

Inoculantes comerciales en Baja California, México: calidad y capacidad de biocontrol de hongos fitopatógenos

Commercial inoculants in Baja California, Mexico: quality and capacity of biocontrol of phytopathogenic fungi

Daniel González-Mendoza¹  Olivia Tzintzun-Camacho²  Vianey Méndez-Trujillo³ 

Carlos Ceceña-Duran⁴  Dagoberto Duran-Hernández⁵  Onecimo Grimaldo-Juarez⁶ 

¹Universidad Autónoma de Baja California ✉ danielg@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma de Baja California ✉ otzintzun@uabc.edu.mx

³Universidad Autónoma de Baja California ✉ vianey.mendez.trujillo@uabc.edu.mx

⁴Universidad Autónoma de Baja California ✉ carlos.cecena.duran@uabc.edu.mx

⁵Universidad Autónoma de Baja California ✉ ddurn@uabc.edu.mx

⁶Universidad Autónoma de Baja California ✉ onecimo.grimaldo@uabc.edu.mx

Recibido: 20/12/2021 Aceptado: 24/02/2022

Resumen En el presente estudio se realiza una evaluación de la calidad biológica y viabilidad celular de diferentes inoculantes microbianos comercializados en Baja California, México. Para tal fin, se determina por triplicado la capacidad antagonista con la confrontación dual con hongos fitopatógenos, la viabilidad celular usando la técnica de dilución en serie en medio de cultivo y la revisión del cumplimiento de criterios de rotulación de etiqueta con base a la normativa mexicana en los productos: Bioben, T-22, Funqui, Agroderma, Bio-Tilis, Enerbac, Fus-Out y Bacillus 1537. Los resultados mostraron que los productos Agroderma, Bacillus 1537 y Fus-Out, no presentaron registro sanitario. La viabilidad de los inoculantes evaluados mediante la técnica de conteo en placa, mostraron valores de UFC/g o UFC/mL, inferiores a los indicados por las etiquetas. Los resultados de antagonismos de los productos biológicos contra los hongos fitopatógenos: *Alternaria alternata*, *Macrophomina sp.*, *Fusarium solani*, y *Botrytis sp.*, mostraron que solo el formulado a base de Bacillus 1537 presentó un efecto inhibitorio mayor del 50% sobre los hongos fitopatógenos. En contraste, los productos formulados a base de hongos micoparásitos, una menor eficiencia de inhibición de hongos fitopatógenos, siendo el inoculante Funqui, el que presentó la capacidad de inhibir el crecimiento en un 50%. Baja California cuenta con una amplia presencia de inoculantes comerciales, su calidad y eficiencia biológica es variable contra los agentes patógenos presentes en los suelos agrícolas de la región.

Palabras clave: Inoculantes, calidad, formulación, fitopatógenos, Baja California.

Abstract In the present study, the biological quality and cell viability of different microbial inoculants marketed in Baja California, Mexico, was carried out. For this purpose, the antagonistic capacity was determined in triplicate by means of dual confrontation with phytopathogenic fungi, determination of cell viability using the serial dilution technique in culture medium; as well as the review of compliance with the packaging criteria based on the Mexican regulations in the products: Bioben, T-22, Funqui, Agroderma, Bio-Tilis, Enerbac, Fus-Out and Bacillus 1537. The results showed that the products Agroderma, Bacillus 1537 and Fus-Out, no health registration submitted. On the other hand, the viability of the inoculants evaluated by means of the plate count technique, showed values of CFU/g or CFU/mL, lower than those indicated by the labels of the commercial inoculants. The results of antagonism of biological fungi against phytopathogenic fungi: *Alternaria alternata*, *Macrophomina sp.*, *Fusarium solani*, and *Botrytis sp.*, showed that only the product formulated based on Bacillus 1537 presented an inhibitory effect greater than 50% on phytopathogens. evaluated. In contrast, the products formulated based on mycoparasitic fungi, showed a lower efficiency of inhibition of phytopathogenic fungi, being the Funqui inoculant, the one that presented the capacity to inhibit their growth by 50%. Finally, Baja California has a wide presence of commercial inoculants; however, its quality and biological efficiency is variable against the pathogens present in the agricultural soils of the region.

Keywords: inoculants, quality, formulation, phytopathogens, Baja California.

Introducción

El Noroeste de México se caracteriza por su clima semidesértico con precipitaciones pluviales que van de 50 a 500 mm (González-Mendoza *et al.*, 2015). No obstante, aún con las limitaciones ambientales esta región es una de las zonas agrícolas más productivas del país, la cual participa con el 29% del valor de la producción de hortalizas con relación al resto del país (Avendaño & Varela, 2010). Lo anterior como resultado de la asociación entre los productores con empresas distribuidoras internacionales de frutas y hortalizas, lo cual ha favorecido ventajas competitivas locales, básicamente en materia de costos e infraestructura que permite comercializar un elevado volumen de productos a nivel local e internacional (Zloliniski, 2011). Sin embargo, en el Noroeste de México, en estados como Baja California, la producción agrícola puede verse afectada por los costos, eficacia e impacto del uso de agroquímicos que son empleados para el control de diversos fitopatógenos como hongos, virus e insectos, que pueden ocasionar importantes pérdidas durante en los cultivos (González-Soto *et al.*, 2017).

Esto ha generado que los productores incorporen en sus sistemas de producción alternativas sustentables que permitan ayudar a controlar la incidencia de fitopatógenos, como el uso de bioplaguicidas formulados con microorganismos con actividad antagónica (Tranier *et al.*, 2014). En donde la eficacia de los productos microbianos usados como agentes de biocontrol, depende de su grado de especificidad con respecto a los patógenos y condiciones ambientales en donde se utilizan (Amatuzzi *et al.*, 2017). De tal forma, que la eficacia del agente de control biológico comercial empleado representa un punto crítico para mejorar su adopción por los productores en los diferentes sistemas de producción (Benintende, 2010).

En Baja California, especialmente en el valle de Mexicali, los productores, asesores agrícolas y las autoridades gubernamentales, se enfrentan al hecho de que existe una limitada información sobre la eficacia de productos microbianos comerciales usados como agentes de biocontrol contra los hongos fitopatógenos que afectan a los cultivos de la región. De tal forma, que el objetivo del presente estudio fue determinar viabilidad celular, capacidad antagónica contra *Alternaria alternata*, *Macrophomina sp.*, *Fusarium solani*, *Botrytis sp.* Así como el cumplimiento de los criterios de rotulación de etiqueta de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-182-SSA1-2010, de ocho inoculantes comerciales con acción de control biológico comercializados en Baja California, México.

Materiales y Métodos

Se realizó la selección de ocho inoculantes comerciales que se distribuyen en Baja California México. Los productos fueron transportados para su análisis en el laboratorio de biotecnología agrícola del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, México. Previamente a su análisis biológico, los productos fueron clasificados con base a su procedencia, tipo de organismos (hongos o bacterias) y nombre comercial (Tabla 1).

Evaluación de viabilidad de los inoculantes

La viabilidad de los ocho productos microbianos se determinó utilizando el método de conteo en placa de acuerdo con lo reportado por Aloo *et al.* (2022). Para lo cual, se formularon diluciones de cada producto en medio de cultivo para hongos (Agar Dextrosa

Papa) y bacterias (Agar Nutritivo). Los resultados fueron expresados como número

de unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g).

Tabla 1

Procedencia y tipo de inoculantes evaluados

Inoculante	Tipo de organismo	Empresa	Procedencia
BIOBEN	<i>Trichoderma harzianum</i>	Agrícola innovación	México, D.F.
T-22	<i>Trichoderma harzianum rifai</i>	Plant Health Care de Mexico	México, D.F.
Funqui	<i>Trichoderma viride cepa Qo7</i>	SinQuímica	Ahome, Sinaloa
Agroderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	LabsaBio	Culiacan, Sinaloa
Bio-Tilis	<i>Bacillus subtilis</i>	Vergel	Mexico, D.F.
Enerbac	Complejo de 13 bacterias benéficas	Agrícola innovación	México, D.F.
Fus-Out	<i>Trichoderma harzianum</i>	Vergel	México, D.F.
Bacillus 1537	<i>Bacillus stearotemphillus</i>	LabsaBio	Culiacan, Sinaloa

Nota. Elaboración propia.

Además, se determinaron para cada producto, el cumplimiento de los siguientes criterios de rotulación de etiqueta: 1) registro sanitario, 2) número de lote y 3) fecha de caducidad, teniendo en cuenta los protocolos establecidos en el manual de procedimientos técnicos para el control de calidad de inoculantes de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana **NOM-182-SSA1-2010**.

Evaluación de la capacidad antagónica de los inoculantes a base de bacterias

El efecto antagónico se determinó mediante bioensayos *in vitro* siguiendo la metodología de cultivo dual acuerdo a lo propuesto por Kunova *et al.* (2016). Para esto, los hongos fitopatógenos, se sembraron previamente en medio Agar Dextrosa Papa (APD) y se incubaron durante siete días a 30°C. Los aislados bacterianos se sembraron en caldo nutritivo durante 24 horas, en condiciones de agitación a 150 rpm y temperatura de 30°C. La concentración celular se ajustó a 10⁸ cel/mL, para inocular superficialmente cuatro puntos de la caja Petri y colocando en la parte media un fragmento del hongo patógeno previamente crecido utilizando un obturador de 5 mm de

diámetro. Finalmente, las cajas inoculadas se incubaron a 30°C con tres réplicas por aislado. La actividad antagónica de los aislados se determinó a través de la medición del diámetro de crecimiento del hongo fitopatógeno en presencia del antagonista bacteriano a los 9 días. Como control negativo se utilizaron tres placas donde se encontraban solamente los hongos. Con las mediciones obtenidas se procedió al cálculo del porcentaje de inhibición de acuerdo con lo propuesto por Matar *et al.* (2009).

Evaluación de la capacidad antagónica de los inoculantes a base hongos

Para comprobar la capacidad antagónica de los productos a base de hongos, se procedió colocar por triplicado los hongos antagonistas y fitopatógenos en cada extremo de la caja de Petri, con un disco de 5 mm de APD (Younesi *et al.*, 2021). La inhibición del crecimiento fue evaluada por nueve días con muestreos cada 72 horas. Se consideraron tres repeticiones para cada enfrentamiento y un grupo testigo. El porcentaje de inhibición se estimó con base en la diferencia obtenida entre el crecimiento obtenido de patógeno confrontado con la

cepa antagonica y el crecimiento de la cepa del respectivo patógeno sin antagonista a los nueve días (Maciel *et al.*, 2014).

