688–14693.
- Echeverría, F. (2006). Caracterización biológica y molecular de aislamientos del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin 2006. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Federici, A. (1982). Site of action of the delta-endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in mosquito and blackfly larvae. In: Basic biology of microbial larvicides of vector of human diseases. Special program for research and training in tropical diseases. Geneva, Switzerland: UNDP/WORLD BANK/WHO; p. 37-47.
- Feng, M., y Jhonson, J. (1990). Relative virulence, of si isolates of *Beauveria bassiana* on *Diuraphis noxia*. *Environ. Entomol.* 19, 785 – 790.
- Galán, L. (1993). Selección de cepas nativas y de extractos de fermentación de *Bacillus thuringiensis* contra *Trichoplusia ni* (Hubner) *Heliothis virescens* (Fabricius) (Lepidóptera: Noctuidae). (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Gallegos, I. (1995). Respuesta hematológica del bagre de canal *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818) a exposiciones subletales CL₅₀ 96 hrs. del insecticida organofosforado Abate (temephos) en condiciones de laboratorio. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- García-Munguía, A., Garza-Hernández, J., Rebollar-Tellez, E., Rodríguez-Pérez, M., y Reyes-Villanueva, F. (2011). Transmission of *Beauveria bassiana* from male to female *Aedes aegypti* mosquitoes. *Parasites & Vectors* 2011, 4:24.
- Gerónimo-Torres, J., Torres-De La Cruz, M., De La Cruz-Perez, M., Pérez-De La Cruz, M., De La Cruz-Pérez, A., Ortiz-García, F., y Cappello-García, S. (2016). Caracterización de aislamientos nativos de *Beauveria bassiana* y su patogenicidad hacia *Hypothenemus hampei*, en Tabasco, México, *Revista Colombiana de Entomología* 42 (1): 28-35.
- Gómez, M., y Cáceres, J. (2010). Toxicidad por insecticidas organofosforados en fumigadores de Campaña contra el Dengue, estado Aragua, Venezuela, año 2008. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* Vol. L, Nº 1, enero-julio.
- Guerrero, M. (2018). Relación entre la Gestión en Promoción de la Salud y las Prácticas de Prevención del Dengue en las familias de Pueblo Viejo -2018. (Tesis de maestría). Universidad César Vallejo, Trujillo-Perú.
- Guzmán, J., y Cabrejos, K. (2017). Evaluación de la resistencia del temephos (abate) y efectividad del regulador de crecimiento pyriproxyfen (pyrilarv 0.5 %) en poblaciones de *Aedes aegypti* de Olmos y Tumán. Lambayeque. (Tesis de pregrado). Universidad Pedro Ruíz Gallo, Perú.
- Ishii, M., Takeshita, J., Ishiyama, M., Tani, M., Koike, M., y Aiuchi, D. (2015). Evaluation of the pathogenicity and infectivity of entomopathogenic hypocrealean fungi, isolated from wild mosquitoes in Japan and Burkina Faso, against female adult *Anopheles stephensi* mosquitoes. *Fungal Ecology* 15: 39-50.
- Kouassi, M. (2001). Les possibilités de la lutte microbiologique emphase sur le champignon entomopathogène *B. bassiana*. Universidad de Québec, Montreal, Canada. *Vertigo. La revista en ciencias ambientales de la web.* 2(2).
- Lee, Y., y Zairi, J. (2006). Susceptibility of Laboratory and Field-Collected *Aedes Aegypti* and *Aedes albopictus* to *Bacillus thuringiensis* Israelensis H-14. *J Am Mosq Control Assoc* 22(1):97-101.
- Lucero, M., Peña, L., y Bacca, T. (2004). Evaluación de la actividad biocontroladora de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre larvas de *Ancognatha scarabaeiodes* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Revista Corpoica* Vol 5 N°1: 43-48.
- Maniania, N. y Fargues, J. (1984). Specificities of Hyphomycetes entomopathogenes pour les larves de lepidopteros Noctuidae. *Entomophaga.* 1984. 29: 451 – 464.
- Mendoza-Ledesma, M., Rodríguez-Ramírez, A., Penilla-Navarro, M., y Vásquez-Martínez, G. (2015). Compatibilidad de hongos entomopatógenos e insecticidas organofosforados para el control de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Entomología Mexicana* Vol. 2: 229-234.
- Merino, G. (2019). Relación entre la Gestión en Promoción de la Salud y las Prácticas de Prevención del Dengue en las familias de Pueblo Viejo -2018. (Tesis de segunda especialidad). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

- MINSA. (2017). Programa de entrenamiento en salud pública dirigido a personal del servicio militar voluntario: Vigilancia y Control Vectorial. Guía del practicante. Ministerio de Salud. Instituto Nacional de Salud. Lima. 64 p.
- Miranpuri, G., y Khachatourians, G. (1991). Infection sites of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in the larvae of the mosquito *Aedes aegypti*. *Entomol. exp. appl.* 59: 19-27.
- Montada, D., Zaldívar, J., Figueredo, D., Suárez, S., y Leyva, M. (2006). Eficacia de los tratamientos intradomiciliarios con los insecticidas cipermetrina, lambda-dialotrina y clorpirifos en una cepa de *Aedes aegypti*. *Rev Cubana Med Trop* 58(2):148-54.
- Mwamburi, L., Laing, M., y Miller, R. (2009). Interaction between *Beauveria bassiana* and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* for the control of house fly larvae and adults in poultry houses. *Poultry Science* 88:2307–2314.
- Pelizza, S., Medina, H., Ferreri, N., Elíades, L., Pocco, M., Stenglein, S., y Lange, C. (2020). Virulence and enzymatic activity of three new isolates of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) from the South American locust *Schistocerca cancellata* (Orthoptera: Acrididae). *Journal of King Saud University-Science* Volumen 32, issue 1: 44-47.
- Penata, Z., Nakagoshi, N., Suharjono, y Setyowati, F. (2013). Toxicity studies for indigenous *Bacillus thuringiensis* isolates from Malang city, East Java on *Aedes aegypti* larval. *Asian Pac J Trop Biomed* 2013; 3(2): 111-117.
- Percy, J., y Fast P.G. (1986). *Bacillus thuringiensis* cristal toxina studies of its effect on silword. *Invertebrate Patholgy* 41(1): 96-98.
- Pérez, O., Rodríguez, J., Bisset, J., Leyva, M., Díaz, M., Fuentes, O., Ramos, F., Gonzales, R., y García I. (2004). Manual de indicaciones técnicas para insectarios Editorial Ciencias Médicas. La Habana. Cuba.
- Pruszyński, C., Hribar, L., Micke, R., y Leal, A. (2017). A Large Scale Biorational Approach Using *Bacillus thuringiensis israeliensis* (Strain AM65-52) for Managing *Aedes aegypti* Populations to Prevent Dengue, Chikungunya and Zika Transmission. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170079>.
- Rodas, V. (2016). Efecto de combinaciones de *Gliocladium virens* e insecticidas químicos sobre *Aedes aegypti* vector de dengue y Chikungunya”. (Tesis de maestría). Instituto Nacional de Salud Pública, México.
- Soares-da Siva, J., Soares, V., Litaiff-Abreu, E., Polanczyk, R., y Tadei, W. (2015). Isolation of *Bacillus thuringiensis* from the state of Amazonas, in Brazil, and screening against *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 59: 1-6.
- Stalinski, R., Laporte, F., Tetreau, G., y Després, L. (2016). Receptors are affected by selection with each *Bacillus thuringiensis israeliensis* Cry toxin but not with the full Bti mixture in *Aedes aegypti*. *Infection, Genetics and Evolution* Volumen 44: (218-227).
- Valdéz, N. (2009). Caracterización morfológica y genética de poblaciones urbanas y rurales de *Aedes (Stegomyia) aegypti* L. (Diptera - Culicidae) ubicadas en localidades endémicas de dengue en Bolivia. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma "Gabriel René Moreno", Santa Cruz, Bolivia.
- Vandekar, M., y Dulmage, H. (1982). Guidelines for production of *Bacillus thuringiensis* SH-14. Edit. UNDP/WORLD BANK/WHO. Special programme for research and training in tropical diseases. Geneva. Switzerland.
- Vargas, F., Roldán, J., Zavaleta, G., Gil, F., Ampuero, C., Burga, A., Moreno, B., Vergara, C., y Ventosilla, P. (2001). Producción de *Bacillus thuringiensis* H -14 var. *israelensis* utilizando “espárrago” y su uso potencial para el control de la malaria en la Libertad – Perú; *Revista Peruana de Medicina Experimental*; vol18; n3-4: 82-89.
- Ventosilla, P., y Chauca, J. (2000). Instructivo para el Control de Calidad de Bioinsecticidas Bacterianos. Instituto de Medicina Tropical Alexander von Humboldt. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Perú.
- World Health Organization. (2014). A global brief on vector-borne diseases. WHO/DCO/WHO/2014. Geneva. 56 pp.
- Zavaleta, G. (2010). Evaluación de la capacidad biocida de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* cultivado en sanguaza sobre larvas de *Aedes aegypti* en el distrito de Laredo La Libertad - Peru, 2008 - 2009. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

Artículo Original

BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN TRES ESPECIES DE PECES BENTÓNICOS DEL RÍO MONZÓN, REGIÓN HUÁNUCO

BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THREE BENTONIC FISH SPECIES FROM MONZON RIVER, HUANUCO REGION

Edmer Rosales Ortega ¹, Marcelo Cotrina Doria ², Glauco Valdivieso Arenas ², Francisco Sales Dávila ², Elmis García Zare ³, Elizabeth S. Ordoñez ¹

¹ Laboratorio de Carnes, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agrarias de la Selva (UNAS), Huánuco, Tingo María - Perú.

² Dirección de Investigación en Ecosistemas Acuáticos, Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana IIAP – Huánuco, Tingo María - Perú.

³ Departamento Académico de Estadística, Universidad Nacional de Trujillo.

*Autor para correspondencia: gvaldivieso@iiap.gob.pe

Recibido: 15 de noviembre, 2019. Aceptado: 6 de junio, 2020

RESUMEN

Los peces bentónicos de los ríos amazónicos presentan mayor acumulación de metales pesados debido a su hábito alimenticio; estos representan un riesgo para la salud pública si son consumidas en grandes cantidades por la población. El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de cadmio, plomo y cobre en las especies de peces boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Chaetostoma* sp) y julilla (*Parodon buckleyi*). Se muestrearon 12 ejemplares por especie en tres puntos de muestreo del río Monzón. La cuantificación se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica de llama, previa digestión ácida de las muestras de músculo, hígado, sedimento y agua. Los resultados muestran que, en las tres especies, la mayor acumulación de los tres metales se presentó en el hígado; mientras, que en el músculo se determinó concentraciones promedio de cadmio de 1,62 ppm en julilla; 1,59 ppm en carachama y 0,73 ppm en boquichico. Así mismo, se encontró concentraciones promedio de plomo de 5,09 ppm en carachama y 0,61 ppm en boquichico y no se determinó en julilla. Además, concentraciones promedio de cobre de 2,78 ppm en julilla; 2,44 ppm en boquichico y 2,41 ppm en carachama. Se concluye que la mayor bioacumulación se presenta en el hígado; las tres especies acumulan cadmio y cobre en músculo; carachama y boquichico acumulan plomo en músculo; y la especie con mayor concentración de cadmio y cobre en músculo es julilla.

Palabras Claves: detritívoro, bioindicador, metales en ictiofauna

ABSTRACT

The benthic fishes from the Amazon river have a greater accumulation of heavy metals due to their eating habits. They represent a risk to public health if they are consumed in large quantities by the human population. The purpose of this study is to determine the concentration of cadmium, lead, and copper in the following fish species: boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Chaetostoma* sp) and julilla (*Parodon buckleyi*). Twelve specimens per specimen were captured in three samples from the Monzon river, the quantification was made with a flame atomic absorption spectrophotometer, after acid digestive muscle, liver, sediment and water. The results show that three species have big quantitative of accumulation of the three metals inside of the liver. However, inside of the muscle cadmium concentrations are 1.62 ppm in julilla, 1.59 ppm in carachama and 0.73 ppm in boquichico. Also, the average lead concentrations were 5.09 ppm in carachama, 0.61 ppm in boquichico. In contrast, it was not determined in julilla. In addition, average copper concentrations were 2.78 ppm in julilla; 2.44 ppm in boquichico and 2.41 ppm in carachama. It concluded that the greatest bioaccumulation occurs in the liver, and all of the three species accumulated cadmium and copper inside their muscle; carachama and boquichico accumulated lead inside their muscle; and the species with the highest concentration of cadmium and copper inside their muscle is julilla.

Keywords: detritivorous, bioindicator, metals in ichthyofauna

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos de la selva del Perú son abundantes fuentes de recursos hidrobiológicos, que permiten al poblador rural obtener diferentes especies de peces para su dieta alimenticia con alto valor proteico; sin embargo, en las últimas décadas, en el valle del Monzón, se ha observado una disminución del recurso pesquero, causada por las inadecuadas prácticas agrícolas, arrojado de residuos sólidos domiciliarios y residuos de combustibles, que en su conjunto contienen elementos tóxicos y son vertidos a los afluentes del río Monzón (Paredes *et al.*, 2010). Los metales pesados son tóxicos no solo por sus características químicas, sino por concentraciones en las que pueden presentarse y más importante aún, el tipo de compuesto o metabolito que forman; así mismo, las interacciones entre los metales y sus efectos tóxicos pueden complicar las enfermedades ya existentes. Así, por ejemplo, el cadmio interfiere con el zinc, cobre, hierro, manganeso y calcio; mientras que el cobre interactúa con el hierro, molibdeno, azufre y zinc, el plomo con el calcio, interfiriendo en los procesos metabólicos en la que suplantando a estos elementos hasta llegar a células, tejidos, órganos y huesos, causando anomalías y enfermedades en el organismo humano (Londoño *et al.*, 2016).

La presencia de metales pesados como cadmio, plomo y cobre en los ambientes acuáticos representan un serio problema ambiental y riesgo de salud para los moradores, ya que estos metales pesados se adhieren a los sedimentos que sirven de alimento a peces bentónicos, que succionan los detritos y perifitón, adherido al sedimento del fondo de los cauces, que llevarían a la bioacumulación de estos metales pesados en diferentes tejidos del pez, principalmente músculo e hígado, haciendo que su consumo sea perjudicial para la salud humana (Panbianco, 2011).

Un ejemplo de la afectación de los metales pesados en la salud pública se reporta en Madre de Dios, donde se observó concentraciones de mercurio en el tejido de los peces con más de un tercio de los peces carnívoros (cuyas presas son peces bentónicos) que exceden la norma internacional de salud de 0,5 mg/kg. Este estudio demuestra que las comunidades ubicadas cientos de kilómetros aguas abajo de la actividad minera, están en riesgo de exposición al mercurio, debido a su dieta que excede el cuerpo aceptable (Diringer *et al.*, 2014); así mismo, en Colombia reportaron concentraciones de metales que sobrepasaron los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud. Se evidenciaron efectos genotóxicos posiblemente asociados a la presencia de los metales en la sangre. Se encontraron asociaciones significativas ($p < 0,05$) entre la presencia de mercurio y de cadmio, el daño en el ADN, con lo que sugieren que el perjuicio genético registrado en pobladores de la región de La Mojana, puede estar asociado a la presencia de los metales estudiados en las muestras de sangre (Calao y Marrugo, 2015). Por lo tanto, es necesario realizar estudios de la bioacumulación de metales pesados en peces de consumo humano a fin de establecer políticas de prevención y mitigación.

Entre los peces de mayor consumo en el valle del Monzón, encontramos las especies bentónicas: el boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Chaetostoma* sp) y julilla (*Parodon buckleyi*). El boquichico tiene la boca terminal con labios a modo de ventosa, con dientes córneos móviles e implantados en los labios que le permiten alimentarse del perifitón, así como obtener su alimento del detrito (Rada *et al.*, 2006). La carachama posee una boca que funciona como un órgano de succión, tanto para alimentarse como para adherirse fuertemente a los trozos de madera sumergida u otros substratos del fondo (Ortega *et al.*, 2000). La julilla se encuentra en ríos grandes y en pequeñas quebradas, sitios de aguas rápidas o lentas, pero con substratos duros como gravas, rocas o arenas gruesas, es una especie bentónica que se alimenta de perifitón y pequeños insectos acuáticos que captura entre las piedras (Maldonado *et al.*, 2005).

El conocimiento de los niveles de contaminación por metales pesados permitiría la toma de decisiones adecuadas en el campo de la salud, el medio ambiente y en el plano social que impacta positivamente en la realidad de nuestra población. Es por ello, el objetivo fue determinar la concentración de los metales pesados cadmio, plomo y cobre en hígado y músculo de las especies de peces boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Chaetostoma* sp) y julilla (*Parodon buckleyi*) que habitan en el río Monzón, sector de los caseríos: Cruzpampa, Chicoplaya y Granja.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Captura de material Biológico

El material biológico consistió en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Chaetostoma* sp) y julilla (*Parodon buckleyi*) (Fig. 1). Para la captura se determinaron 03 puntos en un tramo del río Monzón: Cruzpampa (18L0352414-UTM8976626), Chicoplaya (18L0357412-UTM8979664) y Granja (18L0363789-UTM8981595), ubicados en la zona de ceja de selva, en el distrito de Monzón, provincia de Huamalies, región Huánuco (Fig. 2). Para la obtención de los especímenes se procedió a la pesca realizándose desde la 01:00 am hasta las 06:00 am. En cada punto de muestreo se capturaron 4 individuos por cada especie, siendo un total de 12 ejemplares por especie a lo largo del río, durante las fechas 13/07/2013 y 01/08/2013. Así mismo, se colectaron las muestras de agua superficial en frascos herméticos y los sedimentos fueron obtenidos en la superficie de las piedras.

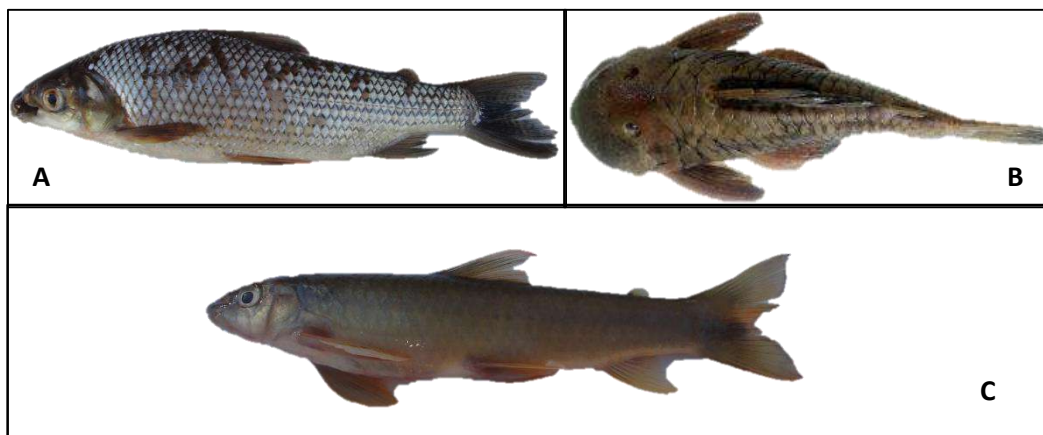
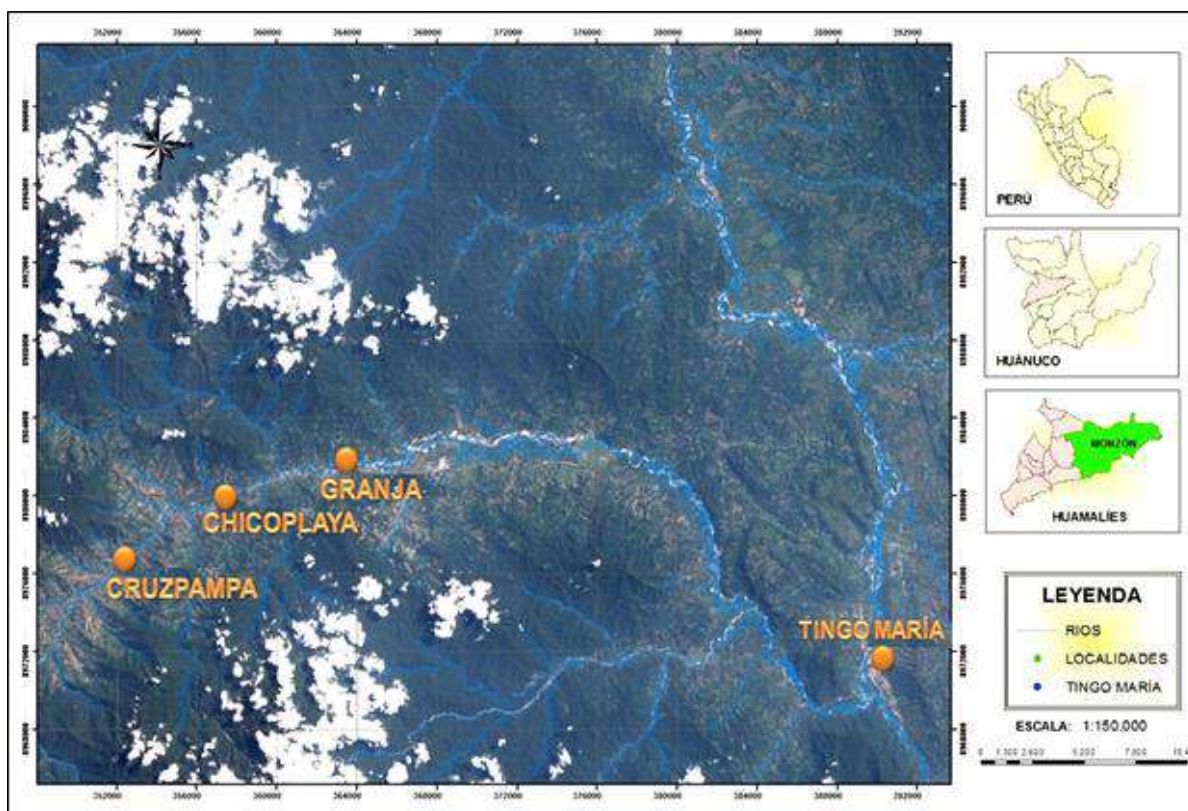


Figura 1. Peces bentónicos capturados en tres puntos de muestreo en un tramo del río Monzón: A) boquichico, *Prochilodus nigricans*, B) Carachama, *Chaetostoma* sp, C) julilla, *Parodon buckleyi*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Puntos de muestreo en un tramo del río Monzón: Cruzpampa, Chicoplaya y Granja.

Extracción de muestras

Las muestras de músculo se tomaron de la sección anterior del pez, entre la aleta pectoral y la aleta dorsal del lado izquierdo del cuerpo; para ello, se realizó un corte aproximado de 5 cm x 4 cm. Para retirar el hígado se realizó un corte en la parte ventral del pez, se lavó la muestra con agua destilada retirando los restos de sangre. Las muestras de tejidos fueron conservadas a -20°C . Así también, se realizó la colecta de 18 muestras de sedimento consistente en 100g de detritos (5cm profundidad) y perifiton adherido a rocas. Además, 18 muestras de 650 ml de agua superficial de las orillas y del punto medio del cauce del río.

Análisis de bioacumulación de cadmio, plomo y cobre

Se utilizó el método de extracción por digestión ácida para muestras biológicas (Granada y Escobar, 2012). Para el análisis de muestras de músculo se pesó 1 gramo, se adicionó 4 ml de HNO_3 y 1 ml de H_2SO_4 , se colocó en digestión a 90°C por 3 horas; luego se enfrió a temperatura ambiente, se añadió 0,5 ml de H_2O_2 por 30 minutos sin agitar y finalmente se filtró y almacenó. Para las muestras de hígado se pesó 0.5 gramos, se adicionó 2 ml de HNO_3 y 1 ml de H_2SO_4 y se siguió el mismo procedimiento que el anterior. Para el análisis de muestras de sedimento se procedió a secar las muestras, triturarlas pesando 1 gramo, luego se adicionó 9 ml de HNO_3 y 3 ml de H_2SO_4 y se siguió el mismo procedimiento que el anterior y para el análisis de muestras de agua se colocó 150 ml, se adicionó 2 ml de HNO_3 y 5 ml de H_2SO_4 , posteriormente se colocó a 90°C por 3 horas hasta quedar en el 20% del volumen inicial y después se procedió con el procedimiento anterior. La lectura de las concentraciones de cobre, cadmio y plomo se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica de llama en el laboratorio de Análisis de Suelos y Química de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Análisis estadístico en sedimento y agua

Los resultados del contenido de metales en sedimento y agua fueron analizados mediante el diseño completo al azar (DCA), con la prueba de Tukey $p < 0,05$, para ello se utilizó el programa SAS versión 9,1. La finalidad es determinar la diferencia significativa en las concentraciones de metales entre los tres puntos de muestreo, y la posible influencia en las concentraciones de los metales en los peces que son objeto del estudio.

3. RESULTADOS

En boquichico, la longitud total promedio de las tres localidades muestreadas fue 29,5 cm; el peso promedio fue 254,8 g. En carachama, la longitud total promedio de las tres localidades muestreadas fue 30,1 cm; el peso promedio fue 148,3 g. En julilla, la longitud total promedio de las tres localidades muestreadas fue 12,0 cm; el peso promedio fue 17,1 g (Tabla 1).

Tabla 1. Datos biométricos de peces seleccionados.

Localidad	Muestra	boquichico		carachama		julilla	
		Peso (g)	Longitud (cm)	Peso (g)	Longitud (cm)	Peso (g)	Longitud (cm)
Cruzpampa	1	249	29,8	151	29,8	20	13,8
	2	452	34,5	216	34,5	18	13,5
	3	181	26,5	132	26,5	15	12,5
	4	197	27	145	27	16	12,5
Chicoplaya	1	55	39,5	163	39,5	14	12
	2	645	39	188	39	15	12,3
	3	179	25	110	25	19	13,4
	4	223	27	116	27	23	14,5
Granja	1	253	31	152	31	13	11,6
	2	219	28	180	28	16	12,5
	3	194	26,3	110	26,9	15	12
	4	211	26,8	116	26,8	21	14,3
Promedio		254,8	29,5	148,3	30,1	17,1	12,0

Los resultados del contenido de cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu) en músculo e hígado de las tres especies en estudio (1=boquichico, 2=carachama y 3=julilla) en las diferentes localidades (A=Cruzpampa, B=Chicoplaya y C=Granja) se presentan en las figuras 3 y 4. Donde se puede apreciar que: i. el hígado presenta la mayor concentración de cadmio en la especie boquichico con $2,11 \pm 0,12$ ppm, seguido por carachama con $1,91 \pm 0,09$ ppm y julilla con $1,63 \pm 0,09$ ppm; todos en el punto C., ii. el hígado presenta la mayor concentración de cobre en la especie carachama con $24,23 \pm 1,2$ ppm, seguido por julilla con $22,21 \pm 1,7$ ppm ambos en el punto B y boquichico con $13,64 \pm 0,9$ ppm en el punto A. iii. el músculo presenta la mayor concentración de cadmio en julilla con $1,62 \pm 0,08$ ppm en el punto C, seguido por carachama con $1,59 \pm 0,17$ ppm en el punto A y boquichico con $1,11 \pm 0,04$ ppm en el punto B., iv) El contenido de cadmio en músculo de boquichico varía en las tres localidades, de 0,63 a 1,11 ppm., v) las concentraciones de plomo fueron mayores en la especie carachama con $5,08 \pm 0,15$ ppm y en boquichico con $0,61 \pm 0,02$ ppm, ambos en el punto A; el hígado presenta la concentración de plomo en la especie de boquichico con $6,34 \pm 0,24$ ppm, seguido por carachama con $1,92 \pm 0,05$ ppm ambos en el punto A. En julilla no se registró plomo en músculo ni hígado. vi) el músculo presenta la mayor concentración en la especie julilla con $2,67 \pm 0,20$ ppm en el punto B, seguido por boquichico con $2,43 \pm 0,16$ ppm y carachama con $2,41 \pm 0,15$ ppm ambos en el punto A.

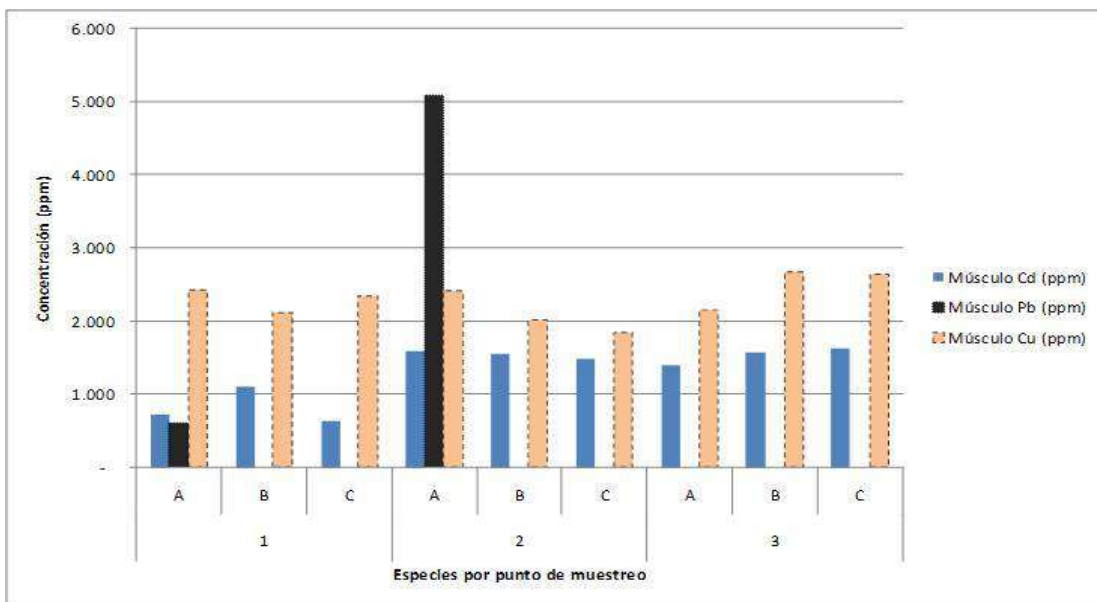


Figura 3. Concentración de cadmio, plomo y cobre en músculo en las especies (1) boquichico (*Prochilodus nigricans*), (2) carachama (*Chaetostoma* sp) y (3) julilla (*Parodon buckleyi*). Obtenidas de los tres puntos de muestreo del río Monzón (A) Cruzpampa, (B) Chicoplaya y (C) Granja.