Análisis estadísticos

Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza a las variables de los experimentos y se aplicó la prueba T de Student utilizando el programa Statistica para Window versión 6.0.

Resultados y Discusión

Una de las principales limitaciones en la producción intensiva en el Noroeste de México, es la dependencia en el uso de agroquímicos (Moreno-Ramírez *et al.*, 2015). Por lo que el empleo de microorganismos puede ser una alternativa biotecnológica para el control de enfermedades en el valle de Mexicali (Vargas-Bejarano *et al.*, 2012). En el presente estudio se encontró que los productos evaluados provienen de diferentes zonas geográficas que difieren de las condiciones ambientales de Baja California, especialmente en el valle de Mexicali (Tabla 1). Lo anterior puede representar un riesgo a corto y mediano plazo a la diversidad microbiana nativa presente en los suelos de la región. Esto debido a que las poblaciones de microrganismos benéficos

nativos pueden verse desplazados, por la acción de microorganismos de otras regiones (Han *et al.*, 2006).

Según Cornell *et al.* (2021) recientes estudios muestran que los productos biológicos como los inoculantes pueden influir indirectamente en el rendimiento de los cultivos a través de cambios en la diversidad microbiana del suelo. Por lo que es importante considerar el microbioma del suelo al evaluar la eficacia de los inoculantes y su impacto al edafosistema. En cuanto a la información sobre los criterios de rotulación de etiqueta, en el empaque de cada producto evaluado, como: 1) registro sanitario, 2) número de lote y 3) fecha de caducidad. Los resultados mostraron que los inoculantes Agroderma, Bacillus 1537 y Fus-Out, no presentaron registro sanitario (Tabla 2). Siendo únicamente el producto T-22 el que cumplió con el 100% de los criterios específicos de rotulación de etiqueta. Aun cuando existe un potencial en el uso de inoculantes microbianos en México, son pocos los trabajos que registren el cumplimiento de la normatividad vigente en los bioinsumos que se venden en el país. A diferencia de países como Colombia y Argentina quienes han documentado estudios sobre la calidad de inoculantes y su apego con la normatividad exigida por las instituciones gubernamentales de cada uno de los países antes mencionados (Benintende, 2010; Zambrano-Moreno *et al.*, 2015).

Tabla 2

Criterios específicos que debe presentar la etiqueta

PRODUCTO	Registro Sanitario	Número de Lote	Fecha de Caducidad
Agroderma	No presenta	+	+
Bioben	+	+	No es precisa
T-22	+	+	+
Enerbac	+	+	No es precisa
Fus-Out	No presenta	+	+
Bacillus 1537	No presenta	+	+
Funqui	+	+	No es precisa
Bio-Tilis	+	+	+

Nota. Elaboración propia.

Por otra parte, la pureza de los inoculantes evaluados indicaron que los valores de UFC/g o UFC/mL, fueron inferiores a lo indicado por las etiquetas de estos productos biológicos comerciales a partir de la dilución 10^{-3} (Tabla 3). Adicionalmente, el 28% de los productos mostró la presencia de contaminantes, principalmente microorganismos diferentes a los indicados. Siendo T-22 y Agroderma, los que mostraron colonias no identificadas. Similares resultados han sido previamente reportados en Tabla 3

Valores de UFC presente en los inoculantes comerciales evaluados

PRODUCTO de la casa agrícola	UFC/gr	UFC/ mL	Log ₁₀ UFC/g	Log ₁₀ UFC/mL
Agroderma	NP	1x10 ⁸ /4.2x10 ⁵	NP	5.62
Bioben	1x10 ⁷ /5.1x10 ⁵	NP	5.7	NP
T-22	1x10 ⁷ /1.02x10 ⁶	NP	6.00	NP
Enerbac	NP	1x10 ² /1.06x10 ⁶	NP	6.02
Bio-Tilis	NP	1x10 ⁷ / 1.04x10 ⁵	NP	5.02
Bacillus 1537	NP	1 x10 ¹¹ / 2x10 ⁶	NP	6.30
Funqui	NP	1 x10 ⁸ / 7x10 ³	NP	3.84
Fus-Out	NP	1 x10 ⁷ / 5x10 ⁴	NP	4.69

Nota. NP: no aplica; valores en rojo corresponde a lo marcado por el fabricante.

No obstante, específicamente en el valle de Mexicali, los estudios son escasos, por lo que controles de fabricación y comercialización son necesarios para asegurar la calidad de los productos que se comercializan. Es importante indicar que el desarrollo de inoculantes eficientes involucra aspectos como escalamiento, almacenamiento, conservación y evaluación de su eficiencia *in vitro* y en *in vivo* en condiciones similares en donde se pretende emplear (Timmusk *et al.*, 2017). En este aspecto los resultados de antagonismos mostraron que los productos formulados a base de bacterias antagonicas: Bacillus 1537 de LabsaBio, Enerbac, y Bio-Tilis, presentaron efectos diversos sobre el crecimiento de los siguientes hongos fitopatógenos, *Alternaria alternata*, *Macrophomina sp.*, *Fusarium solani*, *Botrytis sp.* (Figura 1). En donde los productos a base de bacterias mostraron poco efecto contra *Fusarium solani*. El producto formulado a base de Bacillus 1537

otros países, por ejemplo, Gómez *et. al.* (1997) evaluaron inoculantes comerciales provenientes de diversas compañías de Argentina y señalaron que la calidad promedio era pobre. Sin embargo, Benintende (2010) encontró que el 76% de los productos evaluados superó la cantidad de microorganismos indicados por el productor. Lo que sugiere que se ha mejorado la calidad de los productos ofrecidos en el mercado argentino de inoculantes, aunque la situación aún no es ideal.

de LabsaBio fue el único que presentó un efecto significativamente ($P \leq 0.05$) inhibitorio en los patógenos evaluados (Figura 1).

En el caso de los productos Enerbac y Bio-Tilis, la información que presentan sus fichas técnicas no concuerdan con los resultados obtenidos en el presente estudio, específicamente contra *Fusarium solani*. Estos resultados fueron superiores al registrado por los productos formulados a base de hongos micoparásitos. De los cuales, solo el producto Funqui, presentó la capacidad de inhibir el crecimiento significativamente ($P \leq 0.05$) de todos los hongos fitopatógenos evaluados en un 50%. Los demás productos Fus-Out, Agroderma y Bioben mostraron efectos de inhibición significativos ($P \leq 0.05$) en los patógenos *Botrytis sp.* (60 %), *Fusarium solani* (60%) y *Alternaria alternata* (50%), en donde se observó el mayor efecto de inhibición (Figura 2).

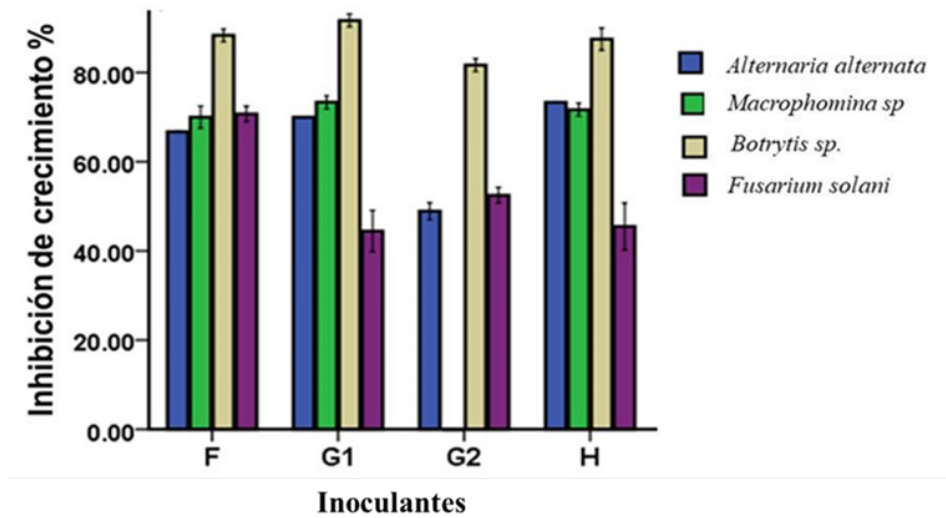


Figura 1

Efecto inhibitorio de las bacterias aisladas de los productos Bacillus 1537 (F), Enerbac (G1 y G2) y Bio-Tilis (H) sobre diferentes hongos fitopatógenos.

Fuente: Elaboración propia.

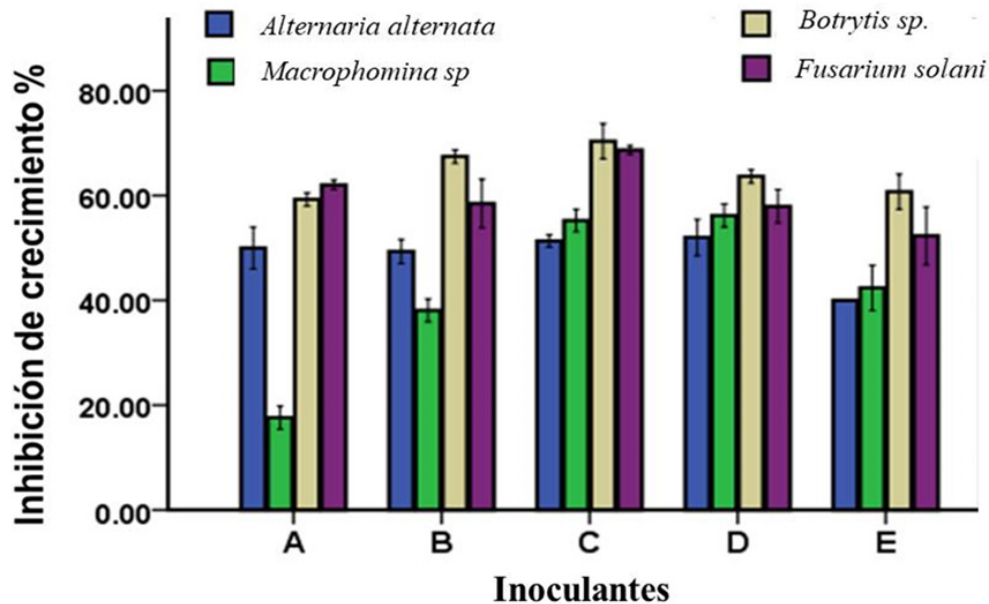


Figura 2

Efecto inhibitorio de los hongos aislados de los productos Agroderma (A), Fus-Out (B), Funqui (C), Bioben (D) y T-22 (E), sobre diferentes hongos fitopatógenos.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el producto T-22, fue el que menor efecto de inhibición presentó frente a todos los patógenos evaluados. Los resultados de antagonismo de los diferentes productos evaluados mostraron que en el caso del patógeno *Alternaria alternata* y *Fusarium solani* únicamente, el producto Funqui a base de *Trichoderma viridie* resultó ser el que mayor

efecto antagonico presentó. Por otra parte, la mayoría de los productos mostraron un efecto inhibitorio importante sobre *Botrytis* al inhibir el crecimiento arriba del 60%. En contraste, los productos a base de hongos antagonicos presentaron poco efecto en la inhibición de *Macrophomina phaseolina* (Figura 2).

Conclusiones

Actualmente se cuenta con una amplia presencia de inoculantes comerciales en Baja California, específicamente en el Valle de Mexicali. En el presente estudio únicamente un producto biológico cumplió con los criterios de rotulación de etiqueta. En el caso de la capacidad de inhibición los productos denominados Bacillus 1537 y Funqui fueron los únicos que presentaron un mayor grado de inhibición de hongos fitopatógenos, con respecto a los otros productos evaluados. El poder evaluar la calidad biológica de los inoculantes, es una herramienta que permite poder hacer más eficiente su empleo en Baja California, en el sitio de estudio. Futuros estudios deben ser encaminados a evaluar el impacto positivo o negativo que tienen los inoculantes comerciales sobre la biodiversidad microbiana del suelo en donde son aplicados.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Baja California y a SEDAGRO-Baja California por el apoyo otorgado para la realización del proyecto.

Referencias

- Aloo, B.N., Mbega, E.R., Makumba, B.A. y Tumuhairwe, J. B. (2022). Effects of carrier materials and storage temperatures on the viability and stability of three biofertilizer inoculants obtained from potato (*Solanum tuberosum* L.) rhizosphere. *Agriculture*, 12 (2): 140. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020140>
- Amatuzzi, R.F., Cardoso, N., Poltronieri, A.S., Poitevin, C.G., Dalzoto, P., Zawadeneak, M.A. y Pimentel, I.C. (2018). Potential of endophytic fungi as biocontrol agents of *Duponchelia fovealis* (Zeller) (*Lepidoptera:Crambidae*). *Brazilian Journal of Biology*, 78 (3):429-435. <https://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.166681>
- Avendaño, B. y Varela, R. (2010). La adopción de estándares en el sector hortícola de Baja California, México. *Estudios Fronterizos*, Nueva
- Época. 21(11):171-202. <https://doi.org/10.21670/ref.2010.21.a06>
- Benintende, S. (2010). Calidad de inoculantes comerciales para el cultivo de soja en la Argentina: concentración de rizobios viables y presencia de contaminantes. *Revista Argentina de Microbiología*, 42 (2): 129-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=213014892013>
- Cornell C., Kokkoris V., Richards, A., Horst, C., Rosa, D., Bennett, J.A. y Hart, M.M. (2021). Do Bioinoculants Affect Resident Microbial Communities? A Meta-Analysis. *Frontier Agronomy*, 3: 753474. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.753474>
- Gómez M.A., Silva, N., Hartmann A., Sagardoy, M.A. y Catroux, G. (1997). Evaluation of commercial soybean inoculants from Argentina. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 13:167-173. <https://doi.org/10.1023/A:1018533629378>
- González-Mendoza, D., Torrentera-Olivera, N.G., Ceceña-Duran, C. y Grimaldo-Juarez O. (2015). Water as contamination source of *Salmonella* and *Escherichia coli* in vegetable production in Mexico: A review. *Revista Bio Ciencias*, 3:156-162. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.03.03.02>
- González-Soto, T.E., Moreno-Ramírez, L., Troncoso-Rojas, R., González-Mendoza, D., Sánchez-Estrada, A., Grimaldo Juárez, O., Tzinzun-Camacho, O. y Ceceña-Durán, C. (2017). Inoculación de *Trichoderma longibrachiatum* en algodón transgénico: Cambios en compuestos fenólicos y enzimas de estrés oxidativo. *Idesia (Arica)* 35 (1): 19-24. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000005>
- Han, H.S., Supanjani E. y Lee, K.D. (2006). Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant Soil Environment*, 52 (3):130-136. <https://doi.org/10.17221/3356-PSE>
- Kunova, A., Bonaldi, M., Saracchi, M., Pizatti, C., Chen, X. y Cortesi, P. (2016). Selection of *Streptomyces* against soil borne fungal pathogens by a standardized dual culture assay and evaluation of their effects on seed germination and plant growth. *BMC Microbiology*, 16: 272. <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0886-1>
- Maciel, C. G., Walker, C., Muniz, M.F. y Araújo, M. M. (2014). Antagonismo de *Trichoderma* SPP. E *Bacillus subtilis* (UFV3918) a *Fusarium sambucinum* em *Pinus elliottii* engelm. *Revista Arvore*, 38 (3): 505-512. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300013>
- Matar, S.M., El-Kazzaz, S.A., Wagih E.E., El-Diwany, A.I., Moustafa, H.E., Abo-Zaid, G.A., Abd-Elsalam, H.E. y Hafez, E.E. (2009). Antagonistic and inhibitory effect of *bacillus subtilis* against

certain plant pathogenic fungi. *Biotechnology*, 8 (1): 53-61. <https://doi.org/10.3923/biotech.2009.53.61>

Moreno-Ramírez, L., González-Mendoza, D., Cecena-Duran, C. y Grimaldo-Juarez, O. (2015). Molecular identification of phosphate-solubilizing native bacteria isolated from the rhizosphere of *Prosopis glandulosa* in Mexicali valley. *Genetic and Molecular Research*, 14 (1):2793-2798. <https://doi.org/10.4238/2015.March.31.9>

Timmusk, S., Behers, L., Muthoni, J., Muraya, A. y Aronsson, A.C. (2017). Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 8 (49). <http://doi.org/10.3389/fpls.2017.00049>

Tranier, M.S., Pognant-Gros, J., De la Quiroz, R., Aguilar, C.N., Mateille, T. y Roussos, S. (2014). Commercial biological control agents targeted against plant-parasitic root-knot nematodes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 57(6) :831-841. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201402540>

Vargas-Bejarano, E., Méndez-Trujillo, V., Vázquez-Angulo, J.C., González-Mendoza, D. y Grimaldo-Juarez, O. (2012). Cambios fisiológicos en algodón transgénico inoculado con *Trichoderma* spp. *Phyton (Buenos Aires)*, 81(1):101-105. <http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol81/13-VARGAS-BEJARANO.pdf>

Younesi, H., Bazgir, E., Darvishnia, M. y Chehri, K. (2021). Selection and control efficiency of *Trichoderma* isolates against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* in Iran. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 116 :101731. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101731>

Zambrano-Moreno, D.C., Ramón-Rodríguez, L.F., Van Strahlen-Pérez, M. y Bonilla-Buitrago, R.R. (2015). Industria de bioinsumos de uso agrícola en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18 (1): 59-67. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.445>

Zolniski, C. (2011). Water flowing north of the border: export agriculture and water politics in a rural community in Baja California. *Cultural Anthropology*, 26:565-88. <https://doi.org/10.1111/j.1548-1360.2011.01112.x>

Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados

Antioxidant capacity: concepts, quantification methods and use for tropical fruits and derived products characterization

José David Mejía-Reyes¹  Karina Elizabeth García-Cabrera² 

Gamaliel Velázquez-Ovalle³  Alfredo Vázquez-Ovando⁴ 

¹Universidad Autónoma de Chiapas  jdmr94@outlook.com

²Universidad Autónoma de Chiapas  karina.garcia70@unach.mx

³Universidad Autónoma de Chiapas  gamavlz@gmail.com

Universidad Autónoma de Chiapas  jose.vazquez@unach.mx

Recibido: 01/10/2021 Aceptado: 13/10/2021

Resumen La capacidad antioxidante se ha convertido en una característica ampliamente demandada en los alimentos contemporáneos. El conocimiento de las moléculas que imparten esta actividad, así como los alimentos donde pueden encontrarse de manera natural, aporta información para el correcto aprovechamiento de estas importantes sustancias. Sin embargo, aún hoy día, los métodos para medir la capacidad antioxidante *in vitro* siguen poco unificados. Aunque existen al menos tres métodos universalmente utilizados, las unidades en la que se expresan los resultados son heterogéneas, lo que dificulta un poco la comparación certera entre muestras de naturaleza similar. El objetivo del presente artículo fue realizar una revisión sobre aspectos fundamentales de la capacidad antioxidante, con énfasis en las moléculas responsables de tal actividad y los métodos disponibles para cuantificarla. Adicionalmente, dado que los alimentos de origen vegetal son la principal fuente natural de compuestos antioxidantes, se incluyen reportes de estudios que cuantifican la capacidad antioxidante de frutos tropicales y de productos o coproductos de éstos..

Palabras clave: ABTS, antioxidantes, alimento funcional, frutas tropicales, DPPH, FRAP, Trolox.

Abstract Antioxidant capacity has become a widely demanded feature in actually foods. The knowledge of the molecules that contribute this activity, as well as the natural foods where they can be found, provides information for the correct use of these important substances. However, even today, methods for measuring antioxidant capacity *in vitro* remain poorly unified. Although there are at least three universally used methods, the units in which the results are expressed are heterogeneous, which makes accurate comparison between samples of a similar nature somewhat difficult. This review includes a review of basic aspects of antioxidant capacity, with an emphasis on the molecules responsible for such activity and the methods available to quantify it. Additionally, given that foods of plant origin are the main natural source of antioxidant compounds, a brief review is made of studies that quantify the antioxidant capacity of tropical fruits and their products or co-products.

Keywords: ABTS, antioxidants, functional food, DPPH, FRAP, superfruits, Trolox.

Introducción

Los radicales libres son especies químicas que poseen electrones desapareados, por lo que son muy reactivos y tienden a tomar electrones de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica. La vida media del radical libre es de microsegundos, pero en los organismos vivos, tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando gran daño a moléculas, membranas celulares y tejidos. Además, cuando los radicales se producen en cantidades excesivas o se acumulan durante años, principalmente debido a contaminantes externos, tienden a deteriorar la salud del organismo vivo (Goodarzi *et al.*, 2018).