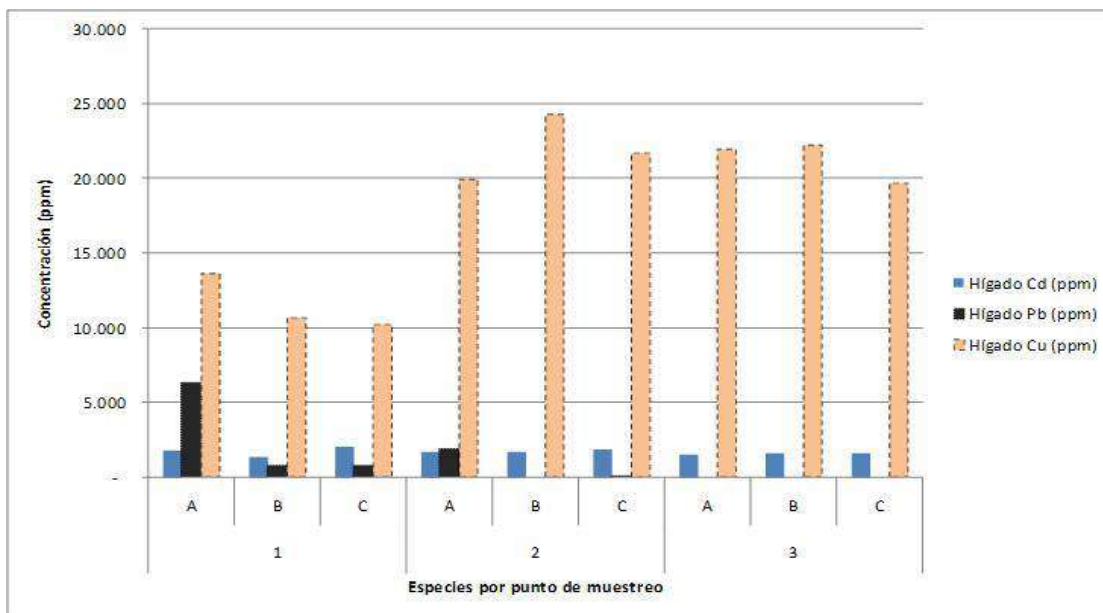


Figura 4. Concentración de cadmio, plomo y cobre en hígado en las especies (1) boquichico (*Prochilodus nigricans*), (2) carachama (*Chaetostoma* sp) y (3) julilla (*Parodon buckleyi*). Obtenidas de los tres puntos de muestreo del río Monzón (A) Cruzpampa, (B) Chicoplaya y (C) Granja.

La Tabla 2, muestra los resultados de sedimento y agua. En ellas, la mayor concentración de cadmio se registró en el punto de muestreo A con $0,93 \pm 0,05$ ppm, con respecto al punto B con $0,69 \pm 0,019$ ppm y C con $0,56 \pm 0,037$ ppm; el cobre tuvo una mayor concentración en el punto A con $29,21 \pm 1,75$ ppm, en comparación al punto B con $27,95 \pm 1,21$ ppm y C con $19,9 \pm 1,19$ ppm. En el agua la mayor concentración de cadmio se registró en el punto A con $0,0024 \pm 0,00014$ ppm, con respecto

a los puntos B con $0,00075 \pm 0,000032$ ppm y C con $0,00082 \pm 0,000033$ ppm; el cobre registro una mayor concentración en el punto A con $0,018 \pm 0,0008$ ppm y C con $0,018 \pm 0,0011$ ppm, en comparación al punto B con $0,016 \pm 0,00082$ ppm. En el sedimento y agua, el plomo no fue detectado al momento de la lectura, posiblemente porque los valores estuvieron por debajo del límite de detección del equipo.

Tabla 02. Resultados del análisis estadístico de sedimento y agua.

Muestra	Puntos de muestreo	Cd	Pb	Cu
Sedimento	A	$0,93 \pm 0,05^a$	ND	$29,21 \pm 1,75^a$
	B	$0,69 \pm 0,019^b$	ND	$27,95 \pm 1,21^a$
	C	$0,56 \pm 0,037^c$	ND	$19,9 \pm 1,19^b$
Agua	A	$0,0024 \pm 0,00014^a$	ND	$0,018 \pm 0,0008^a$
	B	$0,00075 \pm 0,000032^b$	ND	$0,016 \pm 0,00082^a$
	C	$0,00082 \pm 0,000033^b$	ND	$0,018 \pm 0,0011^a$

Dónde: A=Cruzpampa, B=Chicoplaya, C=Granja, ND = no detectado por el equipo y (a, b, c) existen diferencias significativas con un $p < 0,05$

4. DISCUSIÓN

La toxicidad para los peces depende entre otros factores del contenido de calcio en el agua, cuanto mayor es la concentración de calcio, menor será el efecto tóxico del cadmio sobre los peces (Argota *et al.*, 2012). Cabe resaltar que los puntos de muestreo confluyen aguas provenientes del distrito de Monzón y localidad de Chaupiyacu y escorrentías provenientes de áreas agrícolas; se puede encontrar metales pesados debido al transporte atmosférico a gran escala de contaminantes por diferentes actividades humanas; así mismo, el uso de una gran cantidad de productos agrícolas como los pesticidas y plaguicidas generan una contaminación con estos metales (Frías *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos en la presente investigación, indicaron la presencia de contaminantes donde los peces boquichico, carachama y julilla registraron acumulación de los metales pesados cadmio, plomo y cobre en sus órganos de estudio: hígado y músculo.

Con respecto al contenido de cadmio en hígado, fue mayor en boquichico, seguido por carachama y julilla en el punto C. La acumulación de cadmio en el riñón e hígado depende de la intensidad, tiempo de exposición y del estado óptimo de la función de excreción renal (Mancera y Álvarez, 2006); también se reporta que el cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre; allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones (Hermoso y Márquez, 2005). El cadmio elige como órgano de concentración mayor el riñón, pero también en menor cantidad en hígado, branquias y como último el músculo (Cousillas, 2003). Es por ello, que al igual que otros metales (plomo y cobre) se registró la concentración mayor en hígado con respecto al músculo.

El contenido de cadmio en músculo en boquichico, en ciudades como Iquitos, Puerto Maldonado y Pucallpa se reportan concentraciones menores que van de 0,1 a 1,5 ppm (Salas *et al.*, 2009; García y Alva, 2013) y se reporta para la misma especie en el río Guasare - Venezuela 0,85 a 3,4 ppm (Salazar, 2009), siendo mayor el contenido de cadmio encontrado en la presente investigación. De acuerdo a los resultados del presente estudio, el contenido de cadmio en julilla fue mayor comparado con reportes que van de 0,001 a 0,08 ppm Cd en peces procedentes de cuencas de las regiones Ucayali y Loreto (Pezo *et al.*, 1992; Salas *et al.*, 2009).

Las concentraciones de cadmio en músculo, estuvieron comprendidas entre $0,63 \pm 0,07$ a $1,62 \pm 0,08$ ppm, comparando estos resultados con las normas permitidas de diferentes lugares podemos apreciar que los valores encontrados están por encima de lo permitido para consumo humano, tal como lo indica el límite máximo de 0,05 a 0,1 ppm peso fresco (Sánchez *et al.*, 2010), la concentración máximos en Chile 0,05 ppm y en Venezuela 0,5 ppm (Pezo *et al.*, 1992), asimismo, el límite permisible 0,1 ppm se puede apreciar que el resultado encontrado es superior (FAO, 2003). Estas concentraciones altas de este metal pueden provocar en los sistemas biológicos una competencia con el zinc, el cobre y el calcio por los sitios de unión de estos elementos en las

macromoléculas (Salazar, 2009). Ello indica que, a nivel bioquímico, el cadmio puede unirse a los grupos SH de proteínas, enzimas y otros componentes celulares, alterando su estructura y sus funciones. Este metal puede afectar el metabolismo energético de la célula, desacoplando la fosforilación oxidativa mitocondrial (Frías *et al.*, 2010).

Con respecto a las concentraciones de plomo encontrados en músculo e hígado, fue menor con respecto a los otros metales. Esto se debe a que, la mayor concentración del plomo se registra en huesos, lo que sugiere que el plomo presente en el agua puede penetrar a través de piel y las branquias (ambos tejidos en contacto directo con el agua), el mismo autor afirma que en branquias no se registró este metal, posiblemente porque puede estar pasando directamente a la sangre, donde es transportado a los huesos (Lozada, 2007). También, manifiesta que no detectó en músculo, branquias y vísceras; únicamente se registró en piel y huesos, exhibiendo la mayor concentración en huesos, la presencia de Pb en la piel y huesos, se debe a su sustitución en la ruta metabólica por el Ca. Es por eso que se registró en boquichico y carachama, pero no hubo presencia de este metal en julilla. La concentración máxima encontrada fue de 0,612 ppm lo que concuerda con las concentraciones de plomo en reportadas entre 0,02 y 2,634 en cuencas hidrográficas de los ríos Marañón y Amazonas (Salas *et al.*, 2009), además de valores superiores que fueron reportados entre 7,15 a 10,29 en ejemplares capturados en el río Guasare (Salazar, 2009).

En carachama registramos una concentración máxima de 5,088 ppm de plomo en músculo mientras que se encuentra reportes de valores menores a 0,025 ppm en peces capturados en Ucayali y de 0,453 a 0,853 en las cuencas del Marañón y Ucayali. Para el caso de la julilla podemos indicar que no se detectó este metal en el músculo, posiblemente por la cantidad que existe es muy pequeña; sin embargo, existe información de plomo sobre esta especie, se reportó en julilla del río Nanay 0,5220 ppm, en Ucayali 0,01 ppm y Amazonas 0,0013 ppm (Pezo *et al.*, 1992), y se indica el rango de 0,02 a 0,13 ppm de Iquitos y Puerto Maldonado (Salas *et al.*, 2009).

De los resultados obtenidos, se determina que el contenido de plomo supera al límite permitido en el punto A, que indica la presencia de impactos ambientales y los posibles riesgos para los consumidores de pescados, en el punto C se encuentra por debajo del límite establecido, el plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo y estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento (Hermoso y Márquez, 2005). El plomo puede afectar a varios órganos, causando sintomatologías diferentes y los niños son más sensibles que los adultos. Aunque una sola dosis puede causar problemas de toxicidad, es mucho más común que el envenenamiento por plomo sea causado por una exposición continua a bajas concentraciones (Frías *et al.*, 2010).

Con respecto a las concentraciones de cobre en músculo de julilla, se reportan contenidos de 0,29 ppm en Puerto Maldonado y en la Amazonia, de 0,58 a 0,79 ppm (Salas *et al.*, 2009); ello indica que nuestros valores registrados superan dichos contenidos de cobre en los tres puntos de muestreo evaluados. El menor contenido de cobre se registró en la especie carachama en el punto C con 1,833 ppm, lo que aduce que estamos por debajo de la norma oficial mexicana, que indica cantidad del cobre en protección de vida acuática el límite máximo 6 ppm (Secretaría de Gobernación de México, 2017). Con respecto al cobre en hígado, se registraron las concentraciones más altas siendo hasta 13,6 ppm en boquichico 24,2 ppm en carachama y 22,2 en julilla, contrastando con valores que reportan en trucha arcoíris de 164-379 ppm peso seco (Spiess, 2010), asimismo, investigadores realizaron un ordenamiento de las concentraciones observándose que la mayor está en el hígado (254 ppm Cu) y las branquias (114 ppm Zn) (Zorrilla, 2011), por lo que concluye que el órgano con mayor acumulación es el hígado, tal como se corrobora los resultados obtenidos.

La contaminación por metales pesados resulta ser peligrosa por tres características principales: toxicidad, persistencia y bioacumulación; a determinadas concentraciones, en el agua o en los sedimentos, la toxicidad implica la muerte por envenenamiento de las especies que habitan el medio (Quintero *et al.*, 2010). Para el caso del agua, no se detectó plomo, posiblemente porque los valores estuvieron por debajo del límite de detección del equipo; se encontró 0,004 ppm en el río Santa y considera que el límite máximo del plomo en agua es 0,2 ppm (Romero *et al.*, 2010). Según el análisis realizado la concentración de metales en agua está por debajo de los reportes de otras

investigaciones, que reportaron cobre en agua entre 3,5 a 11,6 ppm en Venezuela (Toledo *et al.*, 2000), en distintos países del mundo se encuentran en un rango de Cu de 5,7 a 20,7 ppm en agua (Murillo *et al.*, 2013).

En sedimento, el metal que se encontró en mayor concentración fue el cobre en los tres puntos de muestreo variando de 19.9 a 29.21 ppm, la concentración de cobre obtenida en la investigación se encuentra dentro del rango reportado en otras investigaciones de cuencas hidrográficas, valores de 7,30 a 8,01 ppm de cobre en Venezuela (Toledo *et al.*, 2000), y se mencionan valores más altos de 36,6 ppm (Andrade, 1993). Los resultados de contenido de cobre en sedimento se relacionan directamente con el contenido de cobre encontrado en músculo e hígado de los peces. Además, existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo siendo el punto c (sector granja) la que difiere de los otros dos puntos (aguas arriba) con lo que se ve un descenso que puede indicar que la fuente o fuentes de contaminación de este metal se encuentran más cercano al punto a (cruzpampa).

5. CONCLUSIONES

Las especies de peces boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Chaetostoma sp*) y julilla (*Parodon buckleyi*) registraron acumulación de cadmio y cobre en músculo e hígado, siendo mayor la acumulación en hígado.

Las especies carachama (*Chaetostoma sp*) y boquichico (*Prochilodus nigricans*), acumularon plomo en músculo e hígado, no detectando este metal en julilla (*Parodon buckleyi*).

El boquichico (*Prochilodus nigricans*) presentó mayor acumulación de plomo en hígado y una menor acumulación en músculo.

La carachama (*Chaetostoma sp*) presentó mayor acumulación de plomo en músculo y una menor acumulación en hígado.

La especie con mayor concentración de cadmio y cobre en músculo e hígado es la julilla (*Parodon buckleyi*).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, H. (1993). Libro Resúmenes XIII Jornadas Ciencias del Mar. Viña del Mar. Chile 1(1): 45-46.
- Argota, G., Argota, H., Larramendi, D., Mora, Y., Fimia R., y Lannacone, J. (2012). *Histología y química umbral de metales pesados en hígado, branquias y cerebro de *Gambusia punctata* (Poeciliidae) del río Filé de Santiago de Cuba*. Rev. REDVET., Cuba. 12(5): 11-13.
- Calao, C., y Marrugo, J. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica* 2015;35(Supl.2):139-51.
- Cousillas, A. (2003). Evaluación y manejo de riesgos de la contaminación por Metales Tóxicos. Tesis Doctor en Toxicología e Higiene Ambiental. Buenos Aires, Argentina. Universidad de la República. 98pp.
- Diringer, S., Feingold, B., Ortiz, E., Gallis, J., Araujo-Flores, J., Berky, A., Pan, W., y Hsu-Kim, H. (2014). River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru. *Environ Sci Process Impacts*. 2015 Feb;17(2):478-87.
- FAO. (2003). Revisión del estado mundial de la acuicultura. Rev. 2. Roma, Italia. 95pp.
- Frías, G., Osuna, I., Izaguirre, G., Aguilar, M., y Voltolina, D. (2010). Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *CICIMAR Oceanides*, México. 25(2): 121-134.
- García, D., y Alva, M. (2013). Contenido de metales pesados en pescados comercializados en Iquitos, Nauta y Requena. *Rev. Ciencia amazónica*. Iquitos, Perú. 3(1): 33-42.
- Granada, N., y Escobar, D. (2012). Análisis y cuantificación de metales pesados (Pb, Cd, Ni y Hg) en agua, sedimentos y bioacumulación en la especie *Rhandia wagne* (barbudo) del río cauca

- en el municipio de la Virginia. Tesis Químico Industrial. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira 82pp.
- Hermoso, D., y Márquez, M. (2005). Evaluación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces del río Catatumbo y sus afluentes. Tesis Ing. Químico. Maracaibo, Venezuela. Universidad Rafael Urdaneta. 58 pp.
- Londoño, L., Londoño, P., y Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Rev.Bio.Agro vol.14 no.2 Popayán Jul./Dec. 2016. 145-153 pp.
- Lozada, J. (2007). Determinación de metales pesados en *Cyprinus carpio* en la laguna de Metztlán, Hidalgo, México. Tesis licenciatura. Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 76pp.
- Maldonado, J., Ortega, A., Usma, J., Galvis, G., Villa, F., Vásquez, L., Prada, S., y Ardila, C. (2005). Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Alexander Von Humboldt. 1ra. ed. Bogotá D.C. Colombia. 346 pp.
- Mancera, N., y Álvarez, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Red de Rev. Científicas de América Latina. Bogotá, Colombia. 11(1): 3-23.
- Murillo, V., Aroca, G., Duarte, C., Oyarzo, C., Oyarzún, M., Pinilla E., y Vera, R. (2013). Determinación y evaluación de los componentes presentes en las pinturas anti-incrustantes utilizadas en la acuicultura, sus efectos y la acumulación en sedimentos marinos de la región de Los Lagos. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso (Chile). Informe técnico n°1. 257 pp.
- Ortega, A., Murillo, O., Pimienta, C., y Sterling, E. (2000). Los peces del alto Cauca, riqueza ictiológica del Valle del Cauca. Ed. Imagen Corporativa. Cali, Colombia. 69pp.
- Panebianco, M. (2011). Análisis de los niveles de metales pesados (Pb, Cu, Cr, Zn, Ni y Cd) y aspectos reproductivos del delfín franciscana (*Pontoporia blainvillei*). Tesis Doctoral Ciencias biológicas. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. 191pp.
- Paredes, R., Álvarez, C., y Sandoval, D. (2010). Hidrobiología. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú. Informe técnico n°1. 88 pp.
- Pezo, R., Paredes, H., y Bedayán, N. (1992). Determinación de metales pesados bioacumulables en especies ictiológicas de consumo humano en la Amazonia Peruana. Folia Amazónica. Iquitos, Perú. 4(2): 171-181.
- Quintero, L., Agudelo, E., Quintana, Y., Cardona, G., y Osorio, F. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. Rev. Gestión y ambiente. Medellín. 13(3): 51-57.
- Rada, O., Valle, D., Cabrera, C., Naola, D., y Tamariz, H. (2006). Cultivando peces amazónicos; Ministerio de producción. San Martín. 43-47.
- Romero, A., Flores, S., y Pacheco, W. (2010). Estudio de la calidad de agua de la cuenca del río Santa. Rev. Instituto de Investigaciones. 13(25): 61-69.
- Salas, A., Barriga, M., Albrecht, M., Chu, F., y Ortega, H. (2009). Información nutricional sobre algunos peces comerciales de la Amazonía peruana. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. Boletín de investigación n°9. 64 pp.
- Salazar, R. (2009). Estado de conocimiento de las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo en organismos acuáticos de Venezuela. Rev. REDVET, 10(11):1-16.
- Sánchez, H., Dávila, E., Babilonia, E., y Rafael, R. (2010). Informe de evaluación sobre la presencia de petróleo en los ríos Amazonas y Marañón. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 17 pp.
- Secretaría de Gobernación de México. (2017). Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (en línea): http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018.
- Spiess, A. (2010). Determinación de elementos traza (Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Fe y As) en Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante espectrofotometría de absorción atómica en la X y XIV regiones de Chile. Tesis Químico Farmacéutico. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 92 pp.
- Toledo, J., Lemus, M., y Chung, K. (2000). Cobre, cadmio y plomo en el pez (*Cyprinodon dearborni*), sedimentos y agua en dos lagunas de Venezuela. Rev. Biol. Trop. 48(1): 225-231.
- Zorrilla, M. (2011). Estado del arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces. Tesis Administrador del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Santiago de Chile, Chile. Universidad autónoma de occidente. 63 pp.

MORFOMETRÍA DE FRUTOS Y SEMILLAS DE *Vallesia glabra* “CUNCUNO”

MORPHOMETRY OF FRUITS AND SEEDS OF *Vallesia glabra* “CUNCUNO”

María Margarita Mora-Costilla¹, Segundo Eloy López-Medina², José Mostacero-León², Armando Efraín Gil-Rivero², Angélica López-Zavaleta², Anthony J. De La Cruz-Castillo², Luigi Villena-Zapata³

¹ Asociación Peruana para la Conservación de la Naturaleza. (APECO). Av. Carrión 400, Urb. San Nicolás. Trujillo, Perú.

² Laboratorio de Biotecnología del Instituto de Papa y Cultivos Andinos. Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II S/N; Ciudad Universitaria, Trujillo - Perú.

³ Área de Investigación. Facultad de Ingeniería. Universidad Cesar Vallejo Chepén, Perú.

Autor para correspondencia: slopezm@unitru.edu.pe

Recibido: 21 de febrero, 2020. Aceptado: 19 de mayo, 2020

RESUMEN

Vallesia glabra, de nombre común “cuncuno”, es catalogado como una especie esencial en el control y conservación de dunas de los Bosques Secos del Perú, constituyendo ser el soporte para el desarrollo de otras especies vegetales y animales. La intervención humana a través de la tala indiscriminada ha contribuido a que se le denomine como parte de la vegetación frágil. Para su reforestación son necesarios estudios agronómicos elementales que brinden información sobre el estado productivo de frutos y semillas. Ante la necesidad de un mayor conocimiento se planteó como objetivo determinar la morfometría de frutos y semillas de *V. glabra*. Para ello se colectaron frutos procedentes del Área de Conservación Privada Bosque Natural El Cañoncillo, del distrito de San José, provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad. En laboratorio se evaluó la masa del fruto y de la semilla, además de calcularse el largo y ancho. Se realizó un análisis estadístico descriptivo de cada componente evaluado. La masa promedio del fruto es de $0,169 \pm 0,010$ g y la masa promedio de la semilla es de $0,047 \pm 0,003$ g. Mientras que la semilla tiene una longitud promedio de $1,037 \pm 0,025$ cm y un ancho promedio de $0,237 \pm 0,018$ mm. Se concluye que todas las variables presentaron una correlación significativa, siendo la variable ancho de semilla la que presentó mayor variabilidad, constituyendo ser información elemental del estado productivo de frutos y semillas de *V. glabra* “cuncuno”.

Palabras claves: Bosque seco, semilla, fruto, *Vallesia*.

ABSTRACT

Vallesia glabra "cuncuno", is classified as an essential species in the control and conservation of dunes of the Dry Forests of Peru, considered as the support for the development of other plant and animal species. Human intervention through indiscriminate logging has contributed to be named as part of fragile vegetation. For its reforestation, basic agronomic studies that provide information about the productive state of fruits and seeds are necessary. Given the need for wider knowledge, the aim was to determine the morphometry of fruits and seeds of *Vallesia glabra*. For this, fruits from the El Cañoncillo Natural Forest Private Conservation Area were collected, from the San José district, Pacasmayo province, La Libertad department. In the laboratory, the mass of the fruit and the seed was assessed, in addition to calculating the length and width. A descriptive statistical analysis was performed of each component evaluated. The average mass of the fruit is 0.169 ± 0.010 g and the average mass of the seed is 0.047 ± 0.003 g. while the seed has an average length of $1,037 \pm 0.025$ cm and an average width of 0.237 ± 0.018 mm. It is concluded that all the variables presented a significant correlation. The variable “width of the seed” was the one that presented the greatest variability, which is essential information of the productive state of fruits and seeds of *V. glabra* "cuncuno".

Keywords: Dry forest, seed, fruit, *Vallesia*.

1. INTRODUCCIÓN

Vallesia glabra (Cav) Link “cuncuno”, pertenece a la familia Apocynaceae. El género *Vallesia* con aproximadamente 20 especies, del Perú una especie se distribuye en América tropical y subtropical hasta los 500 metros de altura. Se caracteriza por ser un arbusto de hojas alternas, estipuladas, inflorescencias laterales, con flores blanco-verdosas en umbelas cimosas, dicotómicas; cáliz pequeño esencialmente 5-lobulado y fruto drupáceo (Castañeda, 2018; Mostacero et al., 2009).

Se extiende desde la Provincia de Córdoba hasta California en Estados Unidos de Norteamérica. En Perú se reporta en los Valles de las Costas de Apurímac, Cajamarca, Ica, La Libertad, Lambayeque y Tumbes (Castañeda, 2018). Morfológicamente *V. glabra*, es un arbusto de tallo recto, delgado que forma matorrales densos de hasta 5 metros de altura, con tallos delgados de 3 a 6 cm. Sus hojas son simples, alternas, dísticas y lanceoladas. Las inflorescencias son cimmas paniculadas, mientras que sus flores son hermafroditas, pequeñas y de color blanco verdosas, con borde en forma de estrella. Presenta un cáliz de 5 sépalos y gineceo bicarpelar. Sus frutos son drupas colgantes de color blanco perlado. Mientras que las semillas son ovoides de color marrón blanquecino y los frutos son comestibles (Mostacero et al., 2009; Castañeda, 2018).

Desde el punto de vista medicinal *V. glabra* presenta alcaloides del tipo cuncunima, por ello el extracto de las hojas son utilizadas como cicatrizantes para las heridas y como remedio casero para la inflamación de los ojos, destacando su actividad antibacteriana frente a *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* (Mostacero et al., 2009; Quintanilla y Guerrero, 2018). Desde el punto de vista ecológico, *V. glabra* es útil para la conservación de la humedad y para aumentar la fertilidad del suelo de los Bosques Secos del Perú, al servir de soporte para el desarrollo de huarango (*Prosopis limensis*) y espino (*Acacia macracantha*), negrito (*Scutia spicata*), cahuato (*Tecoma fulva*), palo negro (*Grabowskia boerhaviifolia*), sapote (*Colicodendron scabridum*), entre otros. Todas estas especies incluyendo *V. glabra*, cumplen un rol importante en el control de las dunas del Bosque Seco del Perú; sin embargo, en la actualidad son considerados como vegetación frágil, al ser continuamente perturbadas por intervenciones humanas (Whaley et al., 2010). Además, *V. glabra* brinda servicios ambientales como la captura y almacenamiento de carbono, protección de las fuentes de agua y control de la erosión del suelo. Así mismo constituye ser el hábitat de numerosas especies animales que ofrecen bellezas escénicas que benefician al turismo (MINAM, 2011; Whaley et al., 2010).

Por otro lado, desde el punto de vista agronómico, los estudios morfométricos de frutos y semillas son parte de investigaciones que permiten caracterizar poblaciones y disponer de material genético para su mejoramiento o conservación; contribuyendo con la instalación de bancos de semilla y programas de reforestación de una especie de interés (Bonilla et al., 2016; Iglesias et al., 2005). Estos estudios van desde el registro del largo, ancho y peso de los frutos, empleando balanza analítica y calibre de precisión (vernier), hasta estudios de viabilidad y germinación de semillas, como aspectos complementarios (López et al., 2017; López et al., 2018; López et al., 2020). Ante la necesidad de un mayor conocimiento en esta área se planteó como objetivo de investigación determinar la morfometría de frutos y semillas de *V. glabra*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de frutos y morfometría

Los frutos provinieron de colecciones del Área de conservación privada Bosque Natural El Cañoncillo, del distrito de San José, provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad, ubicada a 7°22'20"S 79°25'26"O, a una altura de 43 m.s.n.m (Figura 1). El material botánico fue seleccionado y transportado en bolsas de papel al Laboratorio de Biotecnología del Instituto de la Papa y Cultivos Andinos de la Universidad Nacional de Trujillo, donde se realizó una nueva selección de los frutos libres de lesiones de insectos y abolladuras.

Luego en el laboratorio, al tiempo de 24 horas se midió la longitud y el ancho de los frutos y semillas con un paquímetro Vernier Caliper® se registró la masa de los frutos y semillas utilizando balanza analítica y se estimó la desviación estándar para cada una de estas.



Figura 1. Zona de influencia. A. Área de conservación privada Bosque Natural El Cañoncillo. B. Individuo de *V. glabra* con frutos maduros. C. Semillas de *V. glabra*.

Análisis estadístico

Se consideró un análisis estadístico de tipo descriptivo, constituido por una muestra de 100 frutos maduros, seleccionados al azar. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente con el software R. Se estimó la desviación estándar y el coeficiente de variación y, se realizó un análisis de correlación.

3. RESULTADOS

Las variables largo del fruto y de semilla presentaron un coeficiente de variación de 6.514% y 6.461%, la variable ancho de fruto presentó un coeficiente de variación de 11.364%, mientras que las variables masa del fruto y de semilla presentaron un coeficiente de variación de 15,976% y 19,149 % (Tabla 1). Siendo la variable ancho de semilla la que presentó la mayor variabilidad (CV=20,675%). Según el análisis de correlación de las variables: Largo (cm), ancho (cm), Masa (g), de frutos y semillas de *V. glabra*, se observa la existencia de una relación directa entre las mismas. Resaltando que las variables largo de fruto y de semilla, presentaron la mayor fuerza de asociación (Tabla 2).

Tabla 1. Resultados estadísticos de la morfometría de frutos y semillas de *V. glabra*.

	Variable	Estimación de la media*	Des.Est.	CV (%)
Fruto	Largo (cm)	1,090±0,027	0,071	6,514
	Ancho (cm)	0,440±0,018	0,050	11,364
	Masa (g)	0,169±0,010	0,027	15,976
Semilla	Largo (cm)	1,037±0,025	0,067	6,461
	Ancho (cm)	0,237±0,018	0,049	20,675
	Masa (g)	0,047±0,003	0,009	19,149

Nota: Des. Est. (Desviación estándar); CV (Coeficiente de variación).

*Estimación de la media al 95.0% de confianza.

Tabla 2. Correlación de las variables: Largo, ancho y masa de frutos y semillas de *V. glabra*.

Variable	Fruto_Largo	Fruto_Ancho	Fruto_Masa	Semilla_Largo	Semilla_Ancho	Semilla_Masa
Fruto_Largo	1	$r_s = 0,219$ (p=0,246)	$r_s = 0,323$ (p=0,081)	$r_s = 0,727^{**}$ (p=0,000)	$r_s = 0,118$ (p=0,536)	$r_s = 0,345$ (p=0,061)
Fruto_Ancho		1	$r_s = 0,637^{**}$ (p=0,000)	$r_s = 0,171$ (p=0,368)	$r_s = 0,085$ (p=0,656)	$r_s = 0,358$ (p=0,052)
Fruto_Masa			1	$r_s = 0,043$ (p=0,820)	$r_s = 0,060$ (p=0,753)	$r_s = 0,428^*$ (p=0,018)
Semilla_Largo				1	$r_s = 0,122$ (p=0,521)	$r_s = 0,346$ (p=0,061)
Semilla_Ancho					1	$r_s = 0,488^{**}$ (p=0,006)
Semilla_Masa						1

Leyenda: * Correlaciones significativas $p < 0,05$; ** Correlaciones altamente significativas $p < 0,01$; “cm” para largo y ancho; “g” para peso de fruto y semilla de *V. glabra*.

4. DISCUSIÓN

V. glabra se caracteriza por tener drupas colgantes de color blanco perlado que presentan en promedio un largo de $1,090 \pm 0,027$ cm y un ancho de $0,440 \pm 0,018$ cm (Tabla 1), es decir, produce frutos pequeños, comparado con otras especies del bosque seco como *Prosopis pallida*, cuyo fruto es una legumbre indehisciente que tiene un largo entre 10-28 cm, y un ancho de 11-13 mm, y *Caesalpinia spinosa* con un largo de fruto de $9,99 \pm 1,5$ cm y un ancho de $1,89 \pm 0,1$ cm. Los frutos de *V. glabra* tienen una masa de $0,169 \pm 0,010$ g, el cual es menor comparado con los frutos de *P. pallida* y *C. spinosa* con $0,25-0,3$ g y $3,82 \pm 0,8$ g, respectivamente (Bonilla et al., 2016; Dostert et al., 2012; Galera, 2000; Castañeda, 2018).

En cuanto a la morfometría de la semilla de *V. glabra* (Tabla 1), predominó la forma ovoide y el color marrón claro (Figura 1), con una longitud promedio de $1,037 \pm 0,025$ cm y un ancho de $0,237 \pm 0,018$ cm, registrándose una fuerte diferencia si se compara con semillas de otras especies como *P. pallida*, cuyas semillas son cuadrangulares de color café y con 6,5 mm de largo, *C. spinosa* que presenta semillas marrones de múltiples formas, tales como: obovada globosa, obovada aplanada y romboide; cuya longitud es de 1.5 cm. Tanto *P. pallida* y *C. spinosa* tienen la peculiaridad de evidenciar una testa rígida que hace imprescindible la escarificación. En lo referente a la masa de semillas *V. glabra* presenta $0,047 \pm 0,003$ g, el cual es menor comparado con *P. pallida* con 0,3 g y *C. spinosa* con 0,261 g (Bonilla et al., 2016; Campos et al., 2019; Dostert et al., 2012; López y Gil., 2017; Villena et al., 2019).

El análisis estadístico de *V. glabra* (Tabla 1), reportó que todas las variables presentaron un CV>6 %, siendo el ancho de semilla la variable que presentó una mayor variabilidad con un coeficiente de variación de 20.675 %. Este resultado es un indicador de alta variabilidad genética poblacional que se sustenta en la condición de *V. glabra* como planta silvestre o de domesticación incipiente, evidencia corroborable son la presencia de estructuras de defensa, capacidad de dispersión, frutos y semillas pequeños e irregulares; siendo importante considerar que puede haber la influencia de factores ambientales y nutricionales (Medina, 2011; Silva et al., 2018).

El análisis de correlación (Tabla 2), permitió observar que las variables largo de fruto con largo de semilla, ancho del fruto con masa de fruto, masa del fruto con masa de semilla, ancho de semilla con

masa de semilla; presentaron una correlación altamente significativa ($p < 0,01$), lo cual es indicador de la existencia de una relación directa entre las variables mencionadas. Es de resaltar que las variables largo de fruto y largo de semilla presentaron la mayor fuerza de asociación, de tal manera que existe una relación directamente proporcional (altos valores de una variable implican altos valores en la otra variable), debido a la dependencia entre ambas (Hinkle et al., 2003). Por otro lado, entre la variable masa de fruto con masa de semilla y largo de semilla con masa de semilla se evidencia una correlación cuya fuerza de asociación es baja positiva, de tal manera que valores altos de una variable no implica valores altos en la otra variable, debido a la no dependencia entre ambas. Esto corrobora la condición de *V. glabra* como planta silvestre cuya amplia variación de la masa y del tamaño de su semilla puede influir en la dispersión y el posterior establecimiento de las plántulas, debido a que existe la tendencia que semillas más grandes y pesadas tienen porcentajes de germinación más altos que las semillas pequeñas, pues requieren de más tiempo para alcanzar su madurez fisiológica en condiciones naturales (Ayala et al., 2004).

Cabe mencionar que en el bosque seco muchas especies de animales y vegetales se encuentran asociados, utilizando los bosques como corredores para desplazarse en sus rutas migratorias (Whaley et al., 2010). De manera natural *V. glabra* sirve de hábitat y alimento a especies como cortarrama peruano (*Phytotoma raimondii*), quien a su vez contribuye con la dispersión de sus semillas. Entonces, la alarmante disminución y escasez de arbustos de *V. glabra* producto de la tala indiscriminada, ha contribuido con la reducción de la reproducción de esta especie considerada en peligro de extinción (Cónica, 2016; Romo y Rosina, 2012; Xifreda et al., 2007).

Considerando lo anterior, es de resaltar que los datos morfométricos para *V. glabra* obtenidos en el presente estudio, constituyen información básica del estado productivo de frutos y semillas para la propagación y conservación de la especie en bancos de semilla y programas de reforestación que contribuyen a restablecer el orden en el ecosistema de bosque seco del Perú (García et al., 2018; Hernández et al., 2010).

2. CONCLUSIÓN

Las variables evaluadas presentaron una correlación significativa, siendo la variable ancho de semilla la que presentó mayor variabilidad, aportando información básica de gran importancia para el conocimiento elemental del estado productivo de frutos y semillas de *V. glabra* "cuncuno" en el Área de conservación privada Bosque Natural El Cañoncillo.

3. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Laboratorio de Biotecnología del Instituto de La Papa y Cultivos Andinos de la Universidad Nacional de Trujillo-Perú, por el préstamo de sus instalaciones para llevar a cabo la presente investigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, G., Terrazas, T., López, L., y Trejo, C. (2004). Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia* 29(12): 692-697.
- Bonilla, H., López, A., Carbajal, Y., y Siles, M. (2016). Análisis de variables morfométricas de frutos de "tara" provenientes de Yauyos y Ayacucho para identificar caracteres agromorfológicos de interés. *Revista Scientia Agropecuaria* 7(3): 157-164.
- Campos, D., Chávez, C., López, S., Mostacero, J., Gil, A., López, A., y De La Cruz, A. (2019). Efecto de la 6- bencilaminopurina y del medio de cultivo ms (1962) en el establecimiento *in vitro* de *Prosopis pallida* (willd.) Kunth. *Rebiol* 39(2): 30 - 40.
- Castañeda, N. (2018). *Vallesia glabra* (Cav.) Link (etnobotánica). Lima, Perú. Recuperado el 10 de enero del 2020. https://www.researchgate.net/publication/325978661_Link_Vallesia_glabra_Cav_Link_etnobotanica

- Cónica. (2016). *Vallesia glabra*. Recuperado el 15 de enero del 2020, de Inaturalist.org website: <http://www.conservamosica.org/conica/colio/vallesia-glabra-apocynaceae/>
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2012). Hoja botánica: *Algarrobo*. Lima, Perú: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. Recuperado el 12 de enero del 2020. http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Algarrobo_2012.pdf
- Galera, F. (2000). Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico. Córdova, Argentina: Ed. Talleres Gráficos de Graziani Gráfica.
- García, R., Castañeda, S., y Valdéz, E. (2018). Quality of rocoto pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pav.) seeds in relation to extraction timing. *Acta Agronómica* 67(2): 246-251. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v67n2.59057>
- Hernández, S., López, R., Porras, F., Parra, S., Villareal, M., y Osuna, T. (2010). Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de Chile silvestre. *Agrociencia* 44(6): 667-677.
- Hinkle, D., Wiersma, W., y Jurs, S. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences* Boston, United States: Houghton Mifflin (Eds).
- Iglesias, L., Mora, I., y Casa, J. (2005). Morfometría, viabilidad y variabilidad de las semillas de la población de *Pinus hartwegii* del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Cuadernos de biodiversidad* 19(1):14-18. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2006.19.03>
- López, S.; Gil, A. (2017). Efecto del acondicionamiento osmótico en la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* (Feuillee ex Molina) Kuntze (Fabaceae) "taya". *Arnaldoa* 24(1): 333-342. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>
- López, S., Mendoza, C., López, A., Caicedo, M., Gil, A., y Pazos, A. (2017). Caracterización morfométrica de frutos y semillas de charalina, *Casimiroa edulis* (Rutaceae). *Rebiol* 37(1): 30-35.
- López, S., Caicedo, M., Gil, A., López, A., y Pazos, A. (2018). Morfometría de fruto y semilla de *Bixa orellana* L. "achiote". *Sciencio* 21(2): 213-216.
- López, S., Mostacero, L., Quijano, C., Gil, A., y Rabanal, F. (2020). Caracterización del fruto, semilla y fibra de *Gossypium raimondii* Ulbrich, ecotipo algodón silvestre. *Revista Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 21(1): 1-8. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1219
- Medina, C. (2011). *Domesticación de Plantas Cultivadas*. (1era edición). Trujillo, Perú: CONCYTEC.
- MINAM. (2011). La desertificación en el Perú. Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. Lima, Perú. Recuperado el 10 de enero del 2020, de MINAM website: http://www.euroclimaplus.org/images/Publicaciones/Suelos/Peru_4Inf_Desertificacion_1.pdf
- Mostacero, L., Mejía, F., y Gamarra, T. (2009). *Fanerógamas del Perú*. Trujillo, Perú: GRAFICART (Eds.).
- Quintanilla, C., y Guerrero, J. (2018). Efecto antibacteriano del extracto etanólico de las hojas de *vallesia glabra* (cun cun) frente a cepas de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* estudio in vitro. (Tesis Químico Farmacéutico y Bioquímico). Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Romo, M., y Rosina, M. (2012). Composición florística del hábitat de la cortarrama peruana (*Phytotoma raimondii*). *Rev. peru. biol.* 19(3): 261-265.
- Silva, L., Smiderle, O., Gomes, J., Lima, R., Miranda, F., y Bardales, R. (2018). Caracterización de frutos y semillas de *Astrocaryum aculeatum* G. Mey. en la Amazonia septentrional, Roraima, Brasil. *Revista de Ciencias Agrarias Amazonian Journal* 61(1): 1-7. doi: 10.22491/rca.2018.2338
- Villena, J., Seminario, J., y Valderrama, M. (2019). Morphological variability of the "tara" *Caesalpinia spinosa* (Molina.) Kuntze (Fabaceae), in natural populations of Cajamarca: fruit and seed descriptors. *Arnaldoa* 26(2): 555-574. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>
- Xifreda, C., López, M., y Novara, L. (2007). *Flora del valle de Lerma*. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina: Herbario MCNS.
- Whaley, O., Orellana, A., Pérez, E., Tenorio, M., Quinteros, F., Mendoza, M., y Pecho, O. (2010). *Plantas y Vegetación de Ica, Perú*. Lima, Perú: Litho Arte (Eds.).

Artículo Original

CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LA CUENCA DEL RÍO HUACAMARCANGA (LA LIBERTAD, PERÚ)

WATER QUALITY ACCORDING TO BENTHIC MACROINVERTEBRATES AND PHYSICAL CHEMICAL PARAMETERS IN THE HUACAMARCANGA RIVER (LA LIBERTAD, PERU)

Gustavo Mora Tisnado^{*1}; César Medina Tafur²; José Luis Polo-Corro²; Manuel Hora Revilla³.

¹Ex alumno de la Escuela de Pos grado de la Universidad Nacional de Trujillo. Perú

²Departamento de Zoología. Facultad de C. Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

³AMAS (Asociación Marianista de Acción Social). Otuzco. Perú

*Autor para correspondencia: gmoratisnado@gmail.com

Recibido: 22 de abril, 2020. Aceptado: 8 de junio, 2020

RESUMEN

El presente estudio evaluó la calidad del agua de la cuenca río Huacamarcanga, ubicado en la sierra del norte peruano durante los meses de junio (época de estiaje) y diciembre (época de lluvias); del año 2017, para ello, se utilizó como indicadores a los macroinvertebrados bentónicos, el Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) adaptado para norte de Perú y parámetros fisicoquímicos: temperatura (grados centígrados), pH (cantidad de iones de hidrógeno), oxígeno disuelto (mg/L), conductibilidad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), fosfatos (mg/L), sulfatos (mg/L).

Se establecieron 4 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca (entre los 3780 a 3725 m.s.n.m). Los resultados mostraron una calidad de agua variable entre buena a crítica en época de estiaje y de aceptable a crítica en época lluviosa; los parámetros fisicoquímicos cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para Categoría 3 y 4 establecidos en el DS N°004-2017 MINAM.

Palabras claves: Calidad de agua, río Huacamarcanga, bioindicadores, Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

ABSTRACT

The present study evaluated the water quality of the Huacamarcanga river basin, located in the northern Peruvian highlands during the months of June (dry season) and December (rainy season); From 2017, for this, benthic macroinvertebrates, the BMWP Index (Biological Monitoring Working Party) adapted for northern Peru and physicochemical parameters: temperature (degrees Centigrade), pH (amount of hydrogen ions), dissolved oxygen were used as indicators. (mg/L), electrical conductivity ($\mu\text{S} / \text{cm}$), phosphates (mg / L) sulphates (mg/L) 4 sampling points were established throughout the basin (between 3780 to 3725 masl). The results showed a quality of water that varies from good to critical in the dry season and from acceptable to critical in the rainy season; the physicochemical parameters complied with the Environmental Quality Standards (ECAs) for Category 3 and 4 established in Supreme Decree No. 004-2017 MINAM.

Keywords: Water quality, Huacamarcanga river, bioindicators, Environmental Quality Standards (ECA).

1. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un valor ecológico esencial para la salud y para el crecimiento económico y también se relaciona con su cercanía al estado natural (Sánchez, 2015). El agua es uno de los elementos fundamentales y principales para la vida de plantas y animales, uno de los tesoros que tiene la naturaleza, a veces se cree que nunca se va a terminar, sin embargo, está disminuyendo en el medio ambiente; es por eso que debemos cuidarla y preservarla (FAO, 2009). Este recurso ha sido usado por el hombre a través del tiempo para diversas actividades, produciendo aguas residuales las cuales han sido vertidas sin tratamiento alguno, a los cuerpos de agua, lo que ocasiona su degradación originando el incremento de nutrientes y sedimentos en los sistemas fluviales, ello provoca la alteración del paisaje y la incapacidad reguladora de la cuenca, todo esto produce una fuerte influencia en los ecosistemas, modificando el equilibrio del medio acuático (Roldán, 2003 en Gil, 2014).

Los análisis físicos, químicos y bacteriológicos han sido por mucho tiempo los análisis clásicos para la determinación de la calidad de agua, aunque algunos países en los últimos años están incorporando a los macroinvertebrados para calcular la calidad de agua en los ecosistemas; al ser el ecosistema acuático es un sistema funcional, en este hay un intercambio constante de materia y energía entre los seres vivos y el ambiente abiótico. Puesto que la química y la biología, están íntimamente relacionados; para la determinación de calidad de aguas naturales y contaminadas (Roldán, 2016).

Para el análisis de calidad del agua se usan bioindicadores como los macroinvertebrados, los cuales han dado a conocer el estado ecológico de los ríos y lagos europeos, que sirve de base para lograr una sorprendente restauración de estos ecosistemas en los últimos 20 años (Roldán, 2016). Los países europeos fueron los primeros en utilizar este tipo de análisis; en España, por ejemplo, los primeros trabajos mediante el estudio de los ecosistemas acuáticos usando las comunidades de macroinvertebrados y su relación con parámetros ambientales, aparecen a principios de los años 50, desarrollándose notablemente en los años 70 hasta la actualidad (Roldán, 2016). Uno de los índices más empleados, tanto en España como en Portugal en la última década, es la modificación y adaptación del IBMWP: Iberian Biomonitoring Working Party (Alba Tercedor y Pujante 2000).

En Latinoamérica, desde hace cuatro décadas vienen usándose los macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de aguas siendo Colombia uno de los primeros países en utilizarlo tal como los sostiene Roldán-Pérez (2016). Existen algunas experiencias como la realizada en Argentina, donde se utilizaron tres índices bióticos: BMWP (Biological Monitoring working Party, ASPT (Puntaje Promedio de Taxa) y EPT (Índice Biótico Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera); para determinar la relación entre variables ambientales e índices bióticos, en un río que no evidencia entradas puntuales de contaminación, pero sí extensas áreas de cultivos y explotación forestal (Fernández et al., 2002). Usando el Índice BMWP realizaron estudios Figueroa et al. (2007) en el río Chillán en Chile; López-González et al (2017), en México, Yépez et al. (2017) en el río Quevedo, Ecuador; en Bolivia también se usó el Índice BMWP para el estudio de ríos como el realizado en el río San Andrés en el departamento de Tarija (Fernández y Díaz, 2014). entre otros.

En el Perú, se utiliza macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad de aguas; por ejemplo, Vásquez y Medina (2015) realizaron estudios en el Tablachaca en Ancash; Polo et al. (2013), en el río Amojú, Cajamarca, en la Libertad se efectuó estudios en el río Casas (Arrunategui, 2016). La importancia del uso de macroinvertebrados radica en su utilidad y bajo costo a diferencia de los análisis fisicoquímicos, que representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos evidencian tendencias a través del tiempo (Springer, 2010).

Actualmente, en el norte del Perú, los ríos de sus microcuencas, están sufriendo numerosas perturbaciones originados por el hombre, entre ellos tenemos; vertidos orgánicos de poblaciones rurales, vertidos de pequeños y grandes mineras artesanales, movimiento de suelos agrícolas, regulación de caudales para uso agrícola, alteración de vegetación de ribera, produciendo un ambiente de degradación general; por esta razón, es necesario determinar la calidad de las aguas de sus ríos, (Medina et al., 2010).

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la calidad del agua de la cuenca del río Huacamaranga mediante el Índice BMWP y los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, potencia de hidrógeno, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fosfatos, sulfatos y nitrógeno amoniacal), para dar información al mejoramiento de la calidad de sus aguas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La cuenca del río Huacamaranga se encuentra entre los 3656-3780 msnm., se ubica en la provincia de Santiago de Chuco, sierra de la región La Libertad, en el norte del Perú posee aproximadamente un área de 30 Km (Figura 1).

Se origina a la altura de la comunidad de Cuajinda donde existen fuentes de agua retenida de suma importancia en la zona, Las Totoras, Laguna Negra, las lagunas Samacocha y una laguna estacional. Todos estos cuerpos de agua dan origen al canal Vicente Jiménez, muy considerable para la subsistencia de la provincia tanto para el consumo como para las actividades de ganadería y agricultura, importante impulsor de su economía hasta la fecha (Sánchez, 2012 en LLasha, 2016).

Muestreo

Se consideraron cuatro (Tabla 1, Fig. 1) puntos de muestreo en un gradiente altitudinal entre los 3656 msnm. y 3780 msnm.

En campo, se realizó dos muestreos durante el año, teniendo en cuenta la época de estiaje y lluviosa; el primer muestreo se llevó a cabo los días 11 y 12 de junio el 2017 (época de estiaje) y el segundo muestreo se efectuó el 14 y 15 de diciembre del año 2017 (época de lluvias) y se evaluó las estaciones E-1, E-2, E-3, E-4 de la cuenca de Huacamaranga.

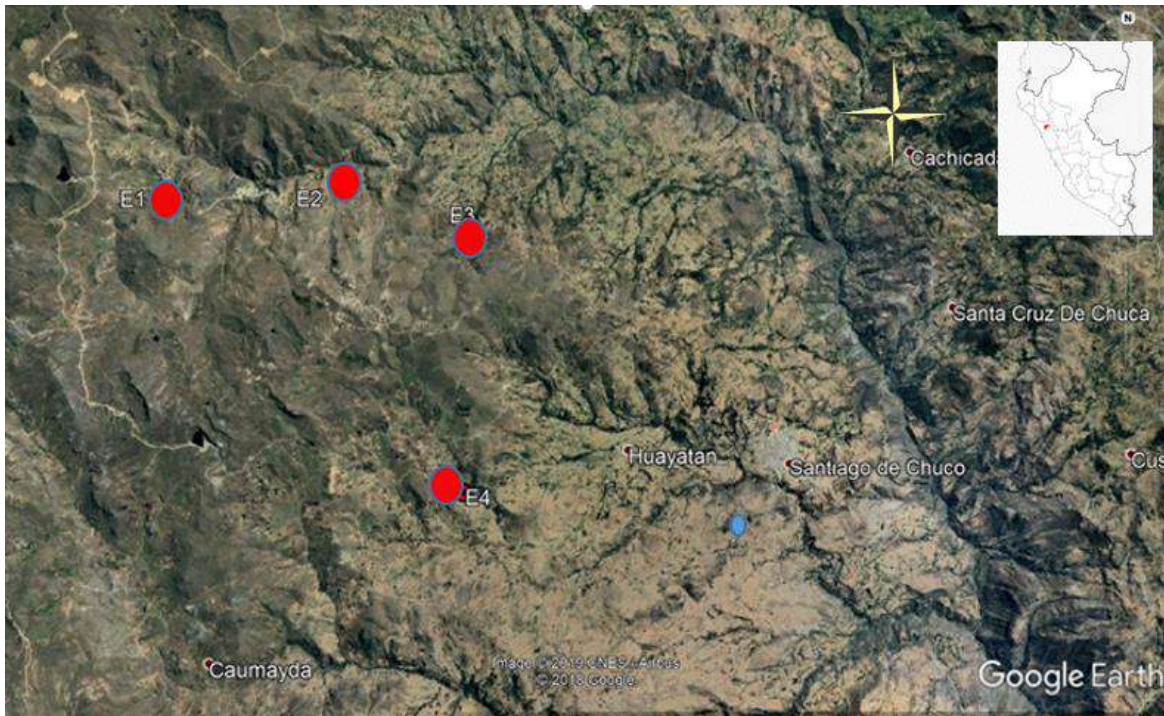


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo (E) en el área de estudio en la cuenca de Huacamaranga Provincia de Santiago de Chuco, La Libertad, 2017. Fuente: Google Eart.

Tabla 1: Coordenadas de ubicación y descripción de las estaciones de muestreo, en la cuenca Huacamarcanga Provincia de Santiago de Chuco - La Libertad, 2017.

Estación	Coordenadas UTM WGS 84	Altura m s. n. m	Descripción
E - 1	17L 0799853 9103518	3 780	Quebrada Los Toritos; carretera después de Cuajinda. a 30m aguas arriba del puente,
E - 2	17L 0803097 9103634	3 656	Quebrada Agua Blanca; carretera a Cuajinda a 20 m del puente
E - 3	17L 0805567 9102930	3 681	Quebrada Los Barretos; carretera a Cuajinda a 30 m del puente.
E - 4	17L 0805381 9098005	3 725	Rio Lalambal - Sogaranda (Miaco); carretera a Santiago. de Chuco. Sector Sogaranda, 40 m. aguas arriba del puente.

Colecta de macroinvertebrados bentónicos:

Para la toma de muestra de macroinvertebrados se utilizó una red D-net triangular de 250 micras, se cubrió un área de 100 metros siguiendo el cauce del cuerpo de agua, de aguas abajo hacia aguas arriba; se realizó barridos en los diferentes micros hábitats, removiendo sedimentos, rocas y vegetación. Luego todo el sedimento retenido en la red fue depositado en una bandeja de color blanco, cuyo color nos ayudó a discriminar de una manera precisa la fauna de macroinvertebrados acuáticos (Rubio, 2017).

Posteriormente, con la ayuda de una pinza punta fina, se colectó a los ejemplares y se depositó en frascos de 100 ml. transparente de boca ancha, que contenían alcohol y glicerina para preservarlos, se rotularon indicando día, hora del muestreo, lugar de colecta y nombre del colector. Los frascos con los macro invertebrados fueron trasladados hasta el laboratorio de Zoología de Invertebrados de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo, para su identificación taxonómica hasta familia. Se utilizaron las claves de Domínguez et al. (1994), Domínguez y Fernández (1998) y González et al. (2018).

Identificación de taxones:

En el laboratorio se procedió a determinar hasta nivel de familias los especímenes capturados, para ello, el contenido de cada frasco se vertió en placas Petri llenas de alcohol de 70°, con ayuda de pinzas, estiletes entomológicos y empleando un estereoscopio de marca OLIMPUS modelo SY61/SZ51; se procedió a la observación de las características morfológicas y anatómicas de los especímenes capturados y se empleó el método BMWP adaptado para ríos del norte de Perú, según Medina et al. (2008) y Polo (2017).

Parámetros fisicoquímicos:

En cada una de las estaciones de muestreo se tomó los parámetros de campo: temperatura (grados Centígrados), potencia de hidrógeno (cantidad de iones de hidrógeno), oxígeno disuelto (mg/L), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), fosfatos (mg/L) y sulfatos (mg/L) y nitrógeno amoniacal (mg/L), para ello un equipo multiparámetro Lamotte Smart 3.

Análisis de datos:

Una vez determinadas las familias se le asignó la puntuación de acuerdo a su intolerancia a la contaminación, siendo 10 los que presentan mayor intolerancia y 1; los que presentan menor

intolerancia según BMWP modificado por Medina et al. (2008) y Polo, (2017); dichos valores son sumados por estaciones y obtenemos el puntaje final, para luego establecer los rangos de calidad, establecidos por Prat y Munné (2000) y Prat et al. (2006), calidades de “Buena”, “Aceptable”, “Dudosa”, “Crítica” y “Muy crítica” (Tabla 2).

Los resultados de todos los parámetros fisicoquímicos se compararon según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECAs) para Agua, según el D.S. N° 004-2017 del Ministerio del Ambiente de Perú y también se usó el ECA según el D.S. N° 004-2008, ya que el nitrógeno amoniacal no aparece en el ECA del 2017.

Tabla 2. Valores del índice biológico BMWP adaptado según los rangos de calidad (Prat y Munné 2000; Prat et al., 2006).

CALIDAD	CALIFICACIÓN	VALORES	COLOR
“Buena”	Aguas muy limpias	≥ 100	● Azul
“Aceptable”	Aguas con signos de estrés	61-100	● Verde
“Dudosa”	Aguas contaminadas	36-60	● Amarillo
“Crítica”	Aguas muy contaminadas	16-35	● Naranja
“Muy crítica”	Aguas extremadamente contaminadas	≤ 15	● Rojo

3. RESULTADOS

En base a los muestreos que se realizaron en la microcuenca de Huacamarcanga durante los meses de junio y diciembre del año 2017, la presente investigación dio como resultado la siguiente composición taxonómica de macroinvertebrados los que pertenecen a 5 clases constituidas por Insecta, Rhabditophora, Clitellata, Arachnida, Malacostraca; 11 órdenes: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (Figura 2), Tricladida, Coleoptera, Diptera (Figura 3), Lepidoptera, Seriata, Oligochaeta, Acarina, Amphipoda y 33 familias. (Tablas 3 y 4).