También existen otras moléculas no radicales que son agentes oxidantes y/o son fácilmente convertidos a radicales, las cuales se denominan de manera genérica, especies reactivas del oxígeno (ERO). Las ERO incluyen una serie de derivados del oxígeno molecular que se producen de manera regular como parte de la vida aeróbica; pero cuando el aumento del contenido intracelular de ERO sobrepasa las defensas antioxidantes de la célula se produce estrés oxidativo, mediante el cual se produce daño a lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Sies & Jones, 2020). El estrés oxidativo se presenta en diversos estados patológicos en los cuales se altera la funcionalidad celular, contribuyendo o retroalimentando el desarrollo de enfermedades degenerativas como la aterosclerosis, cardiomiopatías, enfermedades neurológicas, cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares, enfermedades autoinmunes, trastornos neurodegenerativos, envejecimiento, hipertensión, Parkinson, Alzheimer, síndrome de dificultad respiratoria aguda y otras enfermedades (Sies, 2020).

Ante el constante incremento de agentes oxidativos, muchos sistemas biológicos no

pueden compensar de manera autónoma el balance de oxidantes - antioxidantes, por lo que se vuelve necesario ingerir antioxidantes. Un antioxidante es una sustancia capaz de neutralizar la acción oxidante de los radicales mediante la liberación de electrones al medio u otro mecanismo. Generalmente, los antioxidantes son moléculas pequeñas ya sea de origen endógeno y/o exógeno. Los endógenos son aquellos que a causa de la exposición a los radicales libres se desarrollan dentro del organismo, tal es el caso de la remoción a través de la catálisis de radicales por diferentes enzimas como la catalasa y superóxido dismutasa (sistema de defensa enzimático) (Gulcin, 2020); mientras que los exógenos provienen de los alimentos que se ingieren con la dieta como la vitamina E, vitamina C y carotenoides. Otro grupo de moléculas importantes que pueden obtenerse de manera exógena son los compuestos fenólicos (isoflavonas, flavonoides, quercetina, etc.). Por esta razón, la forma más eficiente de suplir los antioxidantes para proteger al organismo del efecto oxidativo producido por los radicales libres es el consumo de alimentos ricos en estos, que permitan amortiguar los efectos causados al daño celular (Bjørklund & Chirumbolo, 2017).

Los frutos son tradicionalmente conocidos como alimentos ricos en antioxidantes, existen una gran cantidad de reportes que muestran los contenidos de compuestos antioxidantes, pero la gran mayoría de los estudios se centran en frutos de regiones templadas, los cuales por su composición química aportan considerablemente a la actividad antioxidante. Son menos los reportes de las sustancias antioxidantes y de la capacidad antioxidante de frutos cosechados en regiones tropicales, o de productos que pueden elaborarse a partir de éstos.

Aunado a lo anterior, hoy día es todavía común encontrar poco consenso sobre cuál o cuáles métodos son los más apropiados para evaluar la actividad antioxidante. Existe también diversidad en la forma de presentar los resultados, lo cual muchas veces complica las comparaciones o incluso las interpretaciones de lo que es la capacidad antioxidante.

Por lo anterior, el objetivo de esta revisión es primeramente hacer un análisis amplio sobre los compuestos responsables de la actividad antioxidante; así como los principales métodos usados para su determinación; posteriormente presentar un resumen de los frutos cultivados en ambientes tropicales y de productos obtenidos de éstos con mayor aporte a la capacidad antioxidante.

Metodología

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica en torno al objetivo. Como palabras clave de búsqueda (tanto en inglés como español) fueron utilizadas, “a saber”, “capacidad antioxidante”, “superfrutas”, “alimentos funcionales”, “DPPH”, “FRAP”, “ABTS”, “frutos tropicales”, “mecanismos antioxidantes”. Como motores de búsqueda se emplearon Google Scholar, Scopus y ScienDirect. Para la selección de los artículos revisados, se establecieron dos criterios: los artículos más relevantes (sin importar el año de publicación) y los artículos más recientes (2015 a la fecha). Con estos criterios se incluyeron alrededor de 250 artículos, los cuales fueron analizados preliminarmente en el resumen y las conclusiones. Después del análisis preliminar del aporte del artículo, se seleccionaron los 108 artículos incluidos en la revisión. Estos, se recopilaron y clasificaron según la temática y se cargaron en el gestor de citas Mendeley para facilitar el proceso de citación. Posteriormente, se realizó la lectura

crítica, la escritura de los encabezados y, finalmente la redacción del manuscrito.

Resultados y discusiones

Sustancias con actividad antioxidante

Las reacciones de reducción/oxidación son reacciones esenciales en los sistemas biológicos, en el organismo humano se adquiere el oxígeno del aire para la oxidación y para formar energía en forma de ATP. Sin embargo, el oxígeno es un elemento no metálico muy reactivo que forma fácilmente óxidos con la mayor parte de los elementos y compuestos. A pesar de tratarse de una reacción vital, durante la respiración pueden surgir inconvenientes cuando el flujo de electrones se desacopla generando electrones individuales no apareados, o bien conocidos como radicales libres (Maharramova *et al.*, 2018).

Los radicales libres son moléculas o iones con electrones no apareados inestables y activos en las reacciones químicas, ejemplo de ello son las especies reactivas de oxígeno (ERO) y de nitrógeno (ERN), tales como el superóxido, hidroxilo, peróxido, el alcóxido y el óxido nítrico, quienes rápidamente atacan las moléculas de las células cercanas, causando daño inevitable y contribuyendo a la presencia de enfermedades como el síndrome metabólico, cáncer, Alzheimer y problemas cardiovasculares (Fernando *et al.*, 2016). Estas especies reactivas se pueden producir de manera natural a partir del oxígeno atmosférico (Figura 1). Para contender con las adversidades que provocan, son requeridos los antioxidantes, los cuales actúan retrasando o previniendo los procesos oxidativos que dañan a las células.

Entre los principales antioxidantes se encuentran los eliminadores de radicales libres, inhibidores del oxígeno *singlete*, inactivadores

de peróxidos y otras ERO, quelantes de iones metálicos, inhibidores de productos de oxidación secundaria e inhibidores de enzimas pro-oxidativas (Wilson *et al.*, 2017). A grandes rasgos, dependiendo del mecanismo de acción se pueden clasificar como antioxidantes primarios y secundarios; los primarios (como los tocoferoles y compuestos fenólicos) promueven la inhibición de la reacción en

cadena de la oxidación, donando hidrógeno o aceptando radicales libres y promoviendo una generación de radicales más estables; los antioxidantes secundarios evitan o retrasan la oxidación eliminando los promotores de la misma, como los iones metálicos, el oxígeno *singlete*, las enzimas pro oxidantes y otros oxidantes (Wilson *et al.*, 2017).

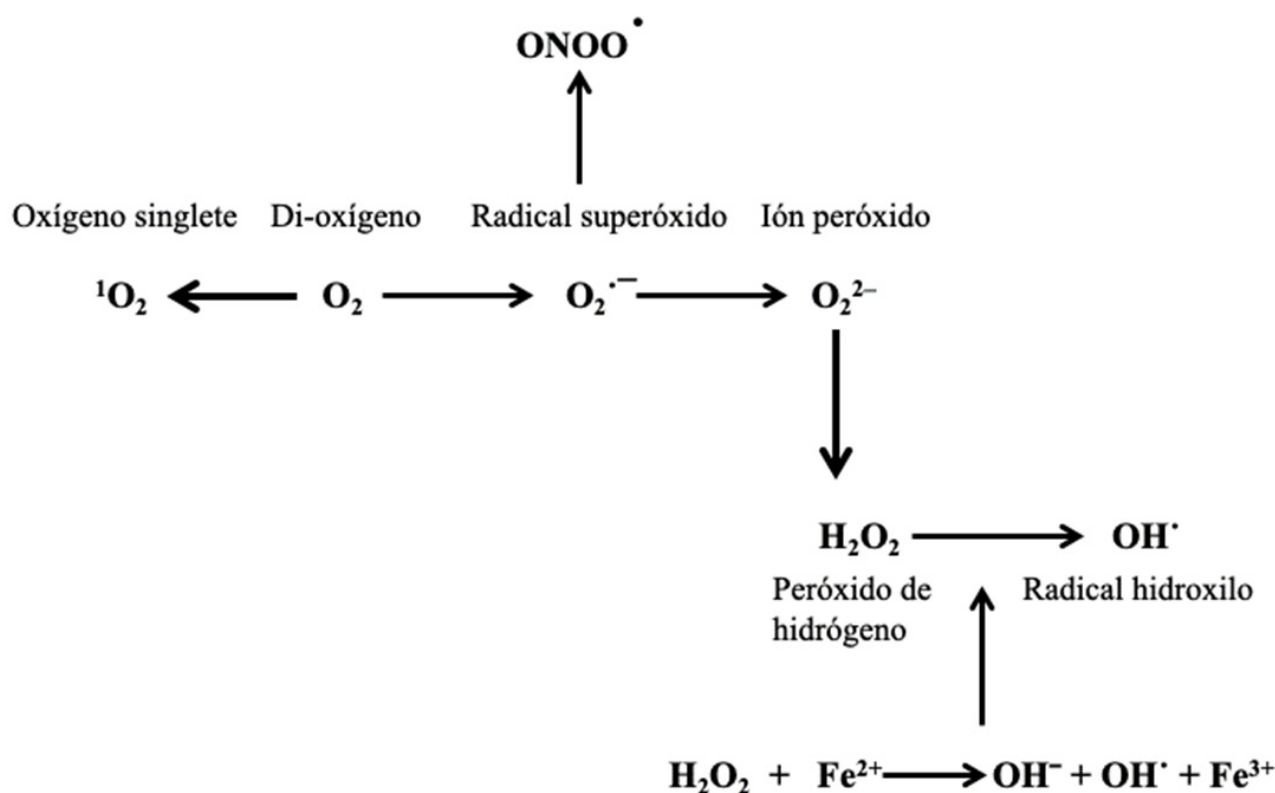


Figura 1

Formación de diferentes especies reactivas de oxígeno (ERO) y especies reactivas de nitrógeno (ERN) a partir del oxígeno atmosférico

Nota: El oxígeno atmosférico (di-oxígeno; O_2) experimenta excitación o reducción para formar oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$) o radical superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), respectivamente. El superóxido se dismuta para formar peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y el peróxido de hidrógeno interactúa con Fe^{2+} y forma radicales hidroxilo ($\text{OH}^{\cdot}$) a través de la reacción de Fenton. Mittler (2017).