Figura 2. Orden Trichoptera
Familia: Helicopsychidae



Figura 3. Orden Diptera
Familia: Chironomidae

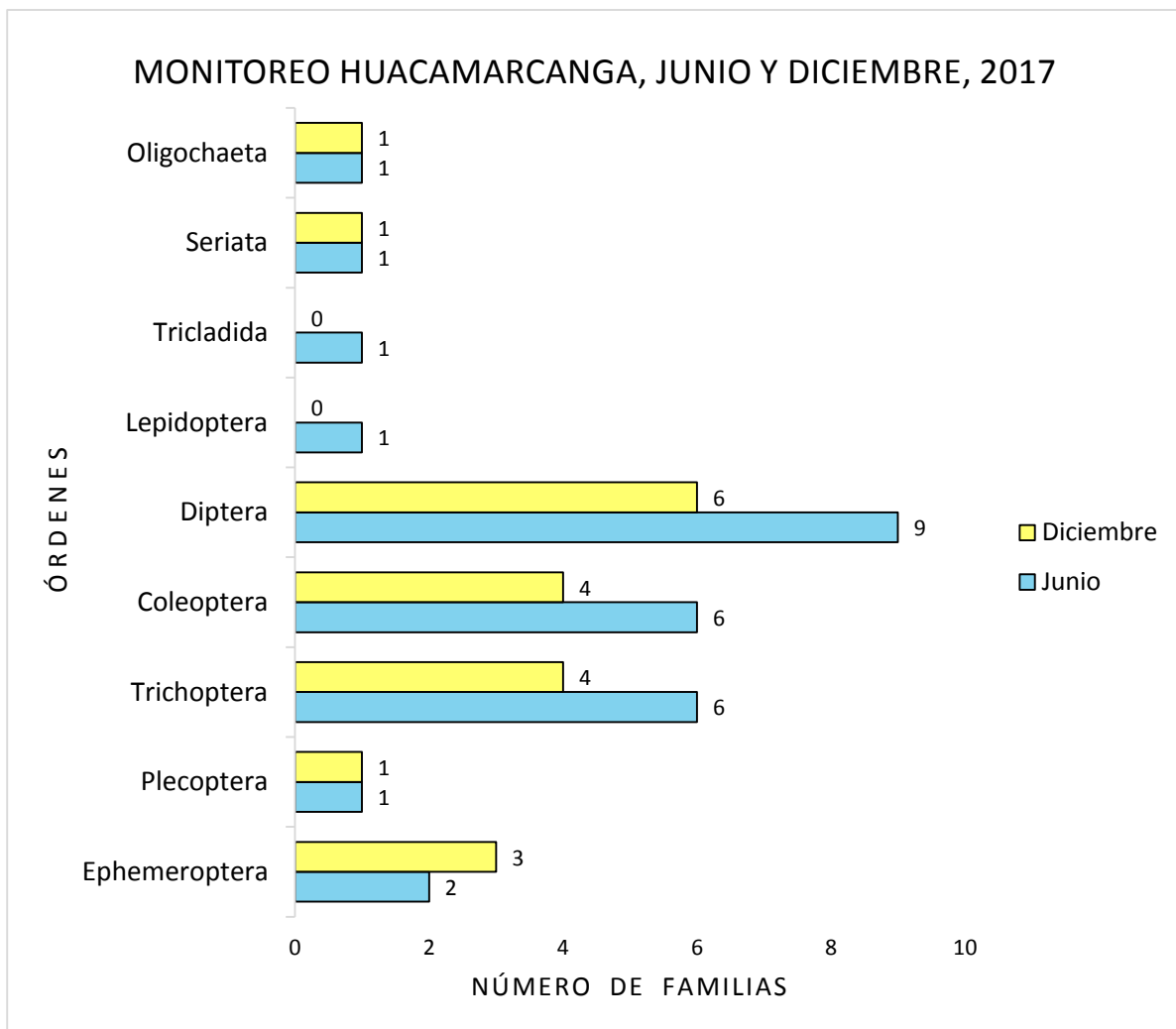


Figura 4. Abundancia de órdenes de macroinvertebrados correspondientes a la cuenca Huacamarcanga, junio y diciembre 2017.

Según la figura 4, se puede observar que en los meses de junio y diciembre el orden Diptera es el más abundante con 9 y 6 familias respectivamente y los menos abundantes que se presentaron en ambos meses fueron Oligochaeta, Seriata y Plecoptera, todos con un individuo.

En el mes de junio, se determinaron 9 familias, entre ellas Tricladida y Lepidoptera, sin embargo, en el mes de diciembre no se presentaron estas familias, y solo hubo 7 familias.

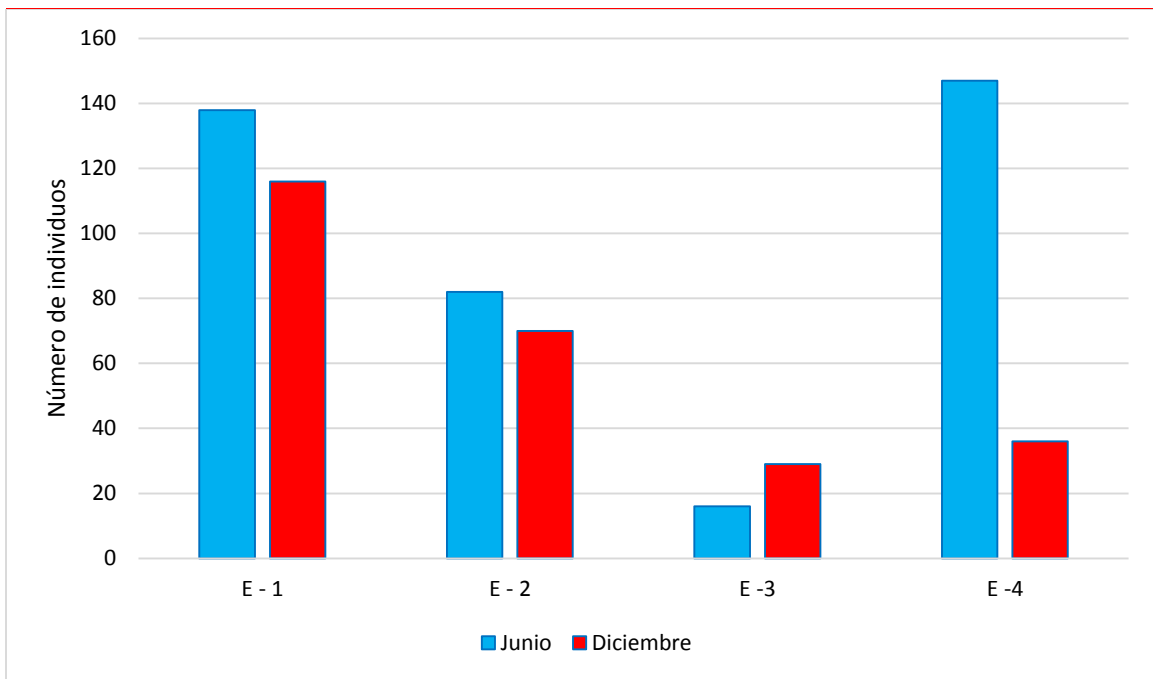


Figura 5. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos colectados en la cuenca Huacamarcanga. Junio y diciembre de 2017.

Según la figura 5, el mayor número de individuos se presentó en la estación E-4 con 147 individuos, y el menor número en la estación E-3 con 16 individuos, ambas en el mes de junio.

En el mes de diciembre, se presentaron en 3 de las 4 estaciones de muestreo, el menor número de familia de macroinvertebrados.

En la tabla 3, se presenta a las familias de macroinvertebrados colectados en las diferentes estaciones de muestreo de la cuenca Huacamarcanga, con sus respectivos valores según el índice BMWP y su respectiva sumatoria que nos indica la calidad de agua por estación de muestreo, tanto para junio como para diciembre de 2017.

Se puede apreciar que el mayor puntaje para ambos meses se encuentra en la estación 1 (E-1) y la de menor en la estación 3 (E -3), con un valor final de 103 para junio y 23 para diciembre. Además, indica que dentro de las estaciones muestreadas la E-1 presenta mejor calidad que todas y E-3 la peor calidad, para ambos meses.

En la tabla 3, se puede apreciar que el mayor puntaje se encuentra en la estación 1 (E-1) y la de menor es la estación 3 (E -3), con un valor final de 69 y 34 respectivamente. Además, indica que dentro de las estaciones muestreadas la E-1 presenta mejor calidad que todas y E-3 la peor calidad. Cabe también resaltar que las familias Elmidae y chironomidae se encuentran en 7 de 8 estaciones de muestreo.

Tabla 3. Índice BMWP adaptada para Perú de la cuenca de Huacamarca correspondiente al muestreo realizado en junio, diciembre -2017.

Orden	Familia	Junio				Diciembre			
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-1	E-2	E-3	E-4
Ephemeroptera	Baetidae	4	4	0	4	4	0	0	4
	Oligoneuridae	0	0	0	0	0	10	0	10
	Leptophlebiidae	10	0	0	10	10	0	10	10
Plecoptera	Perlidae	10	0	0	10	10	0	0	10
Trichoptera	Odontoceridae	10	0	0	0	10	0	0	0
	Leptoceridae	0	0	0	0	0	0	0	8
	Glossosomatidae	7	0	0	7	0	0	0	0
	Helicopsychidae	10	0	0	10	0	0	0	0
	Hydropsychidae	5	0	0	0	5	0	0	5
	Hydrobiosidae	8	0	8	8	8	8	0	0
	Hydroptilidae	0	0	0	6	0	0	0	0
	Coleoptera	Elmidae	5	5	5	0	5	5	5
Hydrophilidae		0	0	0	0	3	0	0	0
Scirtidae		0	5	5	5	0	0	0	0
Chrysomelidae		0	4	0	0	0	0	0	0
Dytiscidae		0	3	0	3	3	0	3	0
Ptilodactylidae		0	5	0	0	0	0	0	0
Gyrinidae		0	0	3	0	0	0	3	0
Diptera	Simuliidae	5	5	0	5	0	5	0	5
	Chironomidae	2	2	2	2	2	2	2	0
	Tabanidae	4	0	0	4	4	0	0	0
	Muscidae	2	0	0	2	0	0	0	0
	Tipulidae	5	0	0	0	0	5	5	5
	Ephydriidae	2	0	0	0	0	0	0	0
	Empididae	0	4	0	0	0	4	0	0
	Dolichopodidae	0	0	0	4	0	0	0	0
	Culicidae	0	0	0	2	0	0	2	0
	Lepidoptera	Pyalidae	4	0	0	0	0	0	0
Tricladida	Dugesidae	5	0	0	0	0	0	0	0
Seriata	Planariidae	0	5	0	0	0	5	0	0
Oligochaeta	Anellidae	1	0	0	1	1	0	0	0
Acarina	Hydrachnidae	4	4	0	4	4	0	0	0
Malacostraca	Amphipoda	0	0	0	0	0	1	0	0
ÍNDICE BWWMP		103	46	23	87	69	45	34	62

Tabla 4. Valores de Calidad del agua según el índice BMWP de la cuenca Huacamarca, Santiago de Chuco, La Libertad, junio, diciembre, 2017.

Mes	E	Valor	Color	Calificación	Calidad
J U N I O	E-1	103	● Azul	Aguas muy limpias	Buena
	E-2	46	● Amarillo	Aguas contaminadas	Dudosa
	E-3	23	● Naranja	Aguas muy contaminadas	Crítica
	E-4	87	● Verde	Aguas con signos de estres	Aceptable
D I C I E M B R E	E-1	69	● Verde	Aguas con signos de estrés	Aceptable
	E-2	45	● Amarillo	Aguas contaminadas	Dudosa
	E-3	34	● Naranja	Aguas muy contaminadas	Crítica
	E-4	62	● Verde	Aguas con signos de estres	Aceptable

En la tabla 4, se aprecia que la estación E-1 para el mes de junio posee el mayor valor (103) lo que nos indica que es de calidad Buena y califica como aguas muy limpias; sin embargo, para el mes de diciembre la estación E-1 baja de valor (69) pasando a Aceptable y califica como aguas con signos de estrés.

La estación E-3, la calidad de agua fue Crítica, calificándola como aguas muy contaminadas tanto para junio y diciembre siendo los puntajes más bajos 23 para junio y 34 para diciembre.

En ambos meses, las estaciones E-2, E-3 y E-4, tuvieron la calidad de dudosa, crítica y aceptable, respectivamente.

Tabla 5. Resultado en parámetros físicoquímicos correspondiente al monitoreo de la cuenca de Huacamarca, La Libertad junio, 2017.

Parámetros físicoquímicos								
Mes	E	Fosfatos mg/L	Sulfatos mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Temp. C°	Potencial de Hidrógeno pH	Oxígeno disuelto mg/L	Conducti bilidad (µS/cm)
J U N I O	E - 1	0,0	55,0	0,48	7,4	6,52	6,55	113,4
	E - 2	0,0	57,0	0,00	10,7	6,72	5,68	117,3
	E - 3	0,0	74,0	0,00	8,0	6,97	6,23	112,8
	E - 4	0,0	55,0	0,05	10,7	7,34	5,93	113,5
D I C I E M B R E	E - 1	0,0	102,0	0,11	11,4	6,90	6,54	174,6
	E - 2	0,0	74,0	0,13	10,8	6,40	6,98	123,2
	E - 3	0,0	192,0	0,07	10,4	6,20	7,40	265,9
	E - 4	1,0	79,0	0,03	13,3	7,20	6,80	37,6
ECA Caterogía 4		*0,5	*1000,0	**<0,02	Δ 3,0	6,5 a 9,0	≥ 5,0	1000,0

ECA N° 004-2017-MINAM Categoría 4

*ECA N° 004-2017-MINAM

Categoría 3

Δ 3: variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**ECA N° 004-2008-MINAM Categoría 4

ECA: Estándares de Calidad Ambiental

Según la tabla 5, los niveles de fosfatos fueron nulos en todos los puntos, a excepción del punto 4 en el mes de diciembre. La temperatura de menor intensidad se registró en el punto 1, en junio con 7.4 °C, mientras la mayor intensidad en el punto 4 con 13.3 °C es en el mes de diciembre.

En el caso del pH, todos los puntos de junio y diciembre se encuentran dentro del parámetro según el ECA para categoría 4. En cuanto al oxígeno disuelto, se encontró que todos estaban sobre 5, que es el adecuado para ECA categoría 4, para conservación del medio ambiente.

4. DISCUSIÓN

Para la evaluación de la calidad de agua en ecosistemas acuáticos, como los ríos; se usan macroinvertebrados ya que proporcionan una excelente información para determinar su calidad (Mesa, 2010). Por ello su uso es un buen método que puede complementar los análisis fisicoquímicos, ya que proporciona ciertas ventajas sobre los anteriores análisis, porque nos permite tener una idea de la contaminación días antes de la toma de muestra; esto se interpreta que cuando se realiza el análisis de calidad de agua usando los métodos tradicionales (fisicoquímicos) solo se determina la presencia de materiales contaminantes en el momento que se realiza el monitoreo, sin embargo, cuando se ejecuta el análisis de aguas usando bioindicadores como los macroindicadores se puede detectar evidencia de contaminación pasada, mediante la ausencia o presencia de diversas familias de macroinvertebrados, para lo cual aplicamos parámetros e índices establecidos (Vásquez y Medina, 2015).

La calidad de agua es de alguna manera un amplio tema de discusión, dependiendo de las condiciones en que esta se encuentre y el uso que se le puede dar a este recurso vital, los problemas se van incrementando en todos los países, aun en los que disponen de una buena dispensa de este agotable recurso, tal es el caso de la presente investigación realizada en la cuenca Huacamarca de Santiago de Chuco, La Libertad.

Según la Figura 5, se observa que el mayor número de especímenes se presentan en el mes de junio y el menor en diciembre; esto se debe a que en junio hay pocas precipitaciones, estos periodos de sequía y bajo caudal, favorecen la formación de un mayor número de microhábitats; debido a la baja velocidad de corrientes que favorece el desarrollo de mayor número de invertebrados; lo contrario sucede en diciembre (época lluviosa) debido al aumento de corrientes como resultados de lluvias intensas; similares resultados se obtuvieron en investigaciones realizadas en el río Alvarado, Colombia por Rojas-Sandino et al. (2018).

El orden Diptera (Figura 4) presentó el mayor número de familias de macroinvertebrados, 9 familias en el mes de junio y 6 familias en el mes de diciembre (Figura 4 y 5), ya que es un orden ampliamente distribuido y de mayor diversidad, sus larvas acuáticas están adaptadas para vivir en una variedad de hábitats como ambientes con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, mientras que otras son especies oportunistas, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso en condiciones extremas; por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad de agua, (Ladrela, 2012). Y dentro de este orden la familia Chironomidae (tabla 3 y 4) fue la que más se presentó; determinándose en 7 de las 8 estaciones, similar resultado obtuvo Machado, Granda y Endara (2018), en el río Sardina, Chocó Andino Ecuatoriano y Alomia et al. (2017) en la cuenca alta del río Huallaga – Perú.

Según las tabla 3, el punto P-1, tanto para junio como para diciembre fueron los que mayor valor tuvieron, pero conforme sigue su curso pasa a calidad de dudosa (Aguas contaminadas) en el punto P-2 y sigue bajando en el punto P-3 a calidad Crítica (aguas muy contaminadas), esto es debido a que son afectadas, por actividades antrópicas como la minería y el vertido de aguas servidas, sin embargo, para el punto P- 4 se va recuperando pasando a calidad de aguas con signos de estrés; los resultados obtenidos son similares a los de la microcuenca Perejil, La Libertad (Polo et al., 2013). El índice de diversidad, BMWP, es un buen indicador biológico de su medio, es por ello que sus características o factores, guardan relación entre factores bióticos y abióticos, así los factores abióticos determinados por algunos parámetros fisicoquímicos (Tabla 5) son útiles, así la temperatura 10.4 C° fue la más baja y se encontró en la estación E-3 para el mes de diciembre, y presentó la menor calidad para este mes, ya que la temperatura influye en las corrientes de agua sobre todo cuando hay variaciones influyen de manera directa en el desarrollo de la flora y fauna, puesto que aumenta la toxicidad de algunas sustancias disueltas produciendo la disminución del oxígeno disuelto. El pH más bajo se obtuvo en la estación E-3 para el mes de diciembre y en esta estación se presentó la menor calidad de aguas, dado que el pH causa cambios en la fauna y flora del agua de ríos; además tiene influencia en la toxicidad de compuestos como metales pesados, amoníaco, entre otros. En el caso de la conductividad, se determinó que para el mes de junio la

estación E-1 tuvo 6,55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo el más alto para ese mes obteniendo la mayor calidad; este parámetro evalúa la presencia de sales en forma ionizada que permite establecer relaciones con los sólidos disueltos en los cuerpos de agua. Lo cual evidencia que la conductibilidad, pH y temperatura son factores principales en la determinación y composición de los macroinvertebrados, (Morelli y Verdi, 2014; Carvacho, 2012). Además de cumplir con del con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua, Decreto Supremo 004 – 2017 – MINAM (El Peruano 2017), para la categoría 4 “Conservación del medio acuático).

Respecto a los fosfatos y sulfatos (tabla 5), estos cumplen con el DS 004 2017. MINAM, para la categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales” a excepción del punto P-4 en el mes de diciembre que la sobrepasa; estos cumplen un rol importante en el crecimiento de las algas al ser considerado un nutriente, pocas veces se encuentra en concentraciones elevadas, debido a que las plantas los absorben rápidamente. Los sulfatos podrían indicar presencia de actividades antrópicas como el lavado de ropa al emplear detergentes de los grupos LAS (Alkyl-benceno Sulfonato lineal) y ABS (Alkyl-benceno Sulfonato ramificados) siendo el grupo LAS a diferencia del grupo ASB biodegradable. en el caso nitrógeno amoniacal presente en el agua permite reducir los niveles de oxígeno disuelto, (Ramírez, 2011). De lo expuesto anteriormente, los resultados en ambas cuencas, en los meses de junio y diciembre no se observaron resultados que estén incumpliendo los indicados en los ECA DS N°004-2017 MINAM categoría 3. Es necesario mencionar que el Nitrógeno amoniacal no se encuentra en el DS N°002-2008 MINAM. (El Peruano, 2008)

5. CONCLUSIONES:

La calidad del agua en base al índice BMWP en la cuenca Huacamarca varía de calidad “Buena” a “Crítica” en junio y de calidad “Aceptable a Crítica” en diciembre.

Los macroinvertebrados encontrados en la cuenta de Huacamarca pertenecen a 5 Clases, 11 órdenes y 33 familias, determinando a la familia Chironomidae como la más abundante.

Los parámetros fisicoquímicos: temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto y conductibilidad cumplen con norma legal peruana de los estándares de calidad ambiental (ECAs) para la Categoría 4: Conservación del medio acuático; sin embargo, no lo cumplen los Fosfatos y Nitrógeno amoniacal.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba-Tercedor, J. (2000). Running-water biomonitoring in Spain. Opportunities for a predictive approach. In: Assessing the Biological Quality of Freshwater: RIVPACS and similar techniques. J.F. Wright, D.W. Sutcliffe & M. Furse Freshwater Biological Association. (eds.): 207-216.
- Alomia, J., Iannacone J., Alvarino L. & Ventura K. (2017). Macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad de las aguas de la cuenca alta del río Huallaga, Perú. *The Biologist*, 15(1):65-84.
- Arrunategui, K. (2016). Utilización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua y algunos parámetros físicos químicos del río Cascas, La Libertad, marzo a agosto 2015. (Tesis para obtener el título de biólogo) Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Carvacho, A. (2012). Macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile. Universidad de Barcelona. España.
- Domínguez, E., y Fernández, R. (1998). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Fundación Lillo. Argentina.
- Domínguez, E., Hubbarc, M., y Pescador, M. (1994). Los Ephemeroptera en Argentina. Programa de Fauna de agua. Pag. 33.
- El Peruano. (2008). Decreto Supremo N°002 - 2008 MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.
- El Peruano. (2017) Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

- Fernández, H., Romero F., Vece M., Manzo V., Nieto C y Orce M. (2002). Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán – Argentina). *Limnética* 21(1-2):1-13.
- Fernández, D., y Díaz, H. (2014). Evaluación de calidad del agua mediante el uso de índices bióticos en el río San Andrés. Bolivia.
- Figuerola, R., Palma, A., Ruiz, V., y Niell, X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural*. 80: 225-242.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (2009). Cuaderno de trabajo II. Santo Domingo República Dominicana.
- Gil, G. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macro invertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa [Maestría]. Colombia.
- González, H., Crespo, E., Acosta, R., y Hampe, (2018). Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del Cantón Cuenca. ETAPA. E.P. 156 pp.
- Ladrela, R. (2012). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Páginas de Información Ambiental N° 39
- Llasha, L. (2016). Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos en las microcuencas de Huacamarcanga, La Arena y Tres Cruces; La Libertad, julio - diciembre 2015. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- López-González. B., Quiroz-González, I., Saldaña, M., Medina, G., González, B., y Quiroz H. (2017). Calidad del agua de tres sistemas acuáticos con insectos como modelo de estudio en la región fronteriza México-Estados Unidos de América con el enfoque al control de las descargas de aguas residuales. *Bol. Soc. Mex. Ent.* (n.s.)
- Machado, V., Granda, R., y Endara, A. (2018). Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del Río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano. *Enfoque UTE*, V. 9 – N 4, Dec. 2018, pp. 154 – 167.
- Medina, C., Hora, M., Pereda, W., Gabriel, R., y Asencio I. (2010). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú. 2008. *Scienciendo ciencia para el desarrollo*.13 (2):1681-7230.
- Mesa, L. (2010). Hydraulic parameters and longitudinal distribution of macroinvertebrates in subtropical Andean basin. *Interciencia* 35(10):759-764.
- Medina, C., Hora, M., Guzmán, I., Pereda, R., y Aguilar, R. (2008). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú.
- Morelli, E., y Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 1160 – 1170.
- Prat, N. y Munné, T. (2000). Water Use, quality, and stream flow in a Mediterranean Stream. *Water Research*, 34(15): 3876-3881.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., y Rieradevall, M. (2006). C.E.R.A. Un protocolo para determinar el ESTADO ECOLÓGICO de los ríos Andinos. Grup de recerca F.E.M. (Freshwater Ecology and Management). Universidad de Barcelona. España. <http://www.diba.es/mediambient/ecostrimed.asp>. 45
- Polo, J. (2017). Aspectos de la caracterización de la vegetación ribereña, macroinvertebrados bentónicos y hábitat fluvial para determinar el estado ecológico del río Amojú - Cajamarca. Perú. Setiembre 2012 - setiembre 2015. (Tesis para optar el grado de doctor). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Polo, J., Hora, M., Pereda, W., y Santoyo C. (2013). Calidad biológica del agua de la microcuenca Perejil, La Libertad- Perú. *Revista Pakamuros* 1 (1): 66-74. 2013
- Ramírez, A. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. Medellín: Ediciones de la U.
- Rojas-Sandino, L., Reinoso-Flores, G., y Vásquez-Ramos, J. (2018). Distribución espacial y temporal de dípteros acuáticos (Insecta: Diptera) en la cuenca del río Alvarado, Tolima, Colombia. *Biota, Colombia* 19 (1) – 2018
- Roldán, G. (2016). Los macro invertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista Académica Colombiana Ciencias Exactas Físicas Naturales*, 40(155):254-274. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>.

- Roldán-Pérez, G. (2016). Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Aca. Colomb. Ciencia. Ex. Fis. Nat.* 40 (155): 254-274.
- Roldán, P. (2003). Bioindicación del agua en Colombia propuesta para el uso del método BMWP/COL (9). Antioquia: Universidad de Antioquía, Colombia.
- Rubio, M. (2017). Estudio de determinación de índices bióticos en 88 puntos de los ríos de Navarra 2017”, Informe técnico elaborado por EKOLUR Asesoría ambiental S.L.L. para el gobierno de Navarra.
- Sánchez, D. (2015). Calidad del agua y su control. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real. Universidad de Castilla la Mancha.
- Sánchez, J. (2012). El Índice Biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*,3(2):54-67. <http://www.redalyc.org/articulo.oa>.
- Springer, M. (2010). Biomonitorio acuático. *Rev. Biolo. Trop.* Vol. 58: 53-59. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a03v58s4.pdf>
- Vásquez, V., y Medina T. (2015). Evaluación de la calidad de agua según los macro invertebrados bentónicos y algunos parámetros físico –químicos en la microcuenca del río Tablachaca, Pampas, Pallasca. Ancash. Perú 2014. *Rebiol* Vol. 35 (2): 75-89.
- Yépez, Á., Yépez, B., Urdánigo, J., Morales, D., Guerrero, N., y TayHing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador.

COVID19 – Breve revisión del SARS-CoV-2

COVID19 - Brief review of SARS-CoV-2

Anthony Leon ¹

¹ SARS International Centre for Marine Molecular Biology

Thormøhlens Gate 55, 5008. Bergen. Noruega

***Autor para correspondencia:** Anthony.Leon@uib.no

Recibido: 1 de junio, 2020. Aceptado: 29 de junio, 2020

RESUMEN

En diciembre del 2019, una enfermedad respiratoria denominada COVID19 apareció en la ciudad de Wuhan, China, y se expandió a nivel global. Dicha enfermedad es causada por el coronavirus SARS-CoV-2, y constituye la mayor amenaza a la salud pública dentro de las últimas décadas. Actualmente, es vital estudiar dicha enfermedad a nivel multidisciplinario para encontrar tratamientos efectivos, así como para comprender su desarrollo e impacto dentro de la historia humana. Este artículo de revisión se centra en recapitular la información que se conoce hasta la fecha sobre este virus, su origen, características y las estrategias que diversos gobiernos han adoptado en los últimos meses.

Palabras claves: COVID19, coronavirus, SARS-CoV, SARS-CoV2.

ABSTRACT

In December 2019, a respiratory disease named COVID19 emerged in the city of Wuhan, China, and it spread around the globe. This disease is caused by the SARS-CoV-2 coronavirus and it constitutes the major threat to public health in the last decades. Currently, it is vital to study this disease at a multidisciplinary level in order to find effective treatments, and to understand its development and impact in human history. This review focus on collecting the so-far-known information about this virus, its origin, characteristics and the strategies adopted by several governments in the last months.

Keywords: COVID19, coronavirus, SARS-CoV, SARS-CoV2.

Mensaje clave

La información brindada en este artículo de revisión está fundamentada en una investigación bibliográfica rápida a partir de artículos citados en Pubmed, así como datos accesibles en NCBI y prensa internacional. Debido al avance rápido de los estudios sobre SARS-CoV-2, gran parte de la información mundial es actualizada diariamente, por lo cual este artículo puede contener información susceptible al cambio en las siguientes semanas.

1. INTRODUCCIÓN

En diciembre del 2019 se reportó un inusual caso de enfermedad respiratoria en Wuhan, China. Rápidamente, dicha enfermedad se expandió por el mundo, creando alarma y preocupación a nivel global. El patógeno causante de dicha enfermedad fue identificado como un nuevo virus de tipo ARN perteneciente al género Betacoronavirus, el cual se encuentra dentro de la familia Coronaviridae (Guan et al., 2020). Debido a la similitud filogenética de dicho virus con el previamente identificado SARS-CoV (Coronavirus causante de síndrome respiratorio agudo severo), pasó a llamarse SARS-CoV-2. Luego, la enfermedad fue denominada como COVID19 por la Organización Mundial de la Salud (Guan et al., 2020; Castagnoli et al., 2020; WHO, 2020). Actualmente, más de 6,7 millones de personas han sido afectadas por esta enfermedad, causando la muerte de casi 400000 personas en todo el mundo (WHO, 2020) (Figura 1).

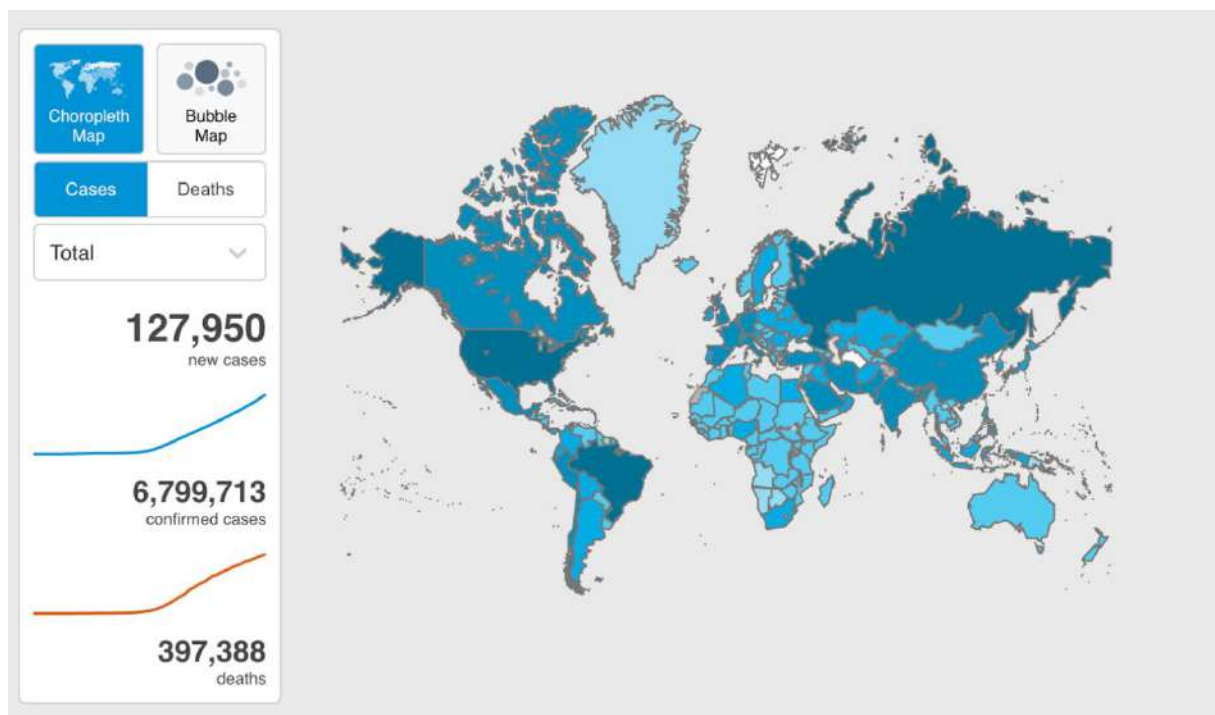


Figura 1: Número total de casos de COVID19. Casos confirmados y muertes hasta el día 07/06/2020. 127950 nuevos casos diarios. Intensidad de color azul indica la concentración de casos en cada país.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (www.who.int)

Se ha discutido ampliamente el posible origen de este virus. Sin embargo, no existen estudios definitivos que puedan responder a dicha pregunta. Debido a que esta enfermedad apareció en Wuhan, se relacionó directamente con la comercialización y consumo de animales salvajes en los mercados locales (Guan et al., 2020). A partir de esto, durante los últimos meses se han recopilado diferentes estudios que pretenden dilucidar el origen del SARS-CoV-2, así como su impacto a nivel

epidemiológico y posibles tratamientos. En este artículo se discuten las distintas teorías concernientes al origen de dicho virus, las características del virus, los síntomas de la enfermedad y las estrategias médicas y sociales adoptadas en las últimas semanas.

Origen del SARS-CoV-2: ¿Fue un murciélago o un pangolín?

El origen del SARS-CoV-2 es un misterio, sin embargo, diversos estudios genómicos realizados en el este virus determinaron que su secuencia es 96% idéntica a un tipo de coronavirus encontrado en murciélagos. Este virus, denominado RaTG13, fue previamente aislado y reportado en la provincia de Yunnan, China (Forster et al., 2020; Zhang et al., 2020). A pesar de la similitud en su secuencia genómica, RaTG13 posee diferencias importantes con respecto al virus en humanos. Las proteínas “espigas” presente en todos los coronavirus poseen una cavidad llamada dominio de unión al receptor, el cual es vital para que el virus reconozca ciertas moléculas (receptores) en la superficie de las células e ingrese en ellas (receptores ACE2, en el caso de los humanos). Dicho dominio es diferente entre ambos coronavirus, lo que significa que RaTG13 no es capaz de infectar humanos (Cyranoski, 2020). Ya que diversas publicaciones en los últimos años han demostrado una gran incidencia de estos coronavirus en murciélagos, se considera que estos animales constituyen un reservorio natural de esta familia de virus (Cyranoski, 2020).

Otros estudios han permitido identificar coronavirus similares en otros animales, como es el caso del pangolín. De hecho, el virus Pangolin-CoV es 91% idéntico a SARS-CoV-2, y es el segundo más cercano filogenéticamente a este virus, después del RaTG13 (Zhang et al., 2020) (Figura 2). Sin embargo, este virus si posee un dominio de unión al receptor, casi idéntico con el de humanos (Cyranoski, 2020). Estudios previos identificaron diversas poblaciones de pangolines infectados con este virus. De hecho, Liu et al. (2019), reportaron en diciembre 21 pangolines que fueron recuperados en malas condiciones dentro de una reserva natural, de los cuales 16 murieron. Todos los animales que murieron presentaban fibrosis pulmonar, y algunos también presentaban hepatomegalia y esplenomegalia (Liu et al., 2019). Estos síntomas son comunes en personas que desarrollan COVID19 y sugieren similitud en las patologías causadas por ambos virus.

Lo único seguro es que el SARS-CoV-2, o un ancestro muy similar, estuvo escondido en alguno de estos animales durante décadas. De hecho, se cree que la línea que dio origen al actual coronavirus pudo divergir del Pangolin-CoV hace unos 140 años. Luego, hace 40-70 años, dicho ancestro se separó del coronavirus en murciélagos (el cual perdió su dominio de unión a receptores humanos). Esta hipótesis sugiere una larga historia evolutiva dentro de los murciélagos y pangolines, y que el virus aún se encuentra presente dentro de estos “reservorios naturales” (Cyranoski, 2020).

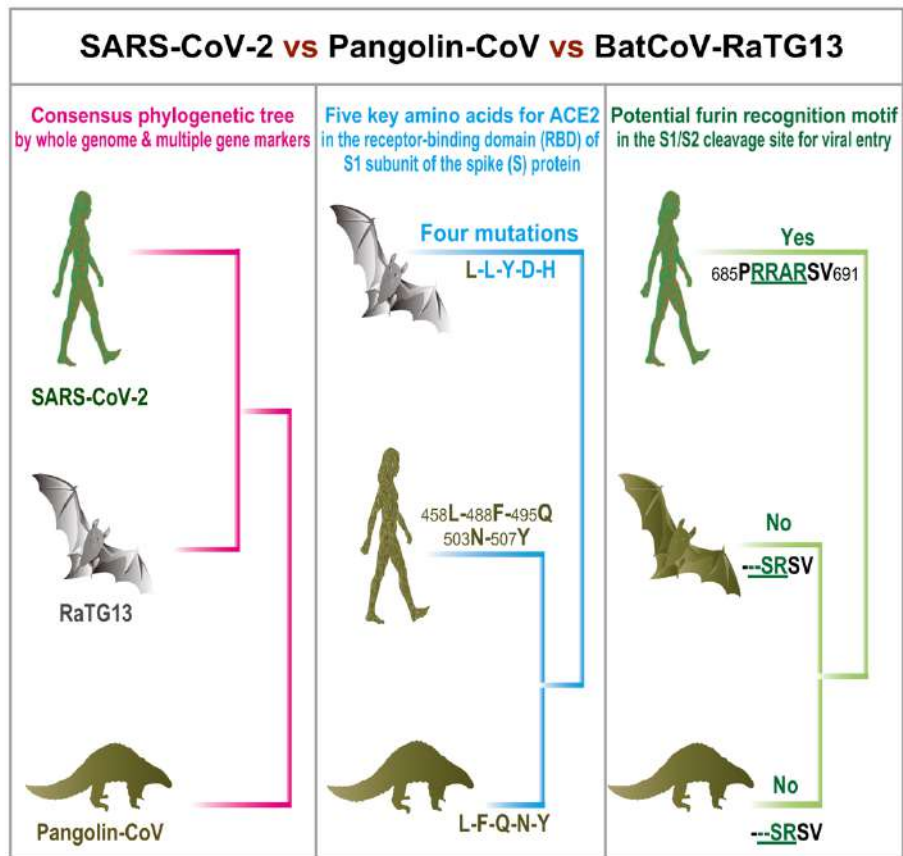


Figura 2: Representaciones filogenéticas de SARS-CoV-2, RaTG13 y Pangolin-CoV. La reconstrucción filogenética consenso (rosa) está basada en la secuencia entera del virus. La segunda filogenia (azul) está basada en la secuencia proteica del dominio de unión al receptor ACE2. La última filogenia (verde) está basada en la secuencia motivo de reconocimiento a la furina. Extraído de Zhang et al., 2020.

Características del SARS-CoV-2

Luego de la aparición del SARS-CoV en el 2003, el brote actual del SARS-CoV-2 ha permitido estudiar como el virus ha evolucionado y ha desarrollado diversas adaptaciones que le han conferido mayor letalidad. A diferencia de otros virus cercanos, el SARS-CoV-2 ataca fácilmente las células humanas a diferentes niveles: primero en los pulmones y garganta, y una vez dentro, el virus hace uso de un arsenal de moléculas que atacaran diversos órganos (Cyranoski, 2020).

SARS-CoV-2 tiene aproximadamente 125nm de diámetro, y es grande en comparación a otros virus de tipo ARN. De hecho, su genoma consta de 30000 bases y codifica 29 proteínas (Figura 3), lo que le convierte en el virus ARN con el genoma más largo (3 veces más grande que el virus del VIH y de la Hepatitis C; y 2 veces más grande que el virus de la influenza) (Kim et al., 2020; Cyranoski, 2020). Los coronavirus también se encuentran entre los pocos virus ARN que cuentan con un mecanismo de corrección genómica, el cual les impide acumular mutaciones no ventajosas. Por tal motivo, algunas drogas como la ribavirina (la cual induce mutaciones) es ineficaz contra este virus. De hecho, las mutaciones pueden tanto beneficiar como favorecer a los virus. En el caso de la influenza, esta

muta 3 veces más rápido que los coronavirus, y esto le permite evolucionar más rápido (Cyranoski, 2020).

Sin embargo, los coronavirus son capaces de recombinarse frecuentemente al intercambiar parte de su ARN con otros coronavirus. Es decir que, cuando dos coronavirus distantes se logran encontrar dentro de la misma célula, pueden recombinarse y crear nuevas versiones capaces de infectar nuevos tipos celulares, e incluso saltar a otras especies. Esto es lo que sucede a menudo en los murciélagos, los cuales acarrean 61 virus capaces de infectar a los humanos. De hecho, se sabe que los tres coronavirus que han ocasionado enfermedades respiratorias a nivel mundial (SARS-CoV, SARS-CoV-2 y MERS-CoV) provienen de murciélagos (Cyranoski, 2020).

Para infectar las células, el coronavirus usa una proteína en forma de punta que sobresalen de su superficie y se acopla a la membrana celular. Los análisis genómicos de este nuevo coronavirus han revelado que dichas proteínas, conocidas como “espigas”, poseen un sitio de activación que es reconocido por una enzima llamada furina. Esto es significativo porque la furina se encuentra en muchos tejidos humanos, incluyendo los pulmones, hígado e intestino delgado; lo que significa que el virus tiene el potencial para atacar múltiples órganos (Mallapaty, 2020).

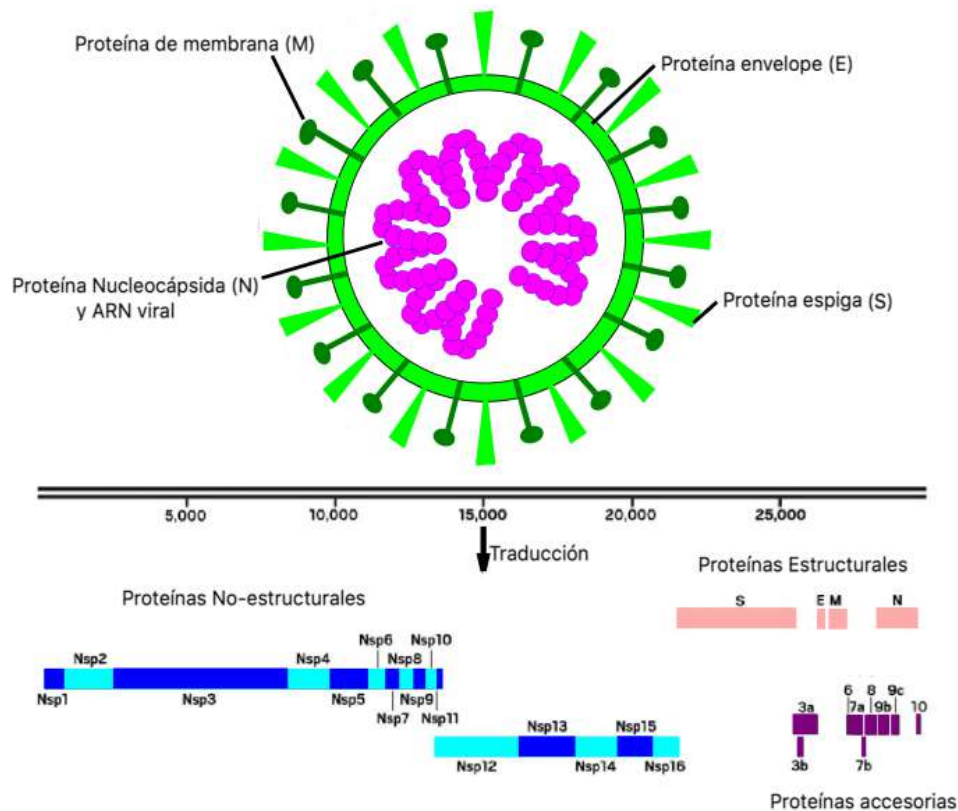


Figura 3: Arquitectura del SARS-CoV-2

SARS-CoV-2 posee 4 proteínas estructurales (S, E, M y N), 16 proteínas no estructurales (Nsp1-16) y 9 proteínas accesorias (3a, 3b, 6, 7a, 7b, 8, 9b, 9c y 10)

Síntomas del COVID19

Los síntomas principales que se presentan en esta enfermedad son complicaciones en las vías respiratorias y desarrollo de fibrosis pulmonar en pacientes de riesgo (Ledford, 2020). Los pacientes pueden experimentar al inicio síntomas en la nariz o en la garganta, produciendo tos y una disrupción entre sabor y olfato, y la sintomatología puede terminar ahí; o puede bajar hasta los pulmones y dañarlos. La forma como llega ahí, sea moviéndose de célula a célula, o por medio de fluidos, es desconocida. Sin embargo, si llega al pulmón, se produce una neumonía (Cyranoski, 2020).

La habilidad del SARS-CoV-2 para infectar y reproducirse rápidamente en la parte alta del sistema respiratorio fue sorprendente para los investigadores, ya que el SARS-CoV no tiene dicha capacidad. De hecho, en el caso del COVID19, las partículas virales son capaces de pasar de la garganta a la saliva (contagando a otras personas) incluso antes de que los síntomas empiecen. Además, se sabe que el SARS-CoV-2 posee un dominio de unión al receptor ACE2 que es 10-20 veces más eficaz que el presente en el SARS-CoV. Estas características hacen que el nuevo SARS-CoV-2 sea mucho más efectivo infectando personas que el SARS-CoV (Cyranoski, 2020). Sin embargo, a pesar del gran número de fatalidades asociadas al COVID19, el riesgo de muerte parece ser menor que al del SARS-CoV o del MERS-CoV (Guan et al., 2020; Lu et al., 2020), los cuales también se transmiten por medio del aire y afectan las vías respiratorias.

A nivel pulmonar, todos estos coronavirus infectan y destruyen la barrera celular que separa a los alveolos pulmonares de los capilares, haciendo que el líquido dentro de los alveolos fugue y bloquee el paso de oxígeno hacia la sangre. En adición a esto, otras células, como los macrófagos, también bloquean las vías respiratorias al mismo tiempo (Cyranoski, 2020). Un buen sistema inmune puede limpiar esto, pero un sistema sobre activado puede crear daño tisular si la inflamación es muy severa. Si este es el caso, los pulmones nunca se recuperan y la persona muere (Cyranoski, 2020).

A pesar de toda la información recopilada, no se sabe exactamente si la letalidad proviene del virus en sí mismo, o de la respuesta del sistema inmune, el cual sobrecarga los órganos del paciente y esto dificulta que los médicos determinen la mejor forma para tratar a las personas infectadas. De hecho, diversos datos clínicos sugieren que el sistema inmune juega gran parte en el declive y muerte de las personas diagnosticadas con COVID19. Es decir, luego que el virus afecta a los pulmones, se producen niveles elevados de citoquinas en la sangre que aumentan la respuesta inmune. Dicha respuesta depende de una pequeña pero potente proteína de señalización llamada interleucina-6 (IL-6). Esta proteína atrae algunos componentes del sistema inmune, como los macrófagos, los cuales aumentan la inflamación y son capaces de dañar las células normales del pulmón (Ledford,2020). Por tales razones, ciertos tratamientos contra esta enfermedad están dirigidos a suprimir la respuesta inmune (como el uso de esteroides), sin embargo, esto puede disminuir la capacidad del cuerpo para monitorear la infección. La estrategia ideal sería entonces usar una droga que bloquee la actividad de la IL-6 y reduzca el flujo de macrófagos hacia los pulmones. Dichas drogas (inhibidores de IL-6) ya existen, y son usadas frecuentemente en el tratamiento de artritis reumatoide y otros desordenes (Ledford,2020).

Todas estas características convierten al COVID19 en una enfermedad altamente contagiosa, sino también de difícil tratamiento al afectar ampliamente al sistema inmune, ya que los pacientes no solo presentan daños directos en las vías respiratorias, sino que otros daños (como los causados por el exceso de citoquinas) generan fallas en diversos tejidos y órganos como el intestino, corazón, sangre, esperma, ojos y posiblemente el cerebro (Cyranoski, 2020).

Estrategias adoptadas contra el COVID19

Clásicamente, se cree que las enfermedades virales que afectan a las vías respiratorias requieren tener agentes infecciosos muy pequeños (<5um) ya que las partículas más grandes sedimentan y no permanecen en el aire. Sin embargo, muchas de estas enfermedades respiratorias también se pueden transmitir por contacto cutáneo, o ventilación en ciertas circunstancias (por ventilación artificial o entubamiento en hospitales). Con respecto al brote del SARS-CoV-2, se discutió por mucho tiempo si el virus podía transmitirse por medio del aire y que medidas de precaución se deben tomar en cuenta para evitar su propagación (Seto, 2015).

La primera medida sugerida por la OMS, y adoptada por diversos países fue el distanciamiento social, el cual consta de evitar las aglomeraciones de personas y en mantener 2 metros de distancia entre ellas. Esta sugerencia se basa en la premisa que el SARS-CoV-2, al ser un virus grande y pesado, no puede mantenerse en el aire y sedimenta a menos de 2 metros luego de su expulsión por las vías respiratorias. La reacción rápida, cuarentena y medidas de distanciamiento social (como el cierre de escuelas y negocios) han ayudado a reducir la transmisión del virus en diversos países. Actualmente se estudia la efectividad de las medidas adoptadas por diferentes gobiernos para predecir las tasas de trasmisión e infección en sus regiones. Esta información será vital para que dichos gobiernos puedan diseñar estrategias que permitan regresar a la población a las actividades normales y evitar olas secundarias de infección (Gibney, 2020). La plataforma puesta en servicio por la OMS recolecta la información de diversos países y centros de investigación con la final de estandarizar esta información y permitir su comprensión a nivel global (Gibney, 2020; WHO, 2020)

En el caso del continente americano, las malas decisiones tomadas por algunos gobernantes han disparado el número de casos durante los últimos dos meses (Figura 4). Países como Estados Unidos y Brasil presentan actualmente el mayor número de contagios en sus respectivas regiones, y este número aumenta día a día. A diferencia de América, en Europa se ha alcanzado una curva mas plana, en la cual el número de contagios es estable y ha empezado a disminuir. Dicho contexto ha permitido que diversos países retomen las actividades laborales, resguardando aún su salud publica.

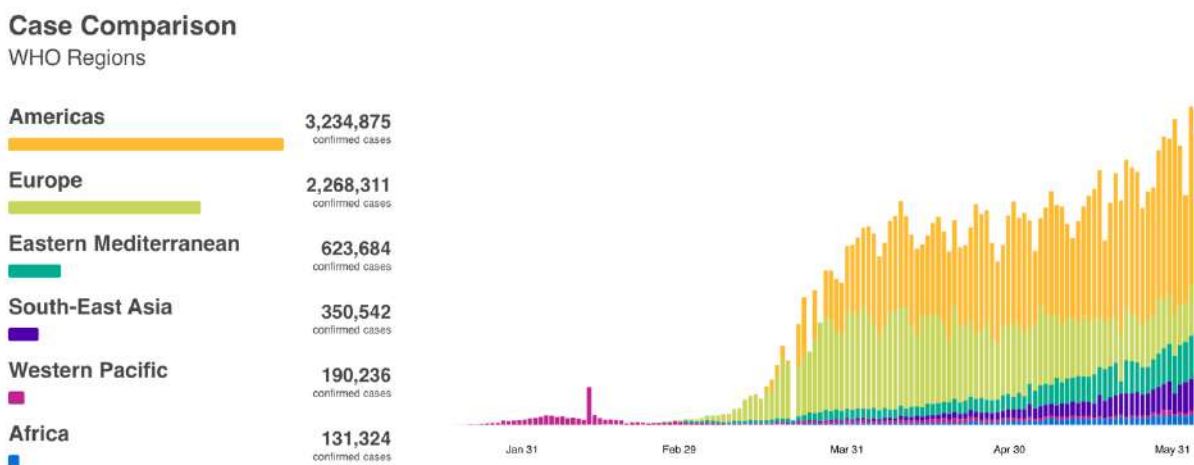


Figura 4: Comparación en el número de casos a nivel mundial.

Fuente: Organización mundial de la salud (www.who.int)

La situación no es muy diferente en el Perú, ya que el número de casos ha aumentado de manera uniforme en las últimas semanas (Figura 5). Actualmente se han registrado más de 187000 casos (5000 de los cuales han terminado en deceso), ocupado el 8vo lugar a nivel mundial de contagios totales, después de Italia (WHO, 2020; Worldometers). El hecho que la cantidad de contagios en nuestro país haya aumentado drásticamente sugiere una mala administración y mal manejo de la pandemia a nivel nacional. A pesar de que el Perú fue uno de los primeros países de América del Sur en adoptar medidas preventivas estrictas, la respuesta de la población no ha cumplido la expectativa que corresponde frente a una pandemia mundial. Esto se evidencia al comparar la cantidad de casos con países vecinos como Chile y Argentina, en los cuales las medidas de prevención fueron tomadas al mismo tiempo que en el Perú.



Figura 5: Curva de contagios y muertes por COVID19 en el Perú.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (www.who.int)

Mientras que las personas infectadas inundan los hospitales y el sistema de salud colapsa, los médicos alrededor del mundo tratan de manejar y comprender grandes cantidades de datos incompletos con respecto al COVID19, con la finalidad de encontrar la forma de ayudar a sus pacientes (Ledford, 2020). Diariamente se realizan pruebas clínicas de vacunas experimentales contra el virus, pero a pesar que los esfuerzos para crear una vacuna viable, no se cree que esta pueda estar lista hasta dentro de unos 12 meses aproximadamente (Ledford, 2020). De hecho, más de 90 vacunas se están desarrollando por diversos equipos de investigación y universidades alrededor del mundo. Los investigadores ponen a prueba diferentes tecnologías en la producción de vacunas experimentales y han comenzado inyectándolas en voluntarios; mientras que otros han empezado probándolas en animales (Callaway, 2020). Por lo menos 7 equipos están desarrollando vacunas usando el mismo virus en una forma inactivada o más débil (como aquellas contra el sarampión y el polio), pero estas requieren extensivas pruebas de seguridad antes de ser comercializadas. Por ahora, Sinovac Biotech en Beijing ya ha empezado a probar una versión inactiva del SARS-CoV-2 en humanos (Callaway, 2020).

Sin expectativas de que el coronavirus se aleje, los investigadores buscan modelos animales que permitan entender mejor al virus. Modelos como ratones; monos y hurones son usados para responder preguntas claves sobre la enfermedad, así como el uso de drogas potenciales y vacunas. Diversos laboratorios en China ya han presentado resultados provenientes de estudios en donde se

infectaron monos y ratones previamente diseñados para ser susceptibles al SARS-CoV-2. De la misma forma, equipos de investigación en Geelong, Australia, también estudian dicha infección en hurones, los cuales son modelos muy populares en el estudio de infecciones respiratorias, ya que la fisiología de sus pulmones es similar a la de los humanos (Cohen, 2020)

Sin embargo, ningún animal es perfecto, y se necesitan varios modelos para estudiar este virus. Por ejemplo, experimentos en primates infectados con COVID19 han demostrado que los macacos *Rhesus* desarrollan esta enfermedad levemente. Ninguno de estos primates desarrollo fiebre, sin embargo, los rayos X en sus pulmones mostraron signos de neumonía similar a los humanos. El hecho de que los monos desarrollen síntomas leves, similares a aquellos en humanos, es un paso importante. No obstante, es necesario encontrar y/o desarrollar modelos que desarrollen infecciones severas (Cohen, 2020).

En este contexto, no solo los hospitales, sino también los laboratorios alrededor del mundo están colapsando. Los investigadores han debido detener las investigaciones y pruebas clínicas de otras enfermedades, con la finalidad de abordar esta pandemia. Algunos médicos, incluso, prueban diferentes tratamientos “no aprobados”, en un último esfuerzo para salvar vidas. Por ejemplo, algunos hospitales en New York intentan usar el plasma proveniente de personas que se han recuperado del COVID19, para tratar personas enfermas. Una ventaja clave de esta técnica es que el plasma se encuentra disponible inmediatamente, mientras que las drogas y vacunas toman meses o años en ser desarrolladas. Los investigadores esperan que esta antigua técnica de infundir pacientes con los anticuerpos provenientes de otras personas sea efectiva. Estos esfuerzos son también similares a los realizados en China, donde se infundió plasma en pacientes. Sin embargo, aún no se han obtenido resultados concretos hasta la fecha (Maxmen, 2020; Cohen, 2020).

2. CONCLUSIONES

La comunidad científica y médica se ha esforzado en entender la naturaleza del SARS-CoV-2 durante los últimos meses, y ha luchado en contener el paso de esta enfermedad en casi todas las naciones del mundo. A pesar de los esfuerzos, aún no es posible controlar el avance de esta pandemia, y tampoco se ha logrado obtener un tratamiento efectivo contra ella. El origen de este nuevo coronavirus también es un misterio, sin embargo, existen pruebas que sugieren un origen zoonótico, que involucra tanto a murciélagos como a pangolines, en China. Las costumbres alimenticias en esta región probablemente facilitaron el salto de este virus al ser humano. Esto, sumado a la poca organización política y social a nivel mundial, ha influenciado la diseminación del virus en todos los países. Dentro del contexto histórico, esta pandemia marca un antes y un después en la salud pública mundial, que esperamos pueda ser tomada con responsabilidad y como ejemplo frente a futuras crisis sanitarias.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castagnoli, Riccardo, Martina Votto, Amelia Licari, Ilaria Brambilla, Raffaele Bruno, Stefano Perlini, Francesca Rovida, Fausto Baldanti, and Gian Luigi Marseglia. “Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Infection in Children and Adolescents: A Systematic Review.” *JAMA Pediatrics*, April 22, 2020. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2020.1467>.
- Callaway, E. (2020). The race for coronavirus vaccines: a graphical guide. *Nature*, 580(7805), 576-577. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01221-y>
- Cohen, Jon. “Mice, Hamsters, Ferrets, Monkeys. Which Lab Animals Can Help Defeat the New Coronavirus?” *Science | AAAS*, April 13, 2020 <https://doi:10.1126/science.abc2335>
- Cyranoski, David. “Profile of a Killer: The Complex Biology Powering the Coronavirus Pandemic.” *Nature* 581, no. 7806 (May 4, 2020): 22–26. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01315-7>.