Los organismos vivos han desarrollado una serie de mecanismos de defensa, incluyendo la remoción a través de la catálisis de radicales por diferentes enzimas (sistema de defensa enzimático); unión de proteínas a metales que favorecen la oxidación, como el hierro y cobre; protección contra el daño, como las proteínas de choque térmico y, estabilización de radicales libres con donadores de protones o electrones como es el glutatión, vitamina E

y C, bilirrubina y ácido úrico (antioxidantes no enzimáticos) (Dröge, 2002). Se pueden diferenciar en función de su origen, los de origen endógeno, que incluye a las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPX) y compuestos no enzimáticos como el glutatión, compuestos de bajo peso molecular como el ácido úrico, coenzima Q y ácido lipoico. Entre los exógenos (ingresan al organismo a través de la dieta y

son no enzimáticos) como la vitamina C, la vitamina E, los betacarotenos, flavonoides, licopenos, fitoestrógenos, polifenoles, glutatión, ácido úrico, ubiquinol, malatonina (Londoño, 2012).

Vitamina E. Es el término colectivo para una serie de isómeros con diversa capacidad antioxidante, incluye cuatro tocoferoles y cuatro tocotrienoles (α -, β -, γ - y δ). Estas formas difieren en el número y la posición de los grupos metilo en la estructura del cromanol, todos se encuentran en los alimentos, pero sólo el α -tocoferol permite abastecer la necesidad de esta vitamina, por lo que se reconoce como la vitamina E (Lee & Han, 2018). Siendo uno de los antioxidantes lipídicos, sino el más importante, gracias a su capacidad para captar el oxígeno, la actividad antioxidante de la vitamina E se centra específicamente en la inhibición de la peroxidación lipídica causada por los radicales libres, teniendo lugar en los fosfolípidos de la membrana celular, lipoproteínas, tejido adiposo, cerebro y en todos los tejidos que contengan una alta proporción de ácidos grasos polinsaturados (Traber & Atkinson, 2007; Wang *et al.*, 2017).

La actividad antioxidante de la vitamina E es una de las primeras barreras de la peroxidación de los ácidos grasos poliinsaturados. Los fosfolípidos de la membrana mitocondrial, del retículo endoplasmático y plasmática poseen afinidades para el α -tocoferol, por lo que está muy concentrado en estos sitios (Zou *et al.*, 2016). El α -tocoferol, es la forma más común de vitamina E, ha sido considerada como crioprotectora, factor sugerido por su actividad en la prevención de la inflamación y procesos degenerativos en el hígado, cuando este es expuesto a tóxicos, contaminación ambiental y factores de la dieta (Galli *et al.*, 2017; Hashem *et al.*, 2016).

Los tocoferoles actúan interrumpiendo reacciones de cadena con radicales como resultado de su capacidad de transferir el hidrógeno fenólico a un radical peróxilo, quedando, a la vez, en la forma de radical fenoxi o fenoxilo, en reacciones intermedias no reversibles que presuponen la transformación de la vitamina hasta su producto final inocuo (Viglianisi & Menichetti, 2019).

Vitamina C. La vitamina C es una vitamina soluble en agua que se considera un eliminador natural de radicales libres, se encuentra principalmente en cítricos (pulpa y la cáscara); incluye dos formas de ácido ascórbico con actividad antioxidante, el ácido L-ascórbico y L- ácido dehidro-ascórbico (Figura 1). Actúa en combinación con otros antioxidantes primarios como la vitamina E y los carotenoides, así como en conjunto con las enzimas antioxidantes, la mayoría de las plantas y animales sintetizan ácido ascórbico a partir de la glucosa y los humanos son incapaces de sintetizarlo y requieren obtenerlo de la dieta (Pehlivan, 2017).

El efecto antioxidante de esta vitamina está bien documentado, el mecanismo de acción incluye la inhibición de la formación de radicales superóxidos o de nitrosaminas durante la digestión; siendo un agente que reduce los radicales fenoxilo formados durante la actividad de la vitamina E, a través de la donación de un átomo de hidrógeno formando un radical relativamente estable y poco reactivo (ascorbilo). También actúa en combinación con otros antioxidantes primarios como la vitamina E y los carotenoides, así como en conjunto con las enzimas antioxidantes regenerando el α -tocoferol desde el radical α -tocoferilo en membranas y lipoproteínas (Kamal-Eldin & Budilarto, 2015). El ascorbato como antioxidante y cofactor de las reacciones redox, es importante en la activación de los

mecanismos epigenéticos que controlan la diferenciación celular, cuya desregulación puede conducir al desarrollo de ciertos tipos de cáncer (Fenech *et al.*, 2018).

Carotenoides. Son lípidos responsables de la pigmentación en animales, plantas y microorganismos, pero también desempeñan funciones importantes, a menudo críticas, en los sistemas biológicos, forman parte de la dieta diaria de los humanos, existen dos tipos de carotenoides: los carotenos, que no contienen oxígeno en sus anillos terminales y las xantofilas que si los tienen; son hidrocarburos que contienen generalmente 40 carbonos con un extenso sistema de dobles enlaces conjugados. Algunos carotenoides pueden tener 30 y 50 carbonos cuando estos son producidos por ciertas bacterias con diferentes vías intermediarias (Ribeiro *et al.*, 2018).

Esta característica particular (sistema de dobles enlaces) es la principal responsable de sus propiedades pigmentarias y de la capacidad de muchos de estos compuestos para interactuar con los radicales libres y el oxígeno *singlete* y, por tanto, actuar como eficaces antioxidantes. En las plantas se pueden encontrar esterificados o no esterificados (Abuajah *et al.*, 2015) y pueden ser clasificados como carotenos (α -, β -caroteno y licopeno), quienes sólo contienen una cadena de hidrocarburos sin ningún grupo funcional; mientras que los que llevan un grupo funcional que contiene oxígeno se denominan xantofilas (astaxantina, luteína, zeaxantina) (Ribeiro *et al.*, 2018).

Betacaroteno. En los vegetales, el betacaroteno es el carotenoide predominante. Las frutas y hortalizas como las zanahorias, mangos o la calabaza tienen altas concentraciones de betacaroteno, este contenido aumenta

con la maduración y es responsable de la intensificación del color aunado a la degradación de clorofila. Es un carotenoide con actividad de provitamina A. Esta tiene una alta capacidad antioxidante que favorece la prevención del cáncer, especialmente el de pulmón, boca y estómago. En el intestino se metaboliza para formar dos moléculas de retinaldehído en dos moléculas de vitamina A, mientras que la cantidad restante es reducida a retinol. Esta capacidad es exclusiva de algunos carotenos y no posee una relación directa con su potencial antioxidante (Ribeiro *et al.*, 2020). Su principal mecanismo de estabilización de radicales libres está determinado por su capacidad para estabilizar el oxígeno *singlete* y convertirlo nuevamente a su forma menos reactiva (triplete) (Young & Lowe, 2018).

Licopeno. Formado por ocho unidades de isopreno y 11 enlaces dobles lineales, el licopeno es un carotenoide no pro-vitamina A y posee una significativa actividad antioxidante y de carácter lipofílico (Kwatra, 2020; Yin *et al.*, 2019). Se encuentra abundantemente en el tomate y otros frutos (sandía, papaya o pomelo rosado) otorgando la coloración roja y naranja de algunas frutas y verduras, pero también se puede encontrar en algunas no rojas o no naranjas, como los espárragos y el perejil (Hedayati *et al.*, 2019). A diferencia del betacaroteno, este no se convierte en vitamina A. Su principal función es proteger el ADN, las proteínas y los lípidos contra la oxidación y puede actuar sobre otros radicales libres como el peróxido de hidrógeno, el dióxido de nitrógeno y los radicales hidroxilos (Imran *et al.*, 2020).

Xantofilas (luteína y zeaxantina). Las xantofilas son moléculas que poseen uno o más átomos de oxígeno en su estructura; la función principal de estos pigmentos es evitar la formación de radicales libres y moléculas oxidativas causantes de diversos daños a

las membranas de las células de los ojos. Esta capacidad se atribuye al grupo ceto, en conjugación con el esqueleto de polieno, al cual se considera que estabiliza los radicales centrados en carbono de manera más efectiva que el esqueleto de polieno por sí solo. Algo que distingue a estas xantofilas de otros carotenoides como el α y β caroteno es que no son precursores de la vitamina A (Sy *et al.*, 2015) por lo tanto no pueden convertirse en retinol.

La zeaxantina es un carotenoide oxigenado, perteneciente a los pigmentos isoprenoides, la zeaxantina y la luteína son isómeros según sus estructuras químicas y una intervención enzimática. Zeaxantina se encuentra de manera abundante en las verduras de hoja verde, flores, frutas y maíz amarillo como un pigmento liposoluble (Saini & Keum, 2018). Es un colorante natural que se desempeña en el mantenimiento de la salud humana; por un lado, el tejido celular del cuerpo puede protegerse apagando el oxígeno y eliminando los radicales libres y, por otro lado, puede aliviar los daños causados por la peroxidación lipídica (Yunping *et al.*, 2020).

La luteína suele encontrarse en flores, cereales, frutas y verduras, como las espinacas y la col rizada (Yang *et al.*, 2018), esterificada o no esterificada con ácidos grasos, comúnmente con ácido palmítico (Abdel-Aal & Rabalski, 2015). Es el único carotenoide (aparte de la zeaxantina) que se encuentra principalmente en la mácula lútea del ojo, donde la luz es enfocada por el cristalino; debido al intenso color amarillo que presenta la luteína, se utiliza ampliamente como colorante alimentario natural (Rodríguez-Amaya, 2016), o para uso en industrias farmacéuticas, suplementos dietéticos, alimentos y piensos para animales (Ochoa-Becerra *et al.*, 2020). Generalmente coexiste en la naturaleza con su estereoisómero zeaxantina y los dobles

enlaces de la columna vertebral de isopreno pueden existir en sus conformaciones E/Z. En la naturaleza, el isómero geométrico más común de la luteína es su conformación E siendo termodinámicamente más estable que el cis (Yang *et al.*, 2018).

Minerales. Los minerales son un grupo de poderosos antioxidantes. El cobre, manganeso, selenio, zinc y hierro son ejemplos de minerales que ejercen función antioxidante en diversos procesos y pasos metabólicos en el organismo. El zinc es un biometal relativamente abundante en el cuerpo humano, participa en el metabolismo de las células y en el centro activo de más de 200 metaloproteínas (Psomas, 2020). Los compuestos simples de compuestos de zinc (II), como el óxido de zinc se utilizan en el tratamiento de infecciones y lesiones de la piel y del tratamiento de infecciones que causan diarrea incontrolable. Estos han sido probados *in vitro* por su efecto antidiabético, antiinflamatorio, antibacterianos, antiproliferativos y eliminadores de radicales (Tarushi *et al.*, 2017).