- Cyranoski, David. "Mystery Deepens over Animal Source of Coronavirus." *Nature* 579, no. 7797 (February 26, 2020): 18–19. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00548-w>.
- Forster, Peter, Lucy Forster, Colin Renfrew, and Michael Forster. "Phylogenetic Network Analysis of SARS-CoV-2 Genomes." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, no. 17 (April 28, 2020): 9241–43. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004999117>.
- Gibney, Elizabeth. "Whose Coronavirus Strategy Worked Best? Scientists Hunt Most Effective Policies." *Nature* 581, no. 7806 (April 27, 2020): 15–16. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01248-1>.
- Guan, Wei-jie, Zheng-yi Ni, Yu Hu, Wen-hua Liang, Chun-quan Ou, Jian-xing He, Lei Liu, et al. "Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China." *New England Journal of Medicine*, February 28, 2020. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2002032>.
- Kim, Dongwan, Joo-Yeon Lee, Jeong-Sun Yang, Jun Won Kim, V. Narry Kim, and Hyeshik Chang. "The Architecture of SARS-CoV-2 Transcriptome." *BioRxiv*, March 15, 2020, 2020.03.12.988865. <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.988865>.
- Ledford, Heidi. "How Does COVID-19 Kill? Uncertainty Is Hampering Doctors' Ability to Choose Treatments." *Nature* 580, no. 7803 (April 9, 2020): 311–12. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01056-7>.
- Ledford, Heidi. "Coronavirus Shuts down Trials of Drugs for Multiple Other Diseases." *Nature* 580, no. 7801 (2020): 15–16. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00889-6>.
- Liu, Ping, Wu Chen, and Jin-Ping Chen. "Viral Metagenomics Revealed Sendai Virus and Coronavirus Infection of Malayan Pangolins (*Manis Javanica*)." *Viruses* 11, no. 11 (November 2019): 979. <https://doi.org/10.3390/v111110979>.
- Lu, Roujian, Xiang Zhao, Juan Li, Peihua Niu, Bo Yang, Honglong Wu, Wenling Wang, et al. "Genomic Characterisation and Epidemiology of 2019 Novel Coronavirus: Implications for Virus Origins and Receptor Binding." *Lancet (London, England)* 395, no. 10224 (2020): 565–74. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8).
- Mallapaty, Smriti. "Why Does the Coronavirus Spread so Easily between People?" *Nature* 579, no. 7798 (2020): 183. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00660-x>.
- Maxmen, Amy. "How Blood from Coronavirus Survivors Might Save Lives." *Nature* 580, no. 7801 (March 24, 2020): 16–17. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00895-8>.
- Seto WH. Airborne transmission and precautions: facts and myths. *J Hosp Infect.* 2015; 89(4):225-8. doi: 10.1016/j.jhin.2014.11.005. PMID: 25578684
- Zhang, Tao, Qunfu Wu, and Zhigang Zhang. "Probable Pangolin Origin of SARS-CoV-2 Associated with the COVID-19 Outbreak." *Current Biology: CB* 30, no. 7 (06 2020): 1346-1351.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.022>.
- World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19) outbreak. <http://www.who.int>
 Worldometers: COVID-19 pandemic. <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>

PLANTAS UTILIZADAS EN MEDICINA TRADICIONAL PARA AFECCIONES RESPIRATORIAS VIRALES

PLANTS USED IN TRADITIONAL MEDICINE FOR VIRAL RESPIRATORY CONDITIONS

María Pilar Ruíz Santillán¹, Freddy Rogger Mejía Coico²

¹ Instituto de Investigación Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

² Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Nacional de Trujillo

Autor para correspondencia: m.ruiz@uct.edu.pe

Recibido: 18 de mayo, 2020. Aceptado: 31 de junio, 2020

RESUMEN

En nuestro país las infecciones respiratorias agudas constituyen una de las principales causas de morbilidad tanto en el adulto mayor como en niños de cinco años; en ese contexto, la farmacoterapia tradicional se presenta como una alternativa para la prevención y tratamiento de enfermedades de tipo viral. El objetivo de esta revisión es presentar los resultados encontrados en literatura especializada de plantas medicinales de uso terapéutico para la prevención y tratamiento de afecciones respiratorias virales. La búsqueda bibliográfica se realizó de febrero a mayo de 2020 recurriendo a información primaria y secundaria de bases de datos en internet. Se obtuvo una lista de 122 plantas medicinales con nombre científico, nombre común, hábito, uso tradicional, parte de la planta utilizada; 96 de las cuales presentan información sobre metabolitos secundarios y 26 especies que se utilizan sin verificación de su contenido fitoquímico. En 59 especies se encontraron flavonoides, terpenos en 29, taninos en 30, fenoles en 32 y alcaloides en 26. De hecho, tenemos especies antivirales promisorias, que necesitan ser validadas comprobando sus beneficios a través de la investigación.

Palabras claves: "gripe", "resfrío", "tos seca" "dolor de garganta" "plantas medicinales", "metabolitos secundarios"

ABSTRACT

In our country, acute respiratory infections are the main cause of death in elder people and 5 years old children. In this context, the traditional pharmacotherapy is one of the alternatives for prevention and treatment of viral diseases. The subject of this review in show the results founded in specialized literature about species with therapeutic use that are able to treat viral respiratory conditions, their symptoms and their secondary metabolism content. Between February and May of 2020 trough bibliographic research in specialized literature, a list of medical plants with antiviral properties was made and at the same time phytochemical data has been researching draw on primary and secondary information in online databases. The result was a list of 122 medical plants with scientist name, common name, habit, traditional use and which part of the plant was used. Only 96 show secondary metabolism information and 26 species are used without phytochemical content verification. Other results are: 59 species have flavonoids, 29 have terpenes, 30 have tannins, 32 have phenols and 27 have alkaloids. In fact, we have promising antiviral species that need to be validated showing their benefits through scientific research.

Keywords: flu, cold, cough, sore throat, medicinal plants, secondary metabolites.

1. INTRODUCCIÓN

Los virus son considerados los parásitos más pequeños, miden en general entre 0,02 y 0,3 μm , poseen una cubierta externa de proteínas y a veces lípidos, núcleo de ADN o ARN y algunas enzimas necesarias para la replicación viral. Su reproducción depende completamente de las células que parasitan (bacterias, vegetales o animales), y para que se produzca una infección, el virus debe fijarse a la célula huésped utilizando una o varias moléculas receptoras de la superficie celular, de esta manera el DNA o RNA viral ingresa y se separa de la envoltura externa para poder replicarse dentro del hospedero (Kramer, 2018).

Las partículas víricas que infectan, sobre todo a seres humanos suelen diseminarse por vía respiratoria; los agentes etiológicos que se asocian a las afecciones del tracto respiratorio son: virus respiratorio sincitial (VRS A-B), el grupo de los rinovirus (RVs), los cuatro tipos de parainfluenza virus (PIV 1-4), los virus de la gripe A, B y C, grupo de los adenovirus, Metapneumovirus (Calvo et al., 2011). Además, entre los años 2004 al 2006 se descubrió una extensa familia de coronavirus causantes de enfermedades, cuyos agentes causales producen infecciones respiratorias en humanos que van desde el resfriado común hasta enfermedades graves como COVID-19, síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS) y el Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS) (OMS, 2020a).

En el Perú las infecciones respiratorias agudas constituyen una de las principales causas de morbilidad en el adulto mayor; en relación a los niños menores de cinco años, las atenciones médicas son en su mayoría por enfermedad diarreica aguda e infecciones respiratorias, asociadas a una mayor cantidad de episodios de neumonía y muerte en la niñez (OPS, 2014). Según el Boletín Epidemiológico del Perú, en el año 2019 se notificaron 596 607 episodios de infecciones respiratorias agudas y 5476 episodios de neumonía en menores de 5 años (Ordoñez, 2019). A esta situación epidemiológica se suma la pandemia provocada por SARS-CoV-2.

Debido a que los antivirales de uso común muestran eficacia limitada y/o efectos adversos, por esta razón en la actualidad la tendencia mundial es recurrir a las plantas medicinales, reveladas por la medicina tradicional. En consecuencia, la farmacoterapia natural puede ser una alternativa para el tratamiento de afecciones respiratorias virales (Ben-Shabat et al., 2020). Desde sus inicios la humanidad está a la búsqueda de la cura para sus enfermedades y dolencias, en ese sentido, las plantas han desempeñado y desempeñan un papel de vital importancia en esta actividad (Wust, 2003). La aparición de variantes resistentes a los medicamentos del virus de la influenza ha llevado a la necesidad de identificar agentes antivirales novedosos y efectivos; como alternativa a las drogas sintéticas, la consolidación del conocimiento empírico con evidencia etnofarmacológica de plantas medicinales ofrece una plataforma novedosa para desarrollar drogas antivirales (Rajasekaran et al., 2013).

En ese sentido, el objetivo de esta revisión es presentar los resultados encontrados en literatura especializada; sobre plantas medicinales de uso terapéutico; para combatir las afecciones respiratorias virales (gripe, resfrío), principales síntomas (fiebre, tos seca y dolor de garganta) e investigar el contenido de metabolitos secundarios, tales como: aceites esenciales, ácidos orgánicos, alcaloides, carotenos, chalconas, cumarinas, fenoles, flavonoides, iridoides, lignanos, mucilagos, pectinas; principios amargos como las quinonas, saponinas, taninos, terpenos, etc. (Waizel-Bucay y Waizel-Haiat, 2019), a pesar de que, nuestro país cuenta con cientos de especies para muy diversas dolencias estas han sido muy poco estudiadas y validadas; pues su uso se respalda en las creencias y la sabiduría popular, es decir, es necesario conocer su potencial para promover futuros trabajos de investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta revisión está enfocada en proporcionar información etnobotánica de plantas medicinales referidas al tratamiento y mejora de afecciones respiratorias virales: nombre común, parte de la planta utilizada, uso tradicional y modo de preparación, sustentada en literatura nacional especializada: Arellano (2010), Cano et al., (2006), García y Mostacero (2009), Kolff y Kolff (2005), Mejía y Rengifo (2000), Bussmann y Sharon (2015) y Santivañez y Cabrera (2013) relacionada con

el uso terapéutico cultural de información transmitida a través de las generaciones hasta el presente. Por otro lado, esta investigación reporta información de: nombre científico aceptado, hábito (forma de vida), e Información fitoquímica (metabolitos secundarios); por consiguiente, el primer paso para elaborar la lista preliminar fue verificar la validez y vigencia del nombre científico, escritura y autoridad de la especie, para lo cual se emplearon tres fuentes principales Bracko y Zaruchi (1993), The Plant List (2013), Tropicos. Org (2020a).

El reconocimiento e identificación de compuestos activos fue sustentado con documentación bibliográfica nacional e internacional disponible por cada especie; las mismas que fueron obtenidas tanto de información primaria (revistas científicas en línea y tesis) como secundaria (Google Scholar, Science Direct, Pub Med, Ebsco Host). Como estrategia de búsqueda; se eligieron las palabras clave: “gripe”, “resfrío”; “síntomas”; “plantas medicinales antivirales”; “metabolitos secundarios” y como criterios de inclusión; se incorporaron dos aspectos, que sean especies de conocimiento popular, introducidas o nativas y que se encuentren en el país.

PLANTAS MEDICINALES CON PROPIEDADES ANTIVIRALES

En la tabla N° 1 aparece una lista completa de las especies estudiadas, para cada una se indica su nombre científico, autoridad, nombre común, hábito, parte de la planta utilizada, modo de uso, preparación y metabolitos secundarios. Se han encontrado 122 especies de plantas, repartidas en 55 familias, siendo las de mayor representación: Asteraceae (25); Malvaceae (8); Lamiaceae (5); Fabaceae, Bignoniaceae, Rubiaceae, Solanaceae, Verbenaceae (4). Las plantas herbáceas fueron predominantes con 51,6%, seguida por las arbustivas (22,9 %) y arbóreas (22,1%), asimismo, la parte aérea hojas, flores y frutos; son las más utilizadas para la preparación de remedios, se emplean juntas y por separado depende del modo de preparación y de la afección a tratar.

La infusión representa el 29,5%, seguido del cocimiento (15,6%) y 9,8% corresponde al jugo que se obtiene del fruto, por trituración de hojas frescas, y la savia; en menor porcentaje en la literatura se reporta otros modos de preparación como decocción, macerado, soasado, emplasto, compresa, toque, jarabe, inhalación, gárgaras. Asimismo, las plantas medicinales que combaten síntomas: tos 24,5%, fiebre 12,3%, inflamación y dolor de garganta 8,2% y aquellas que curan o tratan enfermedades como resfrío 12,3%, neumonía 4.1% y gripe 2,5%. Es importante mencionar que la mayoría de especies, curan y/o se usan para el tratamiento de varios síntomas y/o enfermedades (Ver tabla 1)

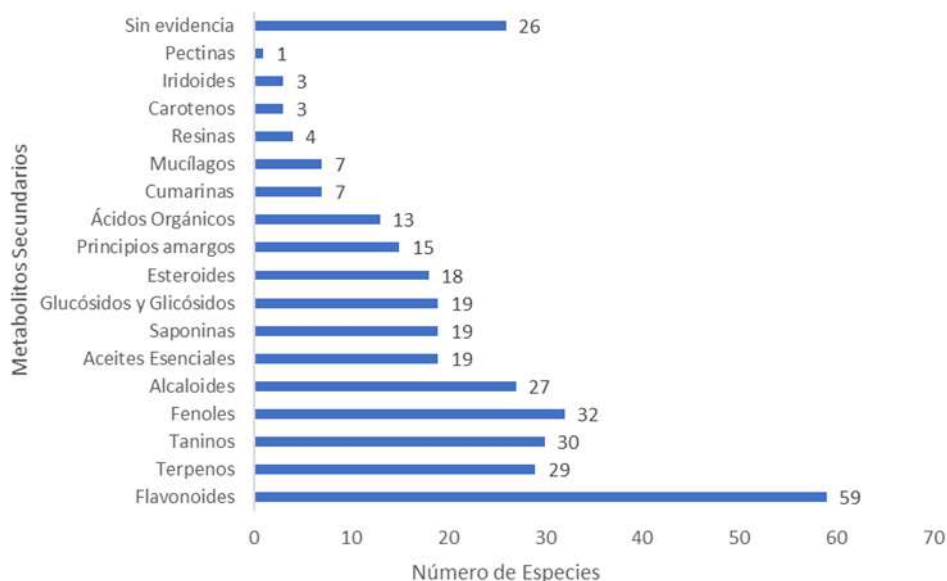


Figura 1. Contenido de Metabolitos secundarios en plantas medicinales con propiedades antivirales

García et al. (2010), manifiestan que, la gran diversidad de mecanismos bioquímicos que intervienen en el metabolismo secundario de las plantas superiores ha permitido la producción de una amplia variedad de principios activos que tienen una aplicación potencial como agentes terapéuticos de origen natural. Asimismo, Waizel-Bucay y Waizel-Haiat (2019), señalan que no todas las especies vegetales elaboran la totalidad de los metabolitos, algunos de ellos son típicos de determinadas familias, incluso puede variar de acuerdo con la especie, variedad y condición del hábitat. La Fig. 1. Muestra los metabolitos secundarios detectados durante la investigación, en el siguiente orden de importancia: flavonoides en 59 especies (48,3%), fenoles 26,2%, taninos 24.5%, alcaloides 22,1% y otros. Asimismo, en 26 especies, no se encontró información fitoquímica, sin embargo, son ampliamente utilizadas por los pobladores para la cura y/o tratamiento de las enfermedades respiratorias, dado que su uso mejora su salud es por ello que se recomienda continuar investigando la flora nativa.

ACCIONES ATRIBUIDAS A LAS PLANTAS MEDICINALES CON PROPIEDADES ANTIVIRALES

Para combatir síntomas de afecciones respiratorias virales

Fiebre: Aparece cuando hay un ajuste a la elevación transitoria de un punto prefijado (37°); que se produce como resultado de interacción de procesos infecciosos y no infecciosos (inflamatorios) con el mecanismo de defensa del huésped (Alpízar y Medina, 1998). En la revisión se detectaron especies que combaten la fiebre siendo las más importantes: *Mutisia mathewsii* “chinchircuma”, *Crescentia cujete* “huingo”, *Bixa orellana* “achiote”, *Puya ferrugínea* “achupalla”, *Manihot esculenta* “yuca”, *Caesalpinia pulcherrima* “ángel sisa”, *Cuphea strigulosa* “lancetilla”, *Portulaca oleraceae* “verdolaga”, *Adiantum digitatum* “culantrillo del pozo”, *Thalictrum decipiens* “chontilla chica”, *Ruta graveolens* “ruda”, *Dodonaea viscosa* “chamana”, *Cestrum auriculatum* “yerba santa”, *Cecropia engleriana* “cético”, *Verbena litoralis* “verbena”, *Cinchona officinalis* “quina”.

Tos: Es un acto de reflejo voluntario, brusco que constituye el principal mecanismo de defensa del aparato respiratorio. La tos seca es la que se produce sin expectoración; a menudo causa dolor en la garganta o en el pecho (Font, 2003). En la revisión se detectaron ocho especies que se encuentran en distintas regiones de nuestro país, para combatir tos seca: *Ocimum basilicum* “albahaca”, *Trema micrantha* “atadijo”, *Theobroma cacao* “cacao”, *Zingiber officinale* “kión”, *Plantago major* “llantén”, *Eryngium foetidum* “sachaculantro”, *Opuntia ficus-indica* “tuna”, *Cymbopogon citratus* “hierba luisa”, además se reportan 30 especies para tos en general, que la bibliografía no menciona si se trata de tos con flema o seca (Ver tabla 1).

Dolor de garganta: La inflamación de la faringe afecta a la mucosa y/o tejido linfóide (amígdalas), esta irritación produce dolor de garganta y si la patología es de origen viral, los agentes causales suelen ser: rinovirus, coronavirus, influenza, parainfluenza o adenovirus (Gamboa et al., 2011). Las siguientes especies se reportan para su tratamiento *Equisetum bogotense* “cola de caballo”, *Plantago major* “llantén”, *Cantua buxifolia* “cantuta”, *Gardenia jasminoides* “jasmín” *Laccopetalum giganteum* “pacra pacra”, *Equisetum giganteum* “cola de caballo”, *Citrus limon* “limón”, *Plantago lanceolata* “llantén”, *Schinus molle* “molle” *Brassica rapa* “nabo”, *Caesalpinia spinosa* “tara”.

Para tratar y/o curar afecciones respiratorias provocadas por virus

Gripe o Influenza: es la infección vírica que afecta principalmente nariz, garganta, bronquios y ocasionalmente pulmones. Se caracteriza por la aparición súbita de fiebre, dolores musculares, cefalea, malestar general, tos seca y dolor de garganta (OMS, 2020b). Se han identificado en la revisión especies que tratan o curan esta enfermedad siendo las más importantes *Mikania guaco* “palo de huaco”, *Pluchea chingoyo* “toñuz”, *Salpichroa hirsuta* “ñuñu-ñuñu”, *Senecio tephrosioides* “huamanripa”, *Handroanthus serratifolia* “tahuari”, *Costus erythrocoryne* “caña agria”. Las consecuencias de la infección viral son muy variables, por ejemplo, cuando se refieren a la influenza,

muchas personas la mencionan como una enfermedad leve o simplemente otro caso de gripe, pero la realidad es otra, el causante es un patógeno viral muy potente (Harrod, 2013).

Resfrío o Catarro común: es una infección viral leve, causada por diversas familias de virus; el 50% de casos causados por rinovirus y el otro 50% provocados por corona virus, virus de la influenza A y B, virus de la parainfluenza, virus respiratorio sincitial, adenovirus (Esteva, 2011). Las siguientes especies se reportan para el tratamiento del resfrío *Alternanthera porrigens* "lancetilla", *Mangifera* indica "mango", *Ambrosia peruviana* "altamisa", *Clibadium sylvestre* "flor de novia", *Tagetes elliptica* "culantrillo serrano", *Borago officinalis* "borraja", *Calceolaria linearis* "globitos", *Gaultheria reticulata* "toromaique", *Lavandula angustifolia* "alucema", *Malva assurgentiflora* "malva", *Heisteria acuminata* "chuchuhuasi", *Fuchsia ayavacensis* "conchalay", *Physalis peruviana* "capulí", *Persea americana* "palta", *Campyloneurum angustifolium* "calaguala".

Neumonía: tipo de infección respiratoria aguda que afecta los pulmones. Se transmite por contacto directo con personas infectadas (OMS, 2020). Las plantas medicinales que se utilizan son: *Oritrophium peruvianum* "huamanripa", *Picrosia longiflora* "lengua de vaca", *Senecio tephrosioides* "genciana", *Linum prostratum* "canchalagua peruana", *Escobedia grandiflora* "azafrán".

Afecciones respiratorias y pulmonares, en la literatura revisada se reporta las siguientes especies *Senecio comosus* "huamanripa", *Aloysia citridora* "cedrón", *Lantana rugulosa* "ayarosa", *Lippia alba* "pampa orégano" y *Diplostephium gynoxyoides* "parrano", *Rorippa nasturtium-aquaticum* "berro", *Peperomia hartwegiana* "congona", a quienes se atribuía el tratamiento y/o cura de afecciones respiratorias y pulmonares de manera general.

METABOLITOS SECUNDARIOS DE PLANTAS MEDICINALES CON PROPIEDADES ANTIVIRALES

Como resultado de una compleja serie de reacciones que se realizan en la fotosíntesis, las plantas elaboran cientos de sustancias orgánicas, conocidas como metabolitos, que se clasifican en dos tipos: primarios y secundarios (Waizel-Bucay y Wize-Haiat, 2019). Los primarios como la glucosa y otros azúcares, ácidos grasos, lípidos, ceras, aminoácidos, proteínas, vitaminas y reguladores de crecimiento entre otras, son sustancias indispensables para la vida. Mientras que metabolitos secundarios como los aceites esenciales, ácidos orgánicos, alcaloides, cumarinas, esteroides, flavonoides, glucósidos, etc. además de no presentar una función definida en los procesos antes mencionados, se sintetizan en pequeñas cantidades y no de forma generalizada, estando su producción restringida a determinada familia o especie (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

Muchas plantas y hierbas medicinales tradicionales tienen una fuerte actividad antiviral; el tipo de extracción orgánica o acuosa en general da los mismos resultados; por lo tanto, no es factible en este momento afirmar que método de extracción es preferible. En vista del número significativo de extractos de plantas que han arrojado resultados positivos, parece razonable concluir que probablemente hay numerosos tipos de agentes antivirales en los vegetales. Y para conocer los ingredientes activos es necesario realizar una caracterización que pueda revelar los compuestos útiles. Finalmente, el desarrollo de nuevos productos de plantas medicinales es vital para controlar las amenazas planteadas por algunos virus patógenos. Hay pocas posibilidades de que los medicamentos antivirales ortodoxos disponibles puedan eliminar todas o incluso la mayoría de las enfermedades virales (Jassim y Naji, 2003).

Las especies: *Salvia sagittata* "salvia negra", *Alcea rosea* "malva", *Cinchona officinalis* "quina", *Allium cepa* "cebolla", *Sambucus peruviana* "sauco", *Flaveria bidentis* "matagusano", *Juglans nigra* "nogal americano", *Tessaria integrifolia* "pájaro bobo", *Ocimum basilicum* "albahaca", *Crescentia cujete* "huingo", *Begonia fischeri* "begonia", *Cantua buxifolia* "cantuta", según la bibliografía contienen quercitina y/o kaempferol, la presencia de estos compuestos indicaría que estas especies tienen el potencial de convertirse en remedios para controlar la gripe, ya que Sadati et al. (2019), comparó el

efecto antiviral de los flavonoides quercitina y kaempferol con un fármaco dirigido al control y tratamiento de la gripe tipo A, los resultados indicaron que ambos metabolitos tienen efecto de bloqueo de manera efectiva en el sitio activo de la enzima neuraminidasa (NA), esta enzima libera al virus de las células infectadas.

Además los resultados de la revisión revelan 19 especies con contenido de aceites esenciales: *Schinus molle* "molle", *Scoparia dulcis* "escobilla del Perú", *Ocimum basilicum* "albahaca", *Tagetes erecta* "rosasisa", *Zingiber officinale* "kión", *Mentha piperita* "menta", *Persea americana* "palta", *Ruta graveolens* "ruda", *Sambucus canadensis* "sambuco", *Cymbopogon citratus* "hierba luisa", *Allium sativum* "ajo", *Hedyosmum racemosum* "masamoche", *Lavandula angustifolia* "alucema", *Salvia officinalis* "salvia", *Tilia platyphyllos* "tilo", *Eucalyptus globulus* "eucalipto", *Mansoa alliacea* "ajosacha", *Allium cepa* "cebolla", *Petroselinum sativum* "perejil". Estos metabolitos muestran actividades antimicrobianas y antivirales tal como lo demostró Kucharska et al. (2018), analizando mediante cromatografía de gases, seis aceites esenciales extraídos de plantas medicinales utilizadas para diversas enfermedades respiratorias; los resultados indicaron la presencia de α - y β -pineno, limoneno, terpinen-4-ol y cariofileno; además de linalool, eugenol y geraniol (estos últimos son potencialmente alergénicos). *Schinus molle* "molle", es la especie que sobresale en contenido de aceites esenciales con un 59,4%, lo que justifica su uso en la medicina popular (Doleski et al., 2015)

ESPECIE PROMISORIA

Peña (2008), investigó a la especie *Punica granatum* "granada", reportando 73% de flavonoides, con potencial antiviral ante la influenza H3N2, H1N1 y la influenza B, determinó la acción viricida directa del extracto de granada; en ratones infectados por vía oral o intranasal tratados a diferentes concentraciones; entre los beneficios considera que el periodo de duración de los síntomas se hizo más corto, la concentración de virus disminuyó en gran cantidad y se observó recuperación del tejido pulmonar en ratones enfermos. En nuestro país se atribuye a la granada otras propiedades medicinales, más no para afecciones respiratorias consideramos que se debería realizar estudios de investigación para comprobar su efecto sobre los virus de la gripe.

4. CONCLUSIONES

Las plantas elaboran un sin número de metabolitos secundarios, entre los que destacan los flavonoides y aceites esenciales que la literatura científica reporta como compuestos que tienen la capacidad de inactivar los virus que causan afecciones respiratorias; mediante mecanismos que aún se encuentran en estudio. Por otro lado, la población en gran mayoría recurre a la medicina tradicional para aliviar sus males; de ahí la importancia de validar el uso de estas especies, recurriendo a la investigación ya que en nuestro país aún se desconoce el potencial de estos recursos.

5. AGRADECIMIENTOS

A Betsie Lucia y Wendy Leticia Mejía Ruiz

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcedo, C., Lopez, K., Lozada, D., Seminario, R., Cueva, R. y Robles, P. (2017). Efecto cicatrizante del ungüento de *Dodonaea viscosa* Jacq. "Chamisa" en ratones Balb/C 53. *Ágora Rev. Cient.* 2017; 4(2). <http://revistaagora.com/index.php/cieUMA/article/view/84/85>.

- Alpízar L. y Medina, E. (1998). La fiebre: Conceptos básicos. *Revista Cubana de Pediatría*, 70(2), 79-83. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75311998000200003&lng=es&tlng=es.
- Arauco K. (2016). *Efecto antiinflamatorio y analgésico del extracto etanólico de Muehlenbeckia volcanica (Benth) Endlincher (mullaca) sobre el granuloma inducido por carragenina en ratas*. Tesis de Post Grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5978/Arauco_pk.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Arellano, P. (2010). *El Libro Verde. Guía de Recursos Terapéuticos Vegetales*. Ministerio de Salud, Lima Perú.
- Ávalos, A. y Pérez-Urria, E. (2009). Metabolismo Secundario de Plantas. *Reduca (Biología)*. Serie Fisiología Vegetal 2(3): 119-145. https://eprints.ucm.es/9603/1/Metabolismo_secundario_de_plantas.pdf.
- Arroyo, J., Barreda A., Ráez, E., Jurado, B., Moral, G., Martínez, J. y Palomino, C. (2007). El extracto etanólico de las flores de *Laccopetalum giganteum* (pacra-pacra) aumenta la fertilidad en ratas. *An Fac Med Lima* 68(3), 238-243. <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v68n3/a04v68n3.pdf>.
- Ben-Shabat, S., Yarmolinsky, L., Porat, D. y Dahan, A. (2020). Antiviral effect of phytochemicals from medicinal plants: Applications and drug delivery strategies. *Drug Deliv. And Transl. Res.* 10, 354-367. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13346-019-00691-6.pdf>.
- Bonilla P., Fernández, G., Bustamante L., Casas, L., Cirineo M., Hinojosa, M., Villar, H. y Yupanqui B. (2017) Determinación estructural de flavonoides en el extracto etanólico de cladodios de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. "Tuna Verde". *Rev Peru Med Integrativa* 2(4):835-40. <http://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/07/907045/determinacion-estructural-de-flavonoides-en-el-extracto-etanolico-XC9gvbb.pdf>.
- Bouriche, H., Meziti, H., Senator, A. y Arnhold, J. (2011). Anti-inflammatory, free radical-scavenging, and metal-chelating activities of *Malva parviflora*. *Pharmaceutical Biology*, 49(9): 942-946. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3109/13880209.2011.558102?needAccess=true>
- Brako, L. y Zaruchi, J. (1993). Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Garden. Vol. 45.
- Burgos, J. (2015). *Efecto protector de la savia de Musa acuminata "plátano" ante el daño por ciclofosfamida en células meristemáticas de Allium cepa "cebolla"*. Tesis de Post Grado. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Bussmann, R., Glenn A., Meyer, K., Rothrock A., Townesmith A. Sharon, D., Castro, M., Cardenas, R., Regalado, S., Del Toro, R., Chait, G., Malca, G. y Pérez, F. (2009). Phyto-chemical analysis of peruvian medicinal plants. *Arnaldoa* 16(1): 105-110, 2009. [ArnaldoaPhytoChemicalAnalysisofPeruvianMedicinalPlants.pdf](http://www.arnaldoa.org/ArnaldoaPhytoChemicalAnalysisofPeruvianMedicinalPlants.pdf).
- Bussmann, R. y Sharon (2015). *Plantas Medicinales de los Andes y la Amazonía. La flora mágica y medicinal del norte del Perú*. Graficart S.R.L. Trujillo Perú <http://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/10/916684/plantas-medicinales-de-los-andes-y-la-amazonia-la-flora-magica-Qa3dgqr.pdf>.
- Callohuari, R., Sandoval M. y Huamán O. (2017). Efecto gastroprotector y capacidad antioxidante del extracto acuoso de las vainas de *Caesalpinia spinosa* 'tara', en animales de experimentación. *Anales de la Facultad de Medicina*, 78(1), 61-66. <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v78n1/a10v78n1.pdf>.
- Calvo, C., García, M., Casas, I. y Pérez, P. (2011). Infecciones respiratorias virales. Protocolo de Infectología (En revisión). Asociación Española de Pediatría. Editorial ERGON. Tercera edición. <https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/irsv.pdf>.
- Camacho-Campos, C., Pérez-Hernández, Y., Valdivia-Ávila, A., Ramírez-Pérez, H. y Gómez-Brisuela, L. (2019). Propiedades fitoquímicas y antibacterianas de extractos de *Tagetes erecta* L. (Asteraceae). *Rev Cub Quim* 31 (1). <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v31n1/2224-5421-ind-31-01-53.pdf>.
- Cano, A., La Torre, M., Castillo, S., Aponte, H., Morales, M., Mendoza, W., León, B., Roque, J., Salinas, I., Monsalve C. y Beltrán H. (2006). *Las plantas comunes del Callejón de Conchucos (Ancash, Perú) Guía de Campo*. Museo de Historia Natural Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima Perú.