El cobre participa en funciones de carácter antioxidante como cofactor de las enzimas fenoloxidasas, ascorbato oxidasa, superóxido dismutasa (SOD) y participa en el transporte de electrones en las cadenas respiratoria y fotosintética. Potenciando el sistema inmunitario, en la formación de enzimas, proteínas y neurotransmisores, actúa como antioxidante, protegiendo las células de los efectos tóxicos de los radicales libres, y facilita la fijación del calcio y del fósforo (Singh *et al.*, 2017).

El manganeso es un oligoelemento vital para el funcionamiento del cuerpo humano, es funcional en los procesos redox y cofactor en las enzimas que son esenciales en la producción de energía, como la superóxido dismutasa de

manganeso (MnSOD), una enzima antioxidante que protege contra los daños provocados por los radicales libres (Kaya *et al.*, 2019), muchos complejos estructurales centrados en el hierro y el manganeso han sido estudiados en detalle para revelar su utilidad proporcionada por las propiedades redox (Nichols *et al.*, 2018).

El selenio interviene en la síntesis de enzimas relacionados con la función oxidativa, como el glutatión peroxidasa, que como su nombre indica elimina grupos peróxidos, incluyendo el peróxido de oxígeno, como oligoelemento esencial, desempeña un papel clave en el mantenimiento de la homeostasis redox, la defensa antioxidante, la función antitumoral y la regulación inmunológica para la salud humana y animal (Schomburg, 2017). Este mineral se incorpora a las proteínas en forma de selenoproteínas y, de este modo, ayuda a prevenir el daño celular; en la naturaleza existe en diferentes estados oxidativos (-2, 0, +4 y +6 de valencia) y formas químicas (selenito, selenato, selenio elemental, selenometionina/selenocisteína, etc.) (Xu *et al.*, 2018).

El hierro es un elemento esencial necesario para muchos procesos fisiológicos del cuerpo humano, entre ellos el transporte de oxígeno, transferencia de electrones, regulación de los genes, regulación del crecimiento, diferenciación celular y como cofactor en muchas reacciones enzimáticas. Forma parte del sistema antioxidante del organismo, ya que contribuye a eliminar grupos peróxidos. Sin embargo, su capacidad de cambiar de valencia fácilmente ($2^+/3^+$) hace que pueda también intervenir, dependiendo del medio, en la formación de radicales libres (Kumar *et al.*, 2017).

Compuestos fenólicos o polifenoles. Las plantas sintetizan una gran variedad de

metabolitos secundarios que contienen en su estructura un grupo fenol (anillo aromático con grupo hidroxilo), las cuales de manera genética reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides. Este grupo de metabolitos secundarios está conformado por diferentes estructuras químicas y actividad, lo que engloba a más de 8000 compuestos (Gordo, 2018), derivados de las vías de Shikimate y de los fenilpropanoides. Son objeto frecuente de investigación debido a sus diversas funciones; se les ha asociado con la asimilación de nutrientes, síntesis proteica, actividad enzimática, fotosíntesis, formación de componentes estructurales y la defensa ante los factores adversos del ambiente como la agresión por patógenos e insectos (Valencia-Avilés *et al.*, 2017).

Además de estas funciones, los polifenoles son reconocidos por su remarcada capacidad antioxidante; la cual depende del número y la disposición de los grupos hidroxilos en las moléculas de interés, no son antioxidantes activos a menos que la sustitución en la posición *orto* o *para* haya aumentado la densidad de electrones en el grupo hidroxilo y haya disminuido la energía del enlace oxígeno-hidrógeno, aumentando así la reactividad frente a los radicales libres de los lípidos (Gulcin, 2020).

Los polifenoles se pueden clasificar de muchas maneras debido a su diversidad estructural, según su estructura química hay 2 grandes grupos: flavonoides y no flavonoides. En el grupo de los flavonoides, se encuentran los flavonoles, flavonas, flavan-3-oles, isoflavonas, flavanonas, dihidroflavonoles, antocianidinas y chalconas. En contraste, el grupo de no flavonoides está conformado por ácidos hidroxibenzóicos, ácidos hidroxicinámicos, polifenoles volátiles, estilbenos y compuestos diversos (lignanós y cumarinas) (Valencia-Avilés *et al.*, 2017).

Flavonoides. Son la clase más abundante de polifenoles derivados de los aminoácidos aromáticos, fenilalanina y tirosina, estructuralmente consisten de dos anillos bencénicos (anillos A y B) unidos por un heterociclo piránico (anillo C). Para su estudio sistemático, los más de 4000 flavonoides descritos hasta ahora se han clasificado en varias clases de acuerdo con las variantes estructurales que presenta el anillo C. Los principales subgrupos de flavonoides son: flavonoles, flavonas, flavanonas, dihidroflavonas, isoflavonas, antocianidinas. De menor importancia son las chalconas, dihidrochalconas, DHF, flavan-3,4-dioles, cumarinas, biflavonoides y neoflavonoides (Zhang *et al.*, 2015).

Los flavonoles se encuentran repartidos en todos los alimentos de origen vegetal. Las cáscaras y hollejos de las frutas son particularmente ricos en estos compuestos proporcionando un ligero color amarillo a los tejidos vegetales. La estructura química que suelen poseer es 3- hidroxiflavona (3-hidroxi-2-fenilcromen-4-ona); se caracterizan por poseer un grupo ceto en el carbono C4 y una insaturación entre los carbonos C2 y C3. Poseen además un grupo hidroxilo adicional en el carbono C3. Entre los flavonoles más comunes se pueden nombrar el kaempferol, quercetina, isorramnetina y miricetina, presentándose en forma de glicósidos (Morales *et al.*, 2004).

Las flavonas son estructuralmente similares a los flavonoles, a diferencia de que las flavonas carecen del grupo hidroxilo en el carbono 3, estas poseen un anillo bencénico en el carbono C3 con grupos hidroxilos en C7 y C4, se caracterizan por un alto grado de diversidad química, debido a las modificaciones de la estructura química, que incluyen la hidroxilación, la glicosilación O-C, la metilación O y la acilación (Jiang *et al.*,

2016), siendo encontrados con regularidad en plantas leguminosas. En los vegetales son responsables del color de las flores, junto con los flavonoles, son los principales pigmentos de las flores de color blanco y crema y actúan como copigmentos con las antocianinas en las flores azules (Hostetler *et al.*, 2017). Debido a su capacidad para eliminar los radicales libres derivados del oxígeno, además de su probada capacidad antioxidante, las flavonas poseen propiedades antiinflamatorias, antialérgicas, antivirales, contra el cáncer y neuroprotectoras (Zhao *et al.*, 2019).

Las flavanonas constituyen una clase única de flavonoides, contienen varios glucósidos de tres agliconas principales: hesperitina, naringenina y eriodictiol. A diferencia de los flavonoles y las flavonas, que pueden encontrarse en diferentes alimentos, las flavanonas se presentan casi exclusivamente en cítricos y en menor medida, en tomates y algunas hierbas aromáticas (como la menta) (Pereira-Caro *et al.*, 2020). Generalmente, las flavanonas están glicosiladas por un disacárido en la posición siete o bien una neohesperidosa, lo cual les confiere un gusto amargo, como la naringina en el pomelo o la hesperidina en las naranjas (Li & Schluesener, 2015).

Por su parte, las isoflavonas se consideran como fitoestrógenos, debido a su similitud estructural con los estrógenos y la capacidad de unirse a los receptores estrogénicos (Křížová *et al.*, 2019). La estructura básica de la isoflavona consiste en un anillo bencénico en el carbono C3 con grupos hidroxilos en C7 y C4. Son compuestos que pueden presentarse tanto glicosilados o como agliconas, existen principalmente tres tipos de agliconas, dependiendo de los sustituyentes en los carbonos 5 y 6, llamados daidzeina, genisteina y gliciteina (Bustamante-Rangel *et al.*, 2018). Están ampliamente distribuidas dentro del reino vegetal, pero es más común

encontrarlas en la familia *Leguminosae*, destacando por su contenido la soya (Yu *et al.*, 2016). Las isoflavonas eliminan una amplia gama de especies reactivas de oxígeno, nitrógeno y cloro.

Las antocianidinas son las estructuras básicas de las antocianinas, conforman un grupo importante de pigmentos vegetales formando conjugados con azúcares y ácidos grasos para formar un grupo diverso en colores responsables de tonalidades azules, violeta, púrpura, rojo, escarlata y naranjas brillantes. Las más comunes son la pelargonidina, la cianidina, la delfinidina, la peonidina, la petunidina y la malvidina siendo la principal fuente de obtención de estas, las frutas, aunque se les puede adquirir en la dieta a través de los cereales, vinos y algunos vegetales (Valencia-Avilés *et al.*, 2017).

No flavonoides. Los ácidos hidroxicinámicos con un esqueleto C6-C3, se encuentran principalmente como ácido cumárico, cafeíco y ferúlico conjugados con ácido tartárico o ácido quínico y en raras ocasiones en estado libre (Philipov & Doncheva, 2013). Los hidroxicinamatos C6-C3 producidos como conjugados son denominados ácidos clorogénicos. Estos compuestos pueden acumularse hasta valores de 10% en granos de café y son la principal ingesta de fenólicos en consumidores regulares de esta bebida. Están presentes en alimentos como uvas y en vinos de uva tintos y blancos (Stevanovic *et al.*, 2009).

Los taninos hidrolizables como el ácido tánico y los elagitaninos son polímeros cuyo peso molecular varía entre 500 y 5000 Da. Se caracterizan por una parte central que consiste en un poliol (generalmente glucosa) donde las funciones hidroxilo están esterificadas con ácido gálico. Hay dos tipos de

taninos hidrolizables: a) los galotaninos cuya hidrólisis libera ácido gálico y sus derivados galloilados, así como b) los elagitaninos quienes liberan por hidrólisis al ácido gálico, elágico, hexahidroxidifénico, valónico y cuyos grupos galoil están conectados a través de enlaces C-C (Valencia-Avilés *et al.*, 2017).

El ácido gálico, vinílico y p-hidroxibenzoico son los ácidos hidroxibenzoicos más comunes. Estos compuestos orgánicos con un anillo fenólico y un grupo carboxílico asociado forman una estructura de tipo C6-C1 (Zhang *et al.*, 2015). La función del ácido 2-hidroxibenzoico o ácido salicílico en las plantas se asocia con la regulación del crecimiento endógeno y su participación en la regulación de varios procesos fisiológicos, como cierre de estomas, absorción de iones, inhibición de la biosíntesis de etileno y transpiración. Se encuentran muy frecuentemente en las frutas en forma de ésteres (Mercado-Ruiz *et al.*, 2019).

Los ácidos hidroxicinámicos se derivan del ácido cinámico, normalmente están presentes en plantas y frutas en forma de ésteres de ácidos orgánicos o glucósidos o unidos a proteínas y otras moléculas de la pared celular como celulosa, xilanos y lignina (López-Romero *et al.*, 2016). Se sintetizan mediante la vía del Shikimato, donde el aminoácido fenilalanina es el precursor en esta ruta, son usados por las plantas como defensa ante patógenos e insectos, con posibles efectos bioactivos y beneficios en humanos y animales cuando son utilizados como suplementos alimenticios (Peña-Torres *et al.*, 2019).

Los estilbenos son fitoalexinas que se obtienen a partir de la ruta mixta del ácido shikimico y del acetato. Existen más de 400 estilbenos naturales y se encuentran en un grupo heterogéneo de plantas; sin

embargo, su producción está regulada por la enzima estilbeno sintetasa, la cual no se expresa en todo momento (Sirerol *et al.*, 2016). Estos compuestos se pueden dividir en estilbenos monoméricos y oligoméricos. Los oligoméricos se obtienen por el acoplamiento entre estilbenos monoméricos tanto homogéneos como heterogéneos formando estructuras complejas. Los monoméricos están basados en el resveratrol, junto con otros estilbenos monoméricos, el oxiresveratrol, pterostilbeno, piceatannol, isorhapotigenina y cis-estilbeno, combretastatina (Arús *et al.*, 2017; Courtois *et al.*, 2017).

Otros compuestos con naturaleza polifenólica no flavonoides son los lignanos y las cumarinas, los lignanos son derivados de dos unidades C6-C3 unidas por un enlace β - β' en la cadena lateral, los lignanos se originan en la vía biosintética del ácido shikímico, estos son dímeros de dos unidades fenilpropanoides, que proceden del metabolismo de la L-fenilalanina, a partir del ácido cinámico y por reacciones sucesivas de hidroxilación y metilación en el anillo aromático, se obtienen los ácidos p-cumárico, cafeico, ferúlico, 5-hidroxiferulico y sinapico; se encuentran en más de 70 familias en el reino vegetal, especialmente en semillas de linaza y sésamo y se han caracterizado más de 200 lignanos y 100 neolignanos (Cui *et al.*, 2020).

Las cumarinas, pertenecientes a la familia de las benzopironas, son probablemente los metabolitos más comunes derivados de la ruta biosintética del Shikimato-corismato, son sustancias de origen vegetal derivadas de la 1,2 benzopirona y presentes en gran cantidad de plantas, en miembros de la familia *Rutaceae* se han encontrado aproximadamente 200 cumarinas. Los derivados de las cumarinas han sido reportados con capacidad antioxidante muy promisorio. Las cumarinas tienen un

gusto amargo y los animales la evitan siempre que pueden, pues producen hemorragias internas (García-Argáez *et al.*, 2003). Debido precisamente a esta característica, se emplea además como anticoagulante.

Métodos empleados para determinar la capacidad antioxidante

Hasta ahora, no existen métodos mundialmente unificados para medir capacidad antioxidante, en parte, debido a las diferentes condiciones en las cuales se desarrollan estas metodologías, además de la complejidad de los sistemas y de la diversidad de matrices que necesitan ser evaluadas. Es por ello que, el método ideal debería evaluar el efecto de los compuestos de un alimento en condiciones de reacción que imiten las que se dan cuando el estrés oxidativo es inducido *in vivo* por las ERO y las ERN (Gulcin, 2020).

Según Apak *et al.* (2016) un método estandarizado para la actividad antioxidante debe cumplir lo siguiente: i) medir de manera clara y demostrable las reacciones químicas que ocurren, b) utilizar una fuente de radicales biológicamente relevante, ii) ser sencillo, iii) basarse en un procedimiento con punto final y mecanismo químico claramente definidos, iv) los productos químicos y la instrumentación empleados deben ser de fácil adquisición, v) debe tener una buena reproducibilidad dentro de una misma serie y a través del tiempo, vi) debe poder adaptarse al ensayo de antioxidantes tanto hidrofílicos como lipofílicos y al uso de diferentes fuentes de radicales, vii) debe poder adaptarse al análisis de alto rendimiento para los análisis de control de calidad de rutina.

Aún hoy día se emplean diversos ensayos químicos, junto con tecnologías de detección altamente sensibles y automatizadas, para

evaluar la actividad antioxidante a través de mecanismos particulares, por ejemplo, la actividad de barrido contra ciertos tipos de radicales libres o ERO, el poder reductor y la quelación de metales, entre otros.

Métodos de eliminación de radicales/ERO.

Estos ensayos no requieren ningún sustrato lipídico y suelen emplear un sistema químico que contiene un oxidante (radicales libres u otras ERO), una sonda oxidable (no necesaria para algunos ensayos) y los antioxidantes investigados. Dependiendo de las reacciones químicas implicadas, estos ensayos se dividen en dos categorías: ensayos basados en la transferencia electrónica (ET, Electron Transfer) (Figura 2) y ensayos basados en la reacción de transferencia de átomos de hidrógeno (HAT, Hydrogen Atom Transfer) teniendo diferentes mecanismos de reacción (Figura 3).

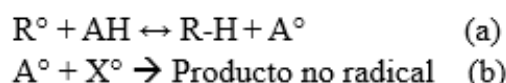


Figura 2

Mecanismo ET.
Nota: Soto (2015).

Las actividades antioxidantes se expresan como inhibición de la oxidación de la sonda mediada por las ERO, o como equivalentes de un antioxidante de referencia seleccionado, como el trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico), el ácido ascórbico u otro compuesto.

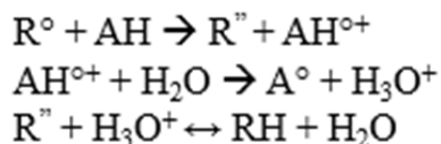


Figura 3

Mecanismo HAT
Nota: Soto (2015).

La oxidación de la sonda se puede medir mediante varias tecnologías de detección, entre ellas se encuentran los métodos espectrofotométricos,

fluorométricos, quimioluminiscentes, RPE (resonancia paramagnética de electrones), IR-TF (infrarrojo con transformada de Fourier), RMN (resonancia magnética nuclear) y amperométricos, entre otros (Shahidi & Zhong *et al.*, 2015).

El ensayo de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC en inglés) mide la capacidad de ruptura de la cadena de radicales de los antioxidantes mediante el control de la inhibición de la oxidación inducida por los radicales peróxilo, estos radicales son predominantes en la oxidación de los lípidos en los alimentos y los sistemas biológicos en condiciones fisiológicas (Figura 4). Por ello, se considera a los valores obtenidos por ORAC relevantes biológicamente como referencia de la eficacia antioxidante. En este ensayo tipo HAT (Camarena-Tello *et al.*, 2018), el radical peróxilo reacciona con una sonda fluorescente dando lugar a la pérdida de fluorescencia, que se registra con un fluorímetro (Figura 3). Se utiliza como referencia un antioxidante estándar, normalmente el Trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico), mostrando los valores ORAC como equivalentes de trolox. Una desventaja de este método es que mucha de la base científica de este método sigue siendo poco clara (Sueishi *et al.*, 2018).

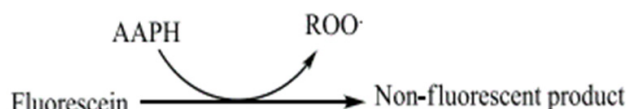


Figura 4

Mecanismo de acción ensayo ORAC
Nota: Gupta (2015).

El método de eliminación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es de los más utilizados y ofrece el primer enfoque para evaluar la actividad antioxidante total. El DPPH es un radical cromógeno estable de color púrpura intenso. El método se basa en la donación de electrones de los antioxidantes para neutralizar el radical DPPH. La reacción va acompañada de un cambio de color medido a 517 nm, y la

decoloración actúa como indicador de la eficacia antioxidante (Figura 5); este ensayo es una técnica relativamente sencilla y sólo requiere un espectrofotómetro UV o un espectrómetro RPE (resonancia paramagnética electrónica) y se basa en gran medida en la suposición de que la actividad antioxidante es igual a su capacidad o el

llamado poder reductor, aunque su sensibilidad puede verse afectada por una serie de factores, como el tipo y la cantidad de disolvente utilizado, la presencia y la concentración de hidrógeno e iones metálicos y la frescura del reactivo de DPPH (Musa *et al.*, 2013).

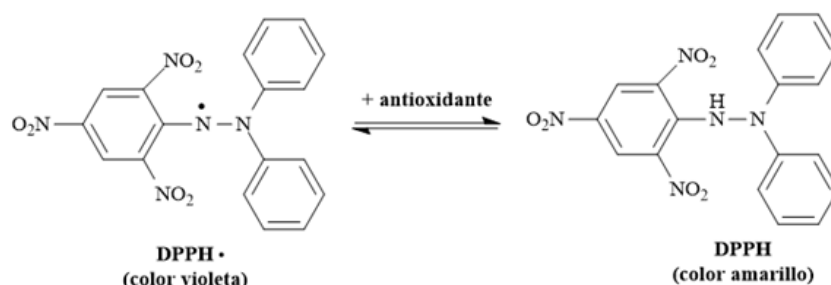


Figura 5

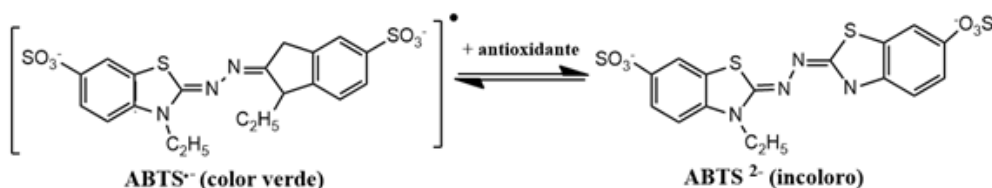
Reacción entre el DPPH y un antioxidante

Nota: Guija-Poma *et al.* (2015).

Los resultados de este método pueden expresarse de muchas maneras; bien como el poder reductor de la muestra o empleando un estándar antioxidante, muchas veces el trolox, pero también el ácido ascórbico u otro.