- Cárdenas, C. (2017). Actividad antimicrobiana y antioxidante del extracto etanólico de *Prosopis pallida* "algarrobo". Tesis Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima - Perú.
- Castañeda, M., Muñoz, A., Martínez, J. y Stashenko, E. (2007). Estudio de la composición química y la actividad biológica de los aceites esenciales de diez plantas aromáticas colombianas. *Scientia Et Technica*, 13(33) 165 - 166. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903338>.
- Castilla-Valdés, Y. (2018). La gardenia: características, usos, plagas y enfermedades y aspectos básicos de su cultivo. *Agron. Mesoam.* 29(3), 731-745. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v29n03_731.pdf.
- Chilquillo, H. y Cervantes R. (2017). Efecto antiinflamatorio, analgésico y antioxidante del extracto hidroalcohólico de las hojas de *Senecio canescens* (Humb. & Bonpl.) Cuatrec. "vira-vira". Tesis para optar Título Profesional. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Clapé, O. y Alfonso, A. (2011). Caracterización fármaco-toxicológica de la planta medicinal *Sambucus nigra* subsp. *canadensis* (L). R. Bolli. *Revista Cubana de Farmacia*, 45(4), 586–596.
- Cuéllar, A. y Hussein, R. (2009). Evaluation of the yield and the antimicrobial activity of the essential oils from: *Eucalyptus globulus*, *Cymbopogon citratus* and *Rosmarinus officinalis* in Mbarara District (Uganda). *Rev. Colombiana cienc. Anim.* 1(2), 240-249. [Dialnet-EvaluationOfTheYieldAndTheAntimicrobialActivityOft-3269029.pdf](http://www.dialnet.org/evaluationoftheyieldandtheantimicrobialactivityoft-3269029.pdf).
- Cutipa, L., Olivera, M., Chávez, M., Mego, V., Cuse, J., Puma, M. y Gonzales, J. (2011). Screening Fitoquímico de Flavonoides en Clavo Huasca (*Tynanthus polyanthus*. Sandwith Bureau) de la localidad de San Bernardo, Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Rev Biodiversidad Amazónica* 3(3). 10-17. <http://revistas.unamad.edu.pe/index.php/Biodiversidad/article/view/69/61>.
- Dalar, A., Turker, M. y Konzack I. (2012). Antioxidant capacity and phenolic constituents of *Malva neglecta* Wallr. And *Plantago lanceolata* L. from Eastern Anatolia Region of Turkey. *Journal of Herbal Medicine* 2(2), 42-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2012.03.001>.
- Da Silva, R. (2014). Produtividade, compostos bioativos e atividade antioxidante em *Eryngium foetidum* L. Tese Doutor. Universidade Estadual Paulista. Sao Paulo Brasil.
- De García, C., Correa, E. y Rojas, N. (1995). Estudio Fitoquímico preliminar y Evaluación de la Actividad Antimicrobiana de algunas plantas superiores colombianas. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas* 23(1) 42-48. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/view/56492>.
- De-la-Cruz, H., Vilcapoma, G. y Zevallos, P. (2006). Ethnobotanical study of medicinal plants used by the Andean people of Canta, Lima, Perú. *J Ethnopharmacology* 111 (2) 284-294. DOI: 10.1016/j.jep.2006.11.018.
- Díaz, S. (2018). Determinación de la actividad cicatrizante de la planta salvia real (*Salvia sagittata*) mediante lesiones inducidas en ratones (*Mus musculus*). Tesis de Pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba Ecuador.
- Doleski, P., Ferreira, C., Calil, J. y Palermo, M. (2015). Chemical composition of the *Schinus molle* L. essential oil and their biological activities. *Rev Cubana Farm* 49(1), 132-143. <http://scielo.sld.cu/pdf/far/v49n1/far13115.pdf>.
- Echavarría, A., D'Armas, H., Matute, L., Jaramillo, C., Rojas, L. y Benítez, R. (2016). Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales. *Revista Ciencia UNEMI* 9(20), 29-35. <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/344>.
- Esteva, E. (2001). Resfriado común. Disponible en: *Offarm* 20(11): 11-153. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-sumario-vol-20-num-11-X0212047X01X12237>.
- Félix, L., Bonilla, P., Castro, A., Choquesillo, F. y Milla, H. (2000). Estudio Fitoquímico y determinación de flavanonas y alcaloides de naturaleza indólica en hojas de *Perezia multiflora* (H. et B.) Less. "escorsonera". *Ciencia e Investigación* 3(2). 79-89. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/farma/article/view/5328/4417>.
- Font, E. (2003). Fármacos para el tratamiento de la tos. *Offarm* 22(11), 70-78. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13055921>.
- Fontes, R., Da Silveira, T., Alves, R., Rennó, V., Figueira, G., Da Silva, I., Ward, P., Toniolo, M., de Souza, A., Rejane, M., Dos Santos, S. y Barbosa, D. (2020). Chemical and phylogenetic characterization of Guaco (*Mikania laevigata*; *M. glomerata*) germplasm. *Biochemical Systematics and Ecology*. 90, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104029>.

- Gamboa, J., Sistiaga, J., Wills, D. y Rivera, T. (2011). Enfermedades inflamatorias laríngeas y faríngeas del adulto. *Medicine* 10(91): 6190-8. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0304541211702402?token=13927FFFBC68B998FF0D6866EA02F6AFF7213E5A44B95A10EA3D46F2EF18173E30F47C3614E9E661FA72098ED04561D8>.
- Galán de Mera, A., Linares-Perea, E., Martos, F., Montoya-Quino, J., Rodríguez-Zegarra, C. y Torres-Marquina, I. (2019). Distribución Bioclimática de plantas medicinales y sus principios activos en el Departamento de Cajamarca (Perú). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 18(2): 130 – 143. www.blacpma.usach.cl.
- Ganoza, F. Asmachilca: Nombre vernacular de *Eupatorium triplinerve* Vahl, *Aristeguietia discolor* R.M. King & H. Rob., *Aristeguietia gayana* Wedd, *Baccharis* sp. (Asteraceae), uso tradicional (Asma bronquial) y otros usos Perú. (2020) *Ethnobotany Research and Applications* 19(28). <http://journals.sfu.ca/era/index.php/era/article/view/1825>.
- García, A., Del Río, J., Porras, I., Fuster, M. y Ortuño, A. (2003). El limón y sus componentes bioactivos. Comunidad de la Región de Murcia. Pictografía, S.L. Murcia España.
- García, C., Martínez, A., Ortega, J. y Castro, F. (2010). Componentes Químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales. *Química Viva* 9(2). 86-96. <https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=86314868005>.
- García, F. y Mostacero, J. (2009). *Flora Etnomedicinal de la Región Amazonas, Perú*. Chachapoyas Perú.
- Glisik, S., Ivanovic, J., Ristic, M. y Skala, D. (2010). Extraction of sage (*Salvia officinalis* L.) by supercritical CO₂: Kinetic data, chemical composition and selectivity of diterpenes. *J. Supercrit. Fluids* 52(62-70). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.11.009>.
- González F. y Bravo L. (2017). Estudio botánico y farmacéutico de productos con aplicación en cosmética y cuidado de la piel. *Ars Pharmaceutica* (Internet), 58(4), 175-191. DOI: <https://dx.doi.org/10.4321/s2340-98942017000400005>.
- Gupta, M., Santana, A. y Espinosa, A. (s.f.) Monografía de las Plantas Medicinales de Panamá. <http://www.oas.org/es/sedi/femcidi/pubs/Libro%20de%20Plantas%20Medicinales%20de%20Panama.pdf>.
- Harrod, S. (2013). *Herbal antivirals. Natural Remedies for Emerging & Resistant Viral Infections*. Storey Publishing. USA. ISBN13: 9781612121604.
- Hernández, K. (2018). Análisis fitoquímico y citotóxico de extractos de *Gnaphalium viscosum* (Kunth) sobre líneas celulares humanas malignas de cérvix (SiHa) y mama (Mda). Tesis para obtener Título. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México.
- Hoyos, K. y Yep, M. (2008). *Diseño de una formulación de aplicación tópica a base de Baccharis latifolia (Chilca), con efecto antiinflamatorio*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Huamán, J., Guerrero, M. Tomás, G., Bravo, M., Aguirre, R. y Carhuanocho, H. (2003). Estudio Químico y Nutricional de las hojas del rabanito, *Raphanus sativus* L., como alimento para consumo humano. *Rev. Per. Quim. Ing. Quím.* 5 (2), 54-58. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/ing_quimica/vol5_n2/a07.pdf
- Jassim, S. y Naji, M. (2003). Novel antiviral agents: a medicinal plant perspective. *Journal of Applied Microbiology* 95(3). DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02026.x>.
- Kirimer, N., Mokhtarzadeh, S., Demirci, B., Goger, F., Khawar, K. y Demirci, F. (2017). Phytochemical profiling of volatile components of *Lavandula angustifolia* Miller propagated under in vitro conditions. *Industrial Crops and Products* 96, 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.061>.
- Kolff, H. y Kolff, A. (2005). *Flores Silvestres de la Cordillera Blanca*. Erba Gráfica S.A.C. Lima Perú
- Kramer, L. (2018). Generalidades sobre los virus. Manual MSD versión para profesionales. Disponible en: <https://www.msdmanuals.com/es/professional/enfermedades-infecciosas/virus/generalidades-sobre-los-virus>.
- Kucharska, M., Szymańska, J. A., Wesołowski, W., Bruchajzer, E. y Frydrych, B. (2018). Comparison of chemical composition of selected essential oils used in respiratory diseases]. *Medycyna pracy*, 69(2), 167–178. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00673>.

- Mamani, B. (1999). Metabolitos secundarios bioactivos de la flora medicinal iberoamericana: *Piper elongatum*, *Copaifera paupera*, *Crossopetalum tonduzii* y *Maytenus cuzcoina*. Tesis de Post Grado. Universidad de la Laguna San Cristóbal de La Laguna, Tenerife, España.
- Mathew, N. S. y Negi, P. S. (2017). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of wild banana (*Musa acuminata* Colla): *Journal of ethnopharmacology* 196, 124–140. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874116323200?via%3Dihub>
- Mejía, K. y Rengifo, E. (2000). *Plantas Medicinales de Uso Popular en la Amazonía Peruana*. Tarea Asociación Gráfica Educativa. Lima Perú.
- Mendoza, A. (2018). Evaluación de la Actividad Antimicrobiana de *Cymbopogon citratus* frente a cepa de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Tesis Post Grado. Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Ecuador.
- Mesa, A., Naranjo J., Diez, A., Ocampo, O. y Monsalve, Z. (2017). Actividad Antibacterial y larvicida sobre *Aedes aegypti* L. de extractos de *Ambrosia peruviana* (Willd) (Altamisa). *Rev Cubana Plant Med* 22(1), 1-11. scielo.sld.cu/pdf/pla/v22n1/pla11117.pdf.
- Mostacero, J. Castillo, F., Mejía, F., Gamarra, O., Charcape, J. y Ramírez, R. (2011). *Plantas Medicinales del Perú: Taxonomía, Ecogeografía, Fenología y Etnobotánica*. Instituto Pacífico S.A.C. Lima Perú.
- Olaleye, M.T., Akinmoladun, A. y Akindahunsi A. (2006). Antioxidant properties of *Myristica fragrans* and its effect on selected organs of albino rats. *Afr. J. Biotechnol* 5 (13), 1274-1278. https://www.researchgate.net/publication/27797520_Antioxidant_properties_of_Myristica_fragrans_Houtt_and_its_effect_on_selected_organs_of_albino_rats.
- Olivera, P., Tamariz, C., Infantas, D., Choy, M. y Cabello, P. (2008). Determinación de los principios antibacterianos de *Peperomia hartwegiana* Miquel (congona redonda). Informe Final de Investigación. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo Huaraz Perú.
- Ordaz, G., D'Armas, H., Yáñez, D., y Moreno, S. (2011). Composición química de los aceites esenciales de las hojas de *Helicteres guazumifolia* (Sterculiaceae), *Piper tuberculatum* (Piperaceae), *Scoparia dulcis* (Arecaceae) y *Solanum subinerme* (Solanaceae), recolectadas en Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 585-595. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n2/a05v59n2.pdf>
- Ordoñez, L. (2019). Situación epidemiológica de las infecciones respiratorias agudas (IRA) en el Perú. *Boletín Epidemiológico del Perú* 2019; 28(15): 374-377. <http://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/boletines/2019/15.pdf>.
- Organización Mundial de la Salud. (2020a). Brote de enfermedad por coronavirus (COVID-19): orientaciones al público. <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>.
- Organización Mundial de la Salud. (2020b). Temas de salud Gripe. <https://www.who.int/topics/influenza/es/>
- Organización Panamericana de la Salud (2014). Estrategia de Cooperación con el País: Perú 2014-2019. Documento Técnico OPS/OMS. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/7664/CCSPER_2014-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Páez, V., Albornoz, P., Lizarraga, E., Sobrero, M. y Chaila, S. (2019). Anatomía foliar y caulinar, y caracterización fitoquímica foliar de *Flaveria bidentis* y *F. haumanii* (Asteraceae) de Santiago del Estero, Argentina. *Acta Botánica Mexicana*, 126: e1409. [Dialnet-AnatomiaFoliarYcaulinarYCaracterizacionFitoquimica-7176305.pdf](https://doi.org/10.21656/10001409).
- Peña, B. (2008). *Actividad antiviral de un extracto liofilizado del fruto de Punica granatum L. frente al virus de la Influenza*. Tesis Post grado. Centro Nacional de Información de Cs. Médicas (Cuba). <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/140094>.
- Pérez, W. (2017). *Evaluación Etnobotánica Medicinal de la Comunidad de Buenos Aires, Jaén, Cajamarca - Perú*. Tesis Pregrado Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Pérez L., Picado, Y. y Reyes, S. (2010). *Actividad citotóxica del aceite esencial presente en la hoja de Ocimum basilicum (albahaca) mediante el bioensayo con Artemia salina, marzo 2010*. Tesis Pregrado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua.
- Plazas, E. (2015) Tamizaje fitoquímico preliminar, evaluación de la actividad antioxidante in vitro y toxicidad de seis especies de Ericáceas colombianas. *Rev Cubana Plant Med* 20 (2). scielo.sld.cu/pdf/pla/v20n2/pla04215.pdf.

- Quispe-Herrera, R., Paredes-Valverde, Y. y Solis-Quispe, L. (2014). Extracción y Caracterización Físicoquímica del colorante del huito (*Genipa americana*) en el distrito de Tambopata. *Biodivers. Amazon.* 4 98-102 pp. <http://revistas.unamad.edu.pe/index.php/Biodiversidad/article/view/85/77>.
- Rajasekaran, D., Palombo, E., Chia Yeo, T., Lim Siok Ley, D., Lee Tu, C., Malherbe, F. y Grollo, L. (2013). Identification of Traditional Medicinal Plant Extracts with Novel Anti-Influenza Activity *PLoS ONE* 8 (11): DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079293>.
- Ramírez, R. y Yllatupa, L. (2013). Efecto hipotensor in vivo del extracto acuoso de las partes aéreas de *Urtica magellanica* (ortiga) en ratas hipertensas inducidas por L-NAME y Determinación de la toxicidad aguda. Tesis Pregrado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Rao, Y, Fang S. y Tzeng Y. (2005). Anti-inflammatory activities of flavonoids isolated from *Caesalpinia pulcherrima*. *J Ethnopharmacology*, 100(3), 249-253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874105002138>.
- Rengifo, E. (2007). Las Ramas Floridas del Bosque. Experiencias en el Manejo de Plantas Medicinales Amazónicas. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos. <https://www.yumpu.com/es/document/read/13235466/las-ramas-floridas-del-bosque-instituto-de-investigaciones->
- Ríos, L. (2017). Determinación del rendimiento y caracterización físicoquímica del extracto etanólico del tilo (*Tilia platyphyllos* Scop.), obtenido de la hoja y flor proveniente del departamento de Chimaltenango, evaluado a escala de laboratorio por medio de maceración química. Tesis Pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Rodríguez, J., Machuca, C. y Mendoza, E. (s.f.) Estudio etnobotánico e identificación preliminar de metabolitos secundarios de *Momordica charantia*, en la localidad de Limón Chiquito, Veracruz. http://congresos.cio.mx/16_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S5/S5-BYQ28.pdf.
- Rosella, M., De Pflirter, G. y Mandrile, E. (1996). Jenjibre (*Zingiber officinale* Roscoe, Zingiberaceae): Etnofarmacognosia, Cultivo, Composición Química y Farmacología. *Acta Farm. Bonaerense* 15(1): 35-42. http://www.latamjpharm.org/trabajos/15/1/LAJOP_15_1_2_1_90QQX1W51C.pdf.
- Sandino, T., López-Kleine, L. y Marquínez, X. (2015) Caracterización de la respuesta morfológica de variedades susceptibles y resistentes de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la bacteriosis vascular causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. manihotis. *Summa Phytopathol., Botucatu*, 42(2), 94-100. <https://www.scielo.br/pdf/sp/v41n2/0100-5405-sp-41-02-00094.pdf>.
- Sadati, S.M., Gheibi, N., Ranjbar, S., y Hashemzadeh, M.S. (2019). Docking study of flavonoid derivatives as potent inhibitors of influenza H1N1 virus neuraminidase. *Biomedical Reports*, 10, 33-38. [br_10_1_33_PDF.pdf](http://br.10.1_33_PDF.pdf).
- Sánchez, M. y Vega, E. (2013). *Cuantificación de flavonoides totales de las flores de Cantua buxifolia Juss. Ex Lam. "Flor sagrada de los Incas", procedentes de la provincia de Otuzco - Región La Libertad*. Tesis para optar grado de Bachiller. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo Perú.
- Santivañez, R. y Cabrera, J. (2013). *Catálogo Florístico de las Plantas Medicinales Peruanas*. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud. Lima Perú.
- Silverio, C. 2016. Determinación de flavonoides y glucósidos en *Verbena litoralis*. Tesis Post grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil Ecuador.
- Soto, M. (2015). *Determinación del efecto antimicrobiano in vitro de un gel elaborado con extracto etanólico de hojas de Senecio rhizomatus Rusby (Asteraceae)*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima Perú.
- Stashenko, E., Jaramillo, B. y Martínez, J. (2004). Comparison of different extraction methods for the analysis of volatile secondary metabolites of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown, grown in Colombia, and evaluation of its in vitro antioxidant activity. *Journal of Chromatography A* 1025(1), 93-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.10.058>.
- Suárez, J. (2014). *Eficiencia de los extractos hexánico, etanólico y metanólico de la corteza de Tabebuia serratifolia (tahuari) en Rattus norvegicus (rata albina) como hipoglucemiante en ratas hiperglicémicas*. Tesis de Post Grado. Universidad Nacional de la Amazonía peruana. Iquitos Perú.
- The Plant List (2013). Version 1.1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/>
- Tropicos. Org. Missouri Botanical Garden. (2020a). <http://www.tropicos.org>.

- Tropicos.org. (2020b). Ethnobotany Detail. Chuquiraga weberbaueri Tovar. Missouri Botanical garden. <http://legacy.tropicos.org/EthnobotanyDetails.aspx?ethnobotanyid=2246>
- Vallejo, J. R. Peral, D. y Carrasco, C. (2008). Las especies del género *Allium* con interés medicinal en Extremadura. *Medicina Naturista*, 2(1), 2 – 6. <https://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=7a446686-66e0-4733-9023-101cb3bb792f%40sdc-v-sessmgr01>.
- Vanclocha, B. (2020). Plantas medicinales. Nogal *Juglans regia* L. [mensaje en un blog]. Fitoterapia.net. <https://www.fitoterapia.net/vademecum/plantas/index.html?planta=90>
- Vargas-Rincón, C., Sánchez-León, G. y Jiménez, P. (2013). La Producción de metabolitos secundarios en la familia Brassicaceae. *Revista Facultad Ciencias Básicas* 9(2), 282-305. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/388/167>.
- Velásquez, S. (2016). Actividades desarrolladas en el Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación (LASACI) de la Universidad Nacional de Trujillo, *durante el año 2015*. Tesis Pregrado. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo Perú.
- Villas, G., Rodrigues, J., William, M., dos Santos, R., Stefanello, A., Barbieri, F., Agüero, C., Bortolotte, E., Briolo, F., Sachilarid, A., Belmal, N., Bittencourt, F., Freitas de Lima F., Meirelles, M., Gubert, P. y Oesterreich, S. (2019). Preclinical safety evaluation of the aqueous extract from *Mangifera indica* Linn. (Anacardiaceae): genotoxic, clastogenic and cytotoxic assessment in experimental models of genotoxicity in rats to predict potential human risks. *J Ethnopharmacol.* 243. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112086>.
- Waizel-Bucay, J. (2010) Plantas y compuestos medicinales. Los salicilatos y la aspirina. Or (*Slix* spp., aspirin). *Revista de Fitoterapia* 10(2): 133-145. https://www.researchgate.net/publication/289130889_plantas_y_compuestos_medicinales_Los_salicilatos_y_la_aspirina_Or_Salix_spp_aspirin.
- Waizel-Bucay, J. y Waizel-Haiat, S. (2019) Las plantas con principios amargos y su uso medicinal. ¿un futuro dulce? *An Orl Mex* 64(4): 202-228. <https://www.medigraphic.com/pdfs/anaotomex/aom-2019/aom194f.pdf>.
- Wust, W. (2003). *Guía de Especies Útiles de la Flora y Fauna Silvestre. Santuarios Naturales del Perú*. Ediciones PEISA S.A.C. Lima Perú.
- Zapata, S., Tamayo, A. y Rojano, B. (2015). Efecto del tostado sobre los metabolitos secundarios y la actividad antioxidante de clones de cacao colombiano. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* 68(1): 7497-7507. 2015. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v68n1/v68n1a11.pdf>.

Tabla 1. Información Etnobotánica y Fitoquímica de Plantas Medicinales con Propiedades Antivirales

Familia	Nombre Científico	Nombre común Hábito	Parte de la planta	Uso tradicional	Preparación	Metabolitos Secundarios (Información Fitoquímica)
ADOXACEAE	<i>Sambucus canadensis</i> L.	"sambuco" Árbol	hojas	Tos	Jugo de hojas trituradas	Alcaloides, ácidos orgánicos, proteínas, resinas, taninos, ceras, mucílago (Buhrmester, et al 2000), flavonoide y aceite esencial (Mena, 1994) citados por Gupta ⁴⁴ .
	<i>Sambucus peruviana</i> Kunth	"sauco", "saucotillo", "cinta de novia" Árbol	hojas, flores, tallos	Tos	Cocimiento del raspado del tallo.	Glucósidos, flavonoides (rutina y quercetina) y ácidos orgánicos ²² . Flavonoides, polifenoles, lactonas sesquiterpénicas, triterpenos y esteroides, saponinas ³⁷ .
AMARANTHACEAE	<i>Alternanthera porrigens</i> (Jacq.) Kuntze	"sanguinaria", "moradilla", "lancetilla" Hierba	planta entera	Resfrío	No especificado en la literatura	Flavonoides, fenoles, triterpenos, esteroides, saponinas ³⁷ .
AMARYLLIDACEAE	<i>Allium cepa</i> L.	"cebolla" Hierba	/bulbo	Tos	cocimiento del bulbo en rodajas finas con azúcar	Flavonoides (quercetina, kaempferol) ⁴³ . Abundantes fructosanos (10-40%), aceite esencial rico en compuestos azufrados (cepaenos), flavonoides como el quercetósidos, taninos ⁹¹ .
	<i>Allium sativum</i> L.	"ajo" Hierba	bulbo	Tos, resfrío	Cocimiento de bulbos chancados	Fructosanas (75%), aceite esencial (0,2-0,3%): garlicina, aliína que es hidrolizada por una enzima produciendo alicina (responsable del olor característico) ⁹¹ .
ANACARDIACEAE.	<i>Mangifera indica</i> L.	"mango" Árbol	hojas secas	Resfrío.	Infusión	Análisis en hojas alto contenido de polifenoles y flavonoides ⁹⁵ .
	<i>Schinus molle</i> L.	"molle" "cullash" Árbol resinoso	hojas y brotes terminales.	Inflamación de garganta	Gárgaras con la infusión de hojas y brotes terminales	Biciclogermacreno (20,5%), betacaryophyllene (19,7%) y spathulenol (19,2%) ³⁰ .
APIACEAE	<i>Eryngium foetidum</i> L.	"sachaculantro" Hierba	hojas frescas	Tos	Jugo	En las primeras etapas de crecimiento de las hojas, hay una mayor concentración de flavonoides, compuestos fenólicos, clorofilas y carotenoides ²⁶ .
	<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss	"perejil" Hierba	hojas y raíz	Tos	Infusión	Miriscina ⁴⁰ .

ASTERACEAE	<i>Ambrosia peruviana</i> Willd.	"altamisa" "marco" Hierba	hojas, tallos	Resfrío	Infusión error	Esteroides y antocianinas ⁵⁸ . Monoterpeno, diterpeno y sesquiterpeno, aceites esenciales ⁵⁶ .
	<i>Aristeguietia gayana</i> (Wedd.) R.M. King & H. Rob.	"asma chilca" Arbusto	hojas	Tos	Infusión	flavonoides y fenoles ³⁸ .
	<i>Baccharis latifolia</i> (R. & P.) Pers.	"Chchillca" "chilca" Arbusto	hojas y flores frescas o secas	Tos	Cocimiento	compuestos triterpénicos y/o esteroidicos, flavonoides y alcaloides ⁴⁷ .
	<i>Clibadium sylvestre</i> (Aubl.) Baill.	"flor de novia" Arbusto	hojas, flores, tallos	Resfrío	No especificado en la literatura	alcaloides, saponinas, quinonas, esteroides ¹² .
	<i>Cronquistianthus lavandulifolius</i> (DC.) R.M. King & H. Rob.	"pulmonaria" "clavelillo" "espino de hoja" Hierba	hojas, flores, tallos	Tos, resfrío, afecciones pulmonares	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
	<i>Culcitium canescens</i> H. & B.	Hierba "vira-vira" "anquish", "ancosh", "wila-wila".	hojas	Tos	infusión	Alcaloides, triterpenos, saponinas y flavonoides de los cuales se proponen los siguientes metabolitos: isoflavonas y flavonas o flavonoles ²¹ .
	<i>Chuquiraga weberbaueri</i> Tovar	"amaro" Arbusto	planta entera	Tos	No especificado en la literatura	Mucolítico (sustancias que disuelve flemas) ⁹⁰ .
	<i>Diplostephium gynoxyoides</i> Cuatrec.	"parrano" Hierba	hojas, flores, tallos	Afecciones pulmonares	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
	<i>Flaveria bidentis</i> (L.) Kuntze	"mata gusano" Hierba	hojas, flores, tallos	Tos	No especificado en la literatura	quercetina-3,7,3', 4-tetrasulfato y quercetina-3-acetil-7, 3', 4-trisulfato ⁶⁷ .
	<i>Gnaphalium spiccatum</i> Willd.	"queto queto" Hierba	planta entera	Tos	Cocimiento de la planta	Flavonoides y terpenos como sus constituyentes principales ⁴⁶ .
	<i>Mikania guaco</i> Kunth	"palo de huaco" Liana	corteza	Gripe	No especificado en la literatura	compuestos bioactivos en las hojas del guaco son la cumarina y el ácido o -cumárico ³⁵ .
	<i>Mutisia acuminata</i> R. & P.	"chinchircuma" "huariruma" Arbusto	Flores Hojas ⁵⁹	Tos ²⁸ , Fiebre ⁵⁹	Infusión	No especificado en la literatura
	<i>Mutisia mathewsii</i> Hook. & Arn. "	"siete sabios". Arbusto	hojas	Fiebre	Infusión	No especificado en la literatura
	<i>Oritrophium peruvianum</i> (Lam.) Cuatrec.	"huamanripa", "vira vira", "china linda" Hierba	planta entera	Neumonía	Infusión	No especificado en la literatura
	<i>Perezia multiflora</i> (H. & B.) Less.	"escorzunera", "chancoruma" "escorzonera".	hojas y tallos	Tos/fiebre	Infusión y cocimiento,	Taninos, flavonoides, esteroides, alcaloides y compuestosfenólicos ³³ .

		Hierba			inducir la transpiración	Flavonoides, cumarinas, sesquiterpenos, alcaloides sin especificar ³⁷ .
	<i>Picrosia longiflora</i> D. Don	"lengua de vaca" Hierba	planta entera	Neumonía	Cocimiento y al estado fresco	No especificado en la literatura
	<i>Pluchea chingoyo</i> (Kunth) DC.	"toñuz" Arbusto	hojas	Gripe	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
	<i>Senecio comosus</i> Sch. Bip.	"huamanripa", "huira-huira" Hierba	hojas y flores	Afecciones respiratorias	Cocimiento de hojas y flores con otras plantas	No especificado en la literatura
	<i>Senecio rhizomatus</i> Rusby	"huamanripa hembra", "hanca huasa" "ticlla huasa" Hierba	hojas y flores	Tos	Infusión	Flavonoides, saponinas esteroidales y alcaloides, no encontraron antraquinonas ⁸⁵ .
	<i>Senecio serratifolius</i> (Meyen y Walp.) Cuatrec.	"wamanripa". Hierba	hojas y flores	Neumonía	Infusión	No especificado en la literatura
	<i>Senecio tephrosioides</i> Turcz.	"huamanripa" "genciana" Hierba	hojas	Gripe, Neumonía	Infusión	Monoterpenos y alcaloides simples ³⁷ .
ASTERACEAE	<i>Tagetes elliptica</i> Sm.	Hierba "culantrillo serrano"	planta entera	Resfrío	No especificado en la literatura	Monoterpenos y derivados de fenilpropano en <i>T. filifolia</i> . Y en <i>T. multiflora</i> se identificó monoterpenos ³⁷ .
	<i>Tagetes erecta</i> L.	"rosasisa", "flor de muerto" Hierba	hojas, flores	Resfrío y Fiebre	Infusión para el resfrío. Jugo de hojas estrujadas diluido en agua caliente para la fiebre	Aceite esencial: linalol, anetol y eugenol. Monoterpenos: ocimeno y cineol ¹⁶ . Hoja: terpenoides, taninos, cumarinas, glicósidos. Flor: taninos, terpenoides, flavonoides, esteroides, glucósidos cardiotónicos ¹⁶ .
	<i>Tessaria integrifolia</i> R. & P.	"pájaro bobo" Árbol	hojas	Tos	Infusión	Flavonoides: 1-peroxi-3- α -senecioil-oxi-narginina; quercetina, iso-quercetina y rutina junto con: ácido quínico-3-4-5-tri-O-cafeoil (DEFEO, et al, 1990) ⁴⁴ .
BEGONIACEAE	<i>Begonia fischeri</i> Schrank	"begonia" Hierba	hojas	Tos	Infusión	Flavonoide y protoantocianina dimérica de hoja seca (Ensemeyer, 1980) ⁴⁴ . En la planta entera los flavonoles, 3-3'-7-trimetiléter de quercetina y ternatina (Ensemeyer, 1982, citado por Gupta ⁴⁴).

BIGNONIACEAE	<i>Crescentia cujete</i> L. "huingo", "tutumo", "pate"	"huingo", "tutumo", "pate" Árbol	Frutos	Fiebre	Cocimiento de la pulpa del fruto	Alcaloide: efedrina, ácidos crescentinico y cianhidrico, taninos ⁵⁶ . Flavonoides: apigenina y quercetina (Morton, 1981, citado por Gupta ⁴⁴)
	<i>Handroanthus serratifolia</i> (Vahl) SOGrose	"tahuari" Árbol	flores	Gripe, tos.	Cocimiento de flores mezclado con miel de abeja	Alcaloides, flavonoides, taninos, triterpenos, esteroides, derivados antracénicos, quinonas y aminoácidos ⁸⁷ .
	<i>Mansoa alliacea</i> (Lam.) AH Gentry	"ajo sacha" Arbusto	corteza	Tos	Macerado en agua o aguardiente	Fructosanas (75%), aceite esencial (0,2-0,3%): garlicina, aliína que es hidrolizada por una enzima produciendo alicina (responsable del olor característico) ⁹¹ .
	<i>Tynanthus polyanthus</i> (Bureau ex Baill) Sandw.	"arabisca" "yarabisca" Liana	tallos	Tos	No especificado en la literatura	Flavonoides con mayor concentración en raíces que en hojas ²⁴ . No se encontró evidencia en tallo
BIXACEAE	<i>Bixa orellana</i> L.	"achiote" Árbol	hojas	Fiebre	Decocción	En hojas presencia de alcaloides, flavonoides y sesquiterpenos (Morton, 1981; citado por Gupta) ⁴⁴ .
BORAGINACEAE	<i>Borago officinalis</i> L.	"borraja" Hierba	planta entera	Resfrío ⁴ .	Infusión	Flavonoides, Triterpenos, Alcaloides, Saponinas, Taninos, mucilagos ³¹ .
BRASSICACEAE	<i>Brassica rapa</i> L.	"nabo" Hierba	tubérculo	Inflamación de garganta	Gárgaras jugo tubérculo rallado	Glucosilatos ⁹³ .
	<i>Raphanus raphanistrum</i> subsp <i>sativus</i> (L.) Domin	"rabanito" Hierba	raíz	Resfrío e inflamación de garganta	infusión con miel	Taninos (catecol) cumarinas ⁴⁸ .
	<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i> (L.) Hayek	"berro" "occoruro" "chijchi" Hierba	hojas	Afecciones pulmonares	macerado	Flavonoides, fenoles, monoterpenos ³⁷ Glucósidos (Gluconasturciina, Gluconasturtósido) ³⁷
BROMELIA-CEAE	<i>Puya ferruginea</i> (R. & P.) LB Sm.	"achupalla", "queshque" arbusto	hojas	Fiebre	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
CACTACEAE	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	"tuna" arbusto suculento	tallos	Tos seca	Tallo soasado	Antraquinona, taninos, fenoles, flavonoides, glicósidos ⁸ .
CALCEOLARIACEAE	<i>Calceolaria linearis</i> R. & P.	globitos", "romero", "ucush romero". Hierba	tallos y hojas	Resfrío	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
	<i>Dracaena fragans</i> (L.) Ker Gawl.	"flor de dracena" Arbusto	hojas, tallos	Tos	Cocimiento	No especificado en la literatura
CANNABACEAE	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	"atadijo" Árbol	corteza y hojas	Tos seca.	Cocimiento de la corteza y de hojas para gárgaras e inhalaciones	No especificado en la literatura

CAPRIFOLIACEAE	<i>Scabiosa atropurpurea</i> L.	"ambarina" Hierba	Flores	Tos, Resfrío	No especificado en la literatura	Iridoides y flavonoides ⁵⁶
CHLORANTHACEAE	<i>Hedyosmum racemosum</i> (R. & P.) G. Don.	"masamoche" "asancito" Árbol	Corteza	Tos, resfrío	No especificado en la literatura	Sabineno (21,2%), eucaliptol (6,3%), α -pineno (5,7%), trans-4-tujanol (5,0%) y linalol (4,5%) ¹⁹ .
COSTACEAE	<i>Costus erythrocoryne</i> K. Schum	"caña agria" "cañagre" Hierba rizomatosa	tallos	Gripe, tos	Jugo del tallo mezclado con miel de abeja	esteroides, fenoles, resinas, triterpenos ⁵⁶ .
CUCURBITACEAE	<i>Momordica charantia</i> L.	"balsamina" Hierba	hoja, frutos	Tos	No especificado en la literatura	Alcaloides, esteroides, esteroleos, taninos, saponinas. Los compuestos fenólicos en hoja y tallo, en raíz cumarinas ^{76, 78} .
EQUISETACEAE	<i>Equisetum bogotense</i> Kunth	"cola de caballo" Hierba	tallos, hojas, rizoma	Inflamación de garganta	Jugo de la planta, Gárgaras	Ácidos (ascórbico, felúrico, málico, cafeico, gálico, tánico), equisetrina, alcaloides (nicotina, palustrina, equispermína) ⁶⁹ . Flavonoides y otros metabolitos primarios ³⁷ .
	<i>Equisetum giganteum</i> L.	"cola de caballo". Hierba	tallos, hojas, rizoma	Inflamación de garganta	No especificado en la literatura	Alcaloides, esteroides, flavonoides y saponinas (Davyt et al., 1991, citado por Gupta ⁴⁴)
ERICACEAE	<i>Gaultheria reticulata</i> Kunth	"toromaique" "mai que candela" Arbusto	planta entera	Resfrío	No especificado en la literatura	Flavonoides, fenoles, taninos, antraquinonas, lactonas sesquiterpénicas, saponina ³⁷ .
EUPHORBIACEAE	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	"yuca" Arbusto	raíz	Fiebre	Emplasto preparado con el almidón de la raíz y aguardiente	En raíz: fenoles y flavonoides ⁸⁰ ; glicósidos cianogénicos ⁵ .
FABACEAE	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	"ángel sisa" Arbusto	corteza y flores	Fiebre	infusión de la corteza y flores como agua de tiempo	Cinco flavonoides ⁷⁵ . La investigación apoya su uso en la medicina tradicional
	<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze	"caranca", "tara". Árbol o arbusto	vaina	Fiebre ¹⁵ . Inflamación de garganta ¹²	No especificado en la literatura	Taninos, compuestos fenólicos y flavonoides ¹⁴ y taninos ³⁷
	<i>Copaifera paupera</i> (Herzog) Dwyer	"copaiba" Árbol	aceite	Inflamación de garganta	Toques	Aceite: 2 sesquiterpenos, 10 diterpenos ⁵⁴ .
	<i>Prosopis pallida</i> (Willd.) Kunth.	"algarrobo" Árbol	semilla seca	Tos	No especificado en la literatura	Abundante en carbohidratos, moderado en flavonoides, chalconas, antrona y catequinas, trazas de saponinas en semillas ¹⁸ .

JUGLANDACEAE	<i>Juglans nigra</i> L.	"nogal americano" Árbol	hojas	Tos	No especificado en la literatura	Taninos elágicos (10%), naftoquinonas (juglona e hidrojglona), derivados flavónicos (hiperósido, juglanina, quercetina), ácidos fenólicos (cafeico y gálico) y ácido ascórbico (1%) ⁹² .
LAMIACEAE	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill	"alucema", "labanda" Hierba	planta entera	Resfrío	No especificado en la literatura	Linalol (22,1%), acetato de lavandulilo (15,3%) y acetato de linalilo (14,7%) ⁵⁰ .
	<i>Mentha piperita</i> L.	"menta" Hierba	hojas, flores	Inflamación de vías respiratorias.	Infusión e inhalación de vapores	Mentol, cineol, pineno, limoneno, mentona-piperitona, taninos, heterósidos, flavonoides ⁵⁶ .
	<i>Ocimum basilicum</i> L.	"albahaca" Hierba	hojas	Tos seca /fiebre	Infusión/ cocimiento	Aceite esencial: linalol, metilchavicol y eugenol; monoterpenos, sesquiterpenos. Taninos, flavonoides: quercetina ⁷⁰ .
	<i>Salvia officinalis</i> L.	"salvia" Hierba	planta entera	Tos	No especificado en la literatura	Alcanfor, 1,8-cineol, a- y b-tuyonas ⁴² .
	<i>Salvia sagittata</i> R. & P.	"salvia negra" Hierba	raíz y tallos	Tos	No especificado en la literatura	Flavonoide: Luteolina; flavona: apigenina, hispidulina; flavonoles: kaempferol y quercetina ²⁹ .
LAURACEAE	<i>Persea americana</i> Mill.	"palta" Árbol	hojas	Catarro	infusión	Taninos, perseitol, metil-chavicol, metil-eugenol, esparagina, ácidos málico y acético ⁵⁶ .
LECYTHIDACEAE	<i>Grias peruviana</i> Miers	"sachamangua" Árbol	semillas	Inflamación de vías respiratorias	jugo de las semillas molidas y se aspira por los orificios de la nariz	No especificado en la literatura
LINACEAE	<i>Linum prostratum</i> Dombey ex Lam.	"canchalagua peruana" Hierba	hojas	Neumonía	Infusión	No especificado en la literatura
LOASACEAE	<i>Caiophora cirsiifolia</i> C. Presl	"ortiga colorada" Hierba	hojas	Tos, neumonía	Infusión	No especificado en la literatura
	<i>Nasa grandiflora</i> (Desr.) Weigend	"ortiga macho", "shinua", "puca shinua". Hierba	hojas	Tos	Infusión	No especificado en la literatura
LYTHRACEAE	<i>Cuphea strigulosa</i> Kunth.	"lancetilla", "sanguinaria", "hierba del toro" Hierba	hojas y tallos	Fiebre	No especificado en la literatura	Triterpenoides, compuestos fenólicos, flavonoides y azúcares reductores ⁹⁴ .
	<i>Abelmoschus moschatus</i> Medik.	"mishumurillo" Arbusto	semillas	Tos/fiebre	Semilla triturada/infusión de semilla	Alcaloides y pigmentos flavónicos ⁵⁶ .

MALVACEAE	<i>Alcea rosea</i> L.	Arbusto "malva"	planta entera sin tallo	Tos	No especificado en la literatura	Flavonoides (kaempferol, hipoaletina, isoscutearina, quercetina) ⁹⁷ .
	<i>Malachra ruderalis</i> Guerke	Hierba "malva"	hojas, raíz	Tos Fiebre Resfrío	Infusión de la raíz/jugo de hojas exprimidas	No especificado en la literatura
	<i>Malva assurgentiflora</i> (Kellog) MFRay	Hierba "malva"	hojas	Resfrío	Infusión	No especificado en la literatura
	<i>Malva parviflora</i> L.	"malva rosa", "malva real" Arbusto	hojas	Tos	No especificado en la literatura	Flavonoides contenido alto, comparado con fenoles y proantocianidina; comprobada actividad antiinflamatoria ⁹ .
	<i>Myristica fragrans</i> Houtt.	"nuez moscada" "ajonjolí" Árbol	semillas secas	Tos	No especificado en la literatura	alcaloides, saponinas, anthraquinonas, Glicósidos cardiotónicos, flavonoides ⁶⁰ .
	<i>Theobroma cacao</i> L.	"cacao" Árbol	cascarilla de las semillas	Tos seca	Cocimiento de la casarilla hasta obtener chocolate espeso.	En el fruto del cacao, además de teobromina se distinguen tres polifenoles: catequinas (37%), antocianinas (4%) y protoantocianidinas (58%) ^{99,56} .
	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	"tilo" Arbusto	flores y hojas	Tos, fiebre, resfrío	No especificado en la literatura	farmesol, geraniol, eugenol, glucósidos flavónicos, hesperidina, saponinas, ácidos orgánicos, tocoferol en flores y linarina, fitosterol, taninos, amirina en hojas ⁷⁷
MUSACEAE	<i>Musa acuminata</i> Colla	"plátano de seda" Hierba	savia	Tos y fiebre ¹⁰ .	Savia	Flavonoides, antocianidinas, polifenoles, saponinas ^{11, 56} .
	<i>Musa paradisiaca</i> L.	"plátano" Hierba grande	savia	Tos y fiebre	Tomar una taza de savia en ayunas	ácido tánico, acético, gálico y málico ⁵⁶ .
MYRTACEAE	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	"eucalipto serrano" "eucalipto" Árbol	hojas	Tos, resfrío.	infusión de las hojas tiernas. inhalaciones y cataplasmas	Componente primario del aceite de eucalipto es la sustancia volátil 1,8-cineol (cineole) ²³ .
OLACACEAE	<i>Heisteria acuminata</i> (H. & B.) Engl.	"chuchuhuasi" Árbol	corteza	Resfrío	Cocimiento de la corteza raspada	Fenoles simples, quinonas, saponinas y triterpenos ⁵⁶ .
ONAGRACEAE	<i>Fuchsia ayavacensis</i> Kunth	"conchalay" "conchalay colorado" Arbusto	hojas, tallos	Resfrío	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
OROBANCHACEAE	<i>Escobedia grandiflora</i> (L.f.) Kuntze	"azafrán" Hierba	flores	Neumonía	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
PASSIFLORACEAE	<i>Malesherbia ardens</i> J.F. Macbr.	"verónica" Arbusto	planta entera	Tos, resfrío	No especificado en la literatura	Taninos, esteroides, antocianinas ¹² .

PIPERACEAE	<i>Peperomia hartwegiana</i> Miq.	"congona", "winayquilla" Hierba	hojas, tallos	Afecciones pulmonares	infusión	Compuestos fenólicos, flavonoides, quinonas, esteroides, triterpenos, Cardenólidos ⁶¹
	<i>Piper aduncum</i> L.	"hierba del soldado" "cordoncillo" "matico" Árbol	hojas	Tos, fiebre, resfrío	Infusión/compresa	hojas contienen: Terpenoide: alcanfor, dillapiol (58%), flavonoides, pinostrobin, piperitona (4%), pseudodilapio, saponinas y taninos ⁵⁶ .
PLANTAGINACEAE	<i>Plantago lanceolata</i> L.	"llantén" Hierba	toda la planta	Inflamación de garganta	Cocimiento	Hojas, flores y frutos contienen los niveles más altos predominantemente flavonoides y ácidos hidroxicinámicos ²⁵ .
	<i>Plantago major</i> L.	"llantén" Hierba	hojas	Tos seca/ Inflamación de garganta	Gárgaras con el cocimiento de las hojas y jugo de hojas frescas	Heterósidos, aucubina, mucílagos, taninos, pectina, ácido salicílico, flavonoides, resina, ácido cítrico y oxálico ⁵⁶ .
	<i>Scoparia dulcis</i> L.	"escobilla del Perú" "ñucño-pichana", "pique-pichana" Hierba	hojas, raíz, semilla ³⁸ . Planta entera sin raíz ⁵⁸	Resfrío, fiebre ³⁸	Cocimiento tres o cuatro plantas trituradas ⁵⁸	Monoterpenos, Sesquiterpenos, Triterpenos, Diterpenos ⁶² . Amelina, mucílagos, berberina, taninos, perseitol, metilchacoril, metil-eugenol ⁵⁶ .
POACEAE	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf.	"hierba luisa" Hierba	hojas	Tos, resfrío	Infusión	Alcaloides, saponina, asitosterol, terpenos, alcoholes, cetona, flavonoides, ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido cumárico y azúcares (De-Oliveira, 1992) ⁵⁷ .
POLEMONIACEAE	<i>Cantua buxifolia</i> Juss. ex Lam.	"cantuta" Arbusto	flores	Inflamación de garganta	Infusión	Quercetina 0,5382% en flores (flavonoides) ⁸² .
POLYGALACEAE	<i>Pteromonnina pterocarpa</i> (R. & P.) B. Erikson	"clarin" Hierba	flores, hojas	Fiebre, inflamación de garganta	No especificado en la literatura	Flavonoides, alcaloides, taninos, esteroides y triterpenoides ²⁷
POLYGONACEAE	<i>Muehlenbeckia volcanica</i> (Benth.) Endl.	"mullaca" Hierba	raíz, hojas y tallos	Tos	cocimiento	Hojas contienen taninos, compuestos fenólicos, flavonoides, quinonas y terpenos ³
POLYPODIACEAE	<i>Campyloneurum angustifolium</i> (Sw.) Fée	"calaguala" Hierba	rizoma	Resfrío o Catarro	cocimiento	No especificado en la literatura
	<i>Phlebodium decumanum</i> (Willd.) J. Sm.	"cotochupa" "calaguala" Epífita (helecho)	rizoma	Tos y fiebre	Cocimiento e infusión	No especificado en la literatura
PORTULACACEAE	<i>Portulaca oleraceae</i> L.	"verdolaga" Hierba	hojas	Fiebre	Jugo hojas trituradas	Ácido orgánico: ácido salicílico, mucílagos ⁵⁶ .
PTERIDACEAE	<i>Adiantum digitatum</i> C. Presl ex Hook	"culantrillo del pozo" Hierba	toda la planta	Fiebre	cocimiento	No especificado en la literatura

RANUNCULACEAE	<i>Laccopetalum giganteum</i> (Wedd.) Ulbr.	Hierba "rima rima" "pacra pacra" "flor de guarmayra".	flores	Inflamación de garganta.	Cocimiento de flores	Muy abundante cantidad de alcaloides, azúcares, glicósidos, esteroides y triterpenos, abundante cantidad de flavonoides y regular cantidad de taninos, compuestos fenólicos y quinonas ⁶ .
	<i>Thalictrum decipiens</i> B. Boivin	Hierba "chontilla chica"	planta entera	Fiebre	No especificado en la literatura	No especificado en la literatura
RUBIACEAE	<i>Cinchona officinalis</i> L.	Árbol "quina" "casarilla"	hojas. flores	Tos	Macerado	Flavonoides (quercetina y kaempferol) en corteza ⁴⁰ .
	<i>Gardenia jasminoides</i> J. Ellis	"jasmin" "margarita" Arbusto	hojas, tallo, flores	Inflamación de garganta	Infusión	Iridoide: genipina y caroteno: crocina c ²⁰
	<i>Genipa americana</i> L.	Árbol "huito" "jagua"	hoja, fruto maduro	Tos	Jarabe	Extracto acuoso muestra presencia de abundante proporción de glucósidos, moderada proporción de flavonoides y una baja proporción de alcaloides y compuestos fenólicos y taninos ⁷² .
	<i>Uncaria guianensis</i> (Aubl.) J.F. Gmel.	"uña de gato" Liana	hojas	Tos, fiebre	cocimiento	Alcaloides: rincofilina, Flavonoides Kaempferol, taninos ⁵⁶ .
RUTACEAE	<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	"limón" Árbol	fruto	Inflamación de garganta	Gárgaras con jugo de limón diluido	Glucósidos, flavonoides: flavononas, flavonas, flavonoles ³⁹ .
	<i>Ruta graveolens</i> L.	"ruda" Subarbusto	planta entera triturada	Fiebre	Cocimiento	Aceite esencial, pineno, eucaliptol, salicilato de metilo y flavonoides(rutina) ⁵⁶ .
SALICACEAE	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	"sauce" Árbol	hojas	Resfrío, fiebre	Cocimiento	Salicósidos (glucósido-fenoles), como la salicina su principio activo, de donde se aisló el ácido salicílico (en forma sintética se fabrica la Aspirina) ⁹⁶ .
SAPINDACEAE	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	"chamana", "chamisa" "samana" Arbusto	hojas y savia	Fiebre	Compresa	Compuestos fenólicos, Flavonoides, Alcaloides y Taninos ¹ . Flavonoides, diterpenos, saponinas ³⁷ .
	<i>Cestrum auriculatum</i> L'Hérit.	"yerba santa" Arbusto	toda la planta	Fiebre	Compresa	Taninos, saponinas, heterósidos cianogénicos, mucilagos ⁵⁶ .
SOLANACEAE	<i>Physalis peruviana</i> L.	"tomatillo silvestre" "capuli". Hierba	fruto	Resfrío		Flavonoides, triterpenos y esteroides, alcaloides tropánicos y otros metabolitos primarios ³⁷ .
	<i>Salpichroa hirsuta</i> (Meyen) Miers	"ñiñu-ñiñu", "ñiñuñi", "llungu-llungu" Arbusto	tallo	Gripe	Infusión con otras hierbas	No especificado en la literatura
	<i>Solanum americanum</i> Mill.	"hierba mora" "hierba del susto" Hierba	fruto	Resfrío, Gripe	Jugo del fruto triturado	No especificado en la literatura

	<i>Cecropia engleriana</i> Snethl.	"cetico" Árbol	corteza	Fiebre	Cocimiento	No especificado en la literatura
URTICACEAE	<i>Urtica magellanica</i> Juss. ex Poir.	"ortiga" Hierba	planta entera	Resfrío, fiebre	Cocimiento	Hojas de la planta fresca contiene flavonoides, ácidos orgánicos, provitamina A, mucilagos. Raíces contienen taninos, fitosteroles, ceramidas, fenilpropanos, lignanos ⁷⁴ .
	<i>Aloysia citridora</i> Palau	"cedrón" Árbol	hojas	Afecciones respiratorias	Infusión	Monoterpenos y Sesquiterpenos ³⁷ .
	<i>Lantana rugulosa</i> Kunth	"ayarosa" "cargashrosa" "rosa de muerto" Arbusto	Hojas Flor raíz	Afecciones respiratorias	Macerado y cocimiento	Lantanina alcaloide soluble en agua que posee propiedades antipiréticas ⁵⁹ .
VERBENACEAE	<i>Lippia alba</i> (Mill.) N.E. Br. Ex Britton & P. Wilson	"pampa orégano" "poleo del inca" Hierba	hojas y tallos	Afecciones respiratorias	Infusión y cocimiento	Componentes aislados de muestras de tallos y hojas frescos fueron limoneno (terpeno) (27-77%), carvona (terpenoide) (14-30%), piperitona (0,3-0,5%), piperitenona (0,4%) monoterpenos y Beta-bourbonene (sesquiterpeno) (0,5-6,5%) ^{84, 86} .
	<i>Verbena litoralis</i> Kunth	"verbena" Hierba	planta entera	Fiebre	Emplasto	Flavonoides, lactonas (sesquiterpenos), cumarinas, triterpenos, esteroides, alcaloides, fenoles, taninos y azúcares reductores ⁸⁴ .
ZINGIBERACEAE	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	"kion" "gengibre" Hierba	rizoma	Tos seca e inflamación de garganta resfrío	Gárgaras del extracto de rizoma crudo/Infusión	Aceite esencial: [6]-gingerol y el [6]-shogaol agentes analgésico-antipirético, el 2do es más activo que el primero; el [6]-shogaol reduce la frecuencia y la intensidad de la tos ^{79,76} .

Alcedo et al., 2017 (1); Arauco, 2016 (3); Avalos y Pérez-Urria, 2009 (5); Arroyo et al., 2007 (6); Bonilla et al., 2017 (8); Bouriche et al., 2011 (9); Burgos, 2015 (11); Bussmann et al., 2009 (12); Callohuari et al., 2017 (14); Camacho-Campos et al., 2019 (16); Cárdenas, 2017 (18); Castañeda et al., 2007 (19); Castilla-Valdés, 2018 (20); Chilquillo y Cervantes, 2017 (21); Clapé y Alfonso, 2011 (22); Cuéllar y Hussein, 2009 (23); Cutipa et al., 2011 (24); Dalar et al., 2012 (25); Da Silva, 2014 (26); De García et al., 1995 (27); De-la-Cruz et al., 2006 (28); Díaz, 2018 (29); Doleski et al., 2015 (30); Echavarría et al., 2016 (31); Félix et al., 2000 (33); Fontes et al., 2020 (35); Galán de Mera et al., 2019 (37); Ganoza, 2020 (38); García et al., 2003 (39); García et al., 2010 (40); Glisik et al., 2010 (42); Gonzales y Bravo, 2017 (43); Gupta et al., (s.f.) (44); Hernández, 2018 (46); Hoyos y Yep, 2008 (47); Huamán et al., 2003 (48); Kirimer et al., 2017 (50); Mamani, 1999 (54); Mathew y Negi, 2017 (55); Mejía y Rengifo, 2000 (56); Mendoza, 2018 (57); Mesa, et al., 2017 (58); Mostacero et al., 2011 (59); Olaleye et al., 2006 (60); Olivera et al., 2008 (61); Ordaz et al., 2011 (62); Paéz et al., 2019 (67); Pérez, 2017 (69); Pérez et al., 2010 (70); Plazas, 2015 (71); Quispe-Herrera et al., 2014 (72); Ramírez y Yllatupa, 2013 (74); Rao et al., 2005 (75); Rengifo, 2007 (76); Ríos, 2017 (77); Rodríguez et al., (s.f.) (78); Rosella et al., 1996 (79); Sandino, 2015 (80); Sánchez y Vega, 2013 (82); Silverio, 2016 (84); Soto, 2015 (85); Stashenko et al., 2004 (86); Suárez, 2014 (87); Tropicos.org, 2020b (90); Vallejo et al., 2008 (91); Vanclocha, 2020 (92); Vargas-Rincón et al., 2013 (93); Velásquez, 2016 (94); Villas et al., 2019 (95); Waizel-Bucay, 2010 (96); Waizel-Bucay y Waizel-Haiat, 2019 (97); Zapata et al., 2015 (99).

REBIOL
Av. Juan Pablo II s/n - Ciudad Universitaria
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional de Trujillo
Trujillo, Perú

Email: rebiol@unitru.edu.pe
gzavaleta@unitru.edu.pe