Un método igualmente sencillo y muy utilizado es el ensayo de la capacidad de eliminación del ácido 2,2'-azinobis (3- etilbenzotiazolina-6-sulfónico) conocido coloquialmente como el ensayo del ABTS, anteriormente conocido como ensayo de la capacidad antioxidante equivalente a trolox (TEAC por sus siglas en inglés). Este

ensayo mide la capacidad de los antioxidantes para eliminar el radical catión ABTS^{•+}, un cromóforo azul-verde con absorción máxima a 734 nm que disminuye su intensidad en presencia de antioxidantes (Figura 6). El ABTS^{•+} puede generarse a partir de ABTS en presencia de agentes oxidantes fuertes. Los antioxidantes pueden neutralizar el catión radical ABTS^{•+} por reducción directa a través de la donación de electrones o por radicales a través de la donación de átomos de hidrógeno, y el equilibrio de estos dos mecanismos suele estar determinado por el antioxidante (Prior *et al.*, 2005).



Figura

Mecanismo de reacción del ABTS

Nota: Gupta (2015).

El grado de decoloración del color azul-verde, depende de la duración de la reacción, de la actividad intrínseca y de la concentración en la muestra. De forma similar a otros ensayos de eliminación de radicales, el ensayo TEAC puede monitorear la disminución de la absorbancia

a través del tiempo, o la caída en un punto final determinado. Los resultados obtenidos por el ensayo generalmente se expresan como equivalentes de Trolox (Tian & Schaich, 2013), después de interpolar las lecturas de absorbancia frente a concentraciones conocidas de Trolox.

Métodos basados en el potencial redox no radical.

Los antioxidantes también se conocen como reductores. Su capacidad de donación de electrones no sólo permite eliminar los radicales libres y otras ERO derivadas del oxígeno, sino que también reduce los elementos de mayor valencia a su estado de menor valencia. El potencial redox o el poder reductor de los antioxidantes es un indicador importante de su eficacia antioxidante, y se mide mediante la reacción redox con varios iones metálicos, como el hierro, cobre, cromo, cerio, entre otros.

El ensayo de poder antioxidante reductor del ion férrico (FRAP) es un método

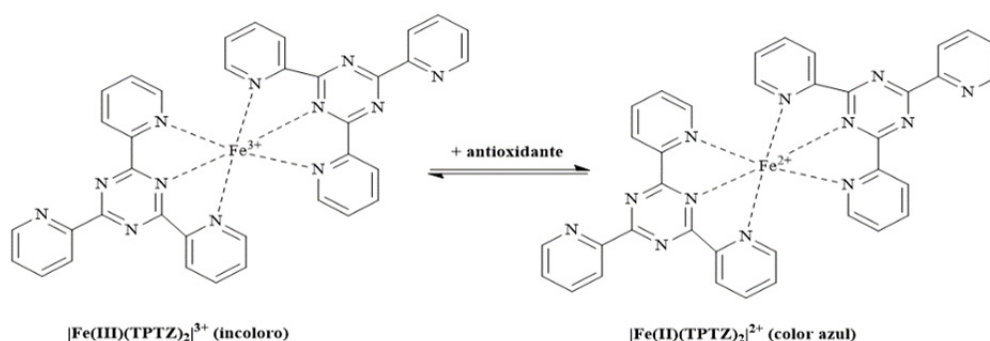


Figura 7

Principio químico del método FRAP.

Nota: Gupta (2015).

El ensayo de la capacidad antioxidante reductora del ion cúprico (CUPRAC), es un ensayo de reducción de cobre desarrollado como una variante del ensayo FRAP. Utiliza el cobre como oxidante en lugar del hierro. El método mide el poder reductor de los antioxidantes para convertir el ion cúprico (Cu^{2+}) en cuproso (Cu^+). Al igual que en el ensayo FRAP, se emplea un ligando para formar un complejo cobre-ligando que facilita la medición de la absorbancia. La neocuproína es el ligando comúnmente empleado en el ensayo CUPRAC. El complejo Cu^{2+} -neocuproína puede ser reducido por los antioxidantes a Cu^+ -neocuproína, que es un cromóforo con una absorción máxima a 450 nm (Figura

típico basado en la TE que mide la reducción del complejo del ligando de iones férricos (Fe^{3+}) al complejo ferroso (Fe^{2+}), de color intenso, por parte de los antioxidantes en medios ácidos (Figura 7). Los resultados se expresan como equivalentes micromolares de Fe^{2+} o en relación con un estándar antioxidante. Es sencillo, rápido y rentable y no requiere equipo especializado; su uso se ha extendido para evaluar la actividad antioxidante en fluidos biológicos, alimentos y extractos de plantas (Benzie & Devaki, 2017). Este método se desarrolla bajo condiciones ácidas (pH 3.6), la actividad antioxidante se determina como el aumento de la absorbancia a 593 nm generando una coloración azul intensa (Benítez-Estrada *et al.*, 2020).

8). Este método resulta aplicable a matrices alimentarias relativamente insolubles, así como a productos cosméticos insolubles como cremas, bálsamos y polvos (Akar & Burnaz, 2019).

Por otro lado, la propiedad antioxidante de los quelantes de metales se evalúa cuando se forma un complejo entre el antioxidante y el metal, de manera que los iones metálicos ya no pueden actuar como iniciadores de la oxidación lipídica. Por lo tanto, la capacidad de quelación de metales también se utiliza como indicador de la actividad antioxidante, normalmente en combinación con otros ensayos antioxidantes.

En general, la capacidad de quelación de metales se determina midiendo el efecto quelante de los antioxidantes para el ion ferroso, el sulfato ferroso y la ferrozina son las fuentes de iones ferrosos más utilizadas. Una pérdida de absorbancia a 485 nm (para el sulfato ferroso) o 562 nm (para la ferrozina) tras la adición de antioxidantes representa la formación de un

complejo metal-antioxidante, y la capacidad de quelación del compuesto añadido puede cuantificarse espectrofotométricamente. En la mayoría de los casos, la capacidad de estos grupos se expresa como equivalentes de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) (Shahidi & Zhong, 2015).

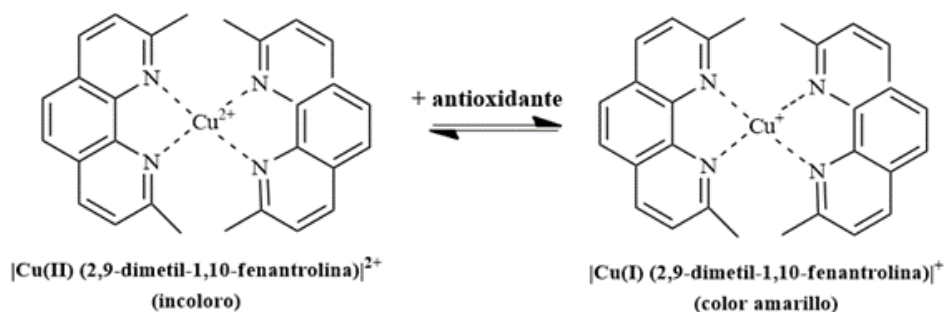


Figura 8

Mecanismo de acción ensayo CUPRAC
Nota: Tomado de Gupta (2015).

Frutas tropicales y capacidad antioxidante

Durante los últimos años, la ingesta de frutas recién cosechadas ha ido incrementando en todo el mundo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) tan solo en el 2019 el comercio de frutas tropicales a nivel mundial alcanzó un nuevo máximo de 7.7 millones de toneladas, lo que supuso un incremento del 6.4 %, o 465 000 toneladas, en comparación con el año anterior, siendo las más exportadas (en orden de importancia) la piña (40%), aguacate (28%), mangos, mangostanes-guayabas (27%) y papayas (5%). Este aumento está ligado a diversos factores como la búsqueda de productos más saludables para un mayor cuidado de la salud y aumento en la ingesta de nutrientes en los alimentos, evitando el consumo de conservantes que en estudios experimentales han demostrado causar efectos nocivos a la salud (Priyadarshini & Priyadarshini, 2018).

De acuerdo con esto, existe mayor conciencia global de los efectos benéficos no

nutrimentales de las frutas, específicamente de compuestos funcionales como la fibra, pigmentos y antioxidantes. En estudios epidemiológicos se ha informado sistemáticamente de que las frutas son fuentes naturalmente ricas en antioxidantes, que ayudan a reducir la incidencia de enfermedades degenerativas, como el envejecimiento, la arteriosclerosis, la artritis, la disfunción cerebral, el cáncer, las enfermedades cardíacas y la inflamación (Ellong *et al.*, 2015).

La potente actividad antioxidante de los extractos de frutas se debe a los efectos aditivos y sinérgicos de los fitoquímicos presentes en estas, lo que podría ayudar a explicar por qué ningún antioxidante sintético por sí solo es capaz de sustituir a la combinación de fitoquímicos naturales que se encuentran en las frutas para conseguir los beneficios deseados para la salud. La lista de sustancias con estas características es extensa, pero figuran los compuestos fenólicos, incluidos los flavonoides (Nimse & Pal, 2015).

Las frutas clasificadas como "superfrutas", han atraído la atención de los

consumidores y de la industria alimentaria, sobre todo por su alto contenido en antioxidantes utilizándose como fuentes naturales de fitoquímicos bioactivos para la salud. Este grupo incluye a una gran cantidad de frutas de climas boreales que, por su composición química y pigmentación son ricas en sustancias antioxidantes.

Unos pocos frutos tropicales comparten esa denominación de superfruta, tal vez el ejemplo más conocido es el cacao (*Theobroma cacao* L.), fruto de donde se obtiene el chocolate (Vázquez-Ovando *et al.*, 2016). Sin embargo, un gran número de frutas tropicales que han demostrado tener niveles excepcionalmente altos de compuestos antioxidantes siguen siendo prácticamente desconocidas para los consumidores, tal como reporta Pereira-Netto (2018), ocurre con frutos de consumo local en regiones de Brasil. En este mismo sentido Gregoris *et al.* (2013) reportan contenidos relativamente altos en frutos de *Solanum paniculatum* y *Spondias purpurea* (Tabla 1). Lim *et al.* (2007) analizaron la capacidad antioxidante de nueve frutas (plátano, pitahaya, guayaba con semillas y sin semilla, jobo indio, lanzón, mangostán, papaya, carambola y manzana de agua) y reportan que la guayaba, la papaya (*Carica papaya* L.) y la carambola (*Averrhoa carambola* L.) mostraron el mayor potencial antioxidante en el ensayo de DPPH y de reducción de hierro (III). Mientras que el plátano, manzana de agua, lanzón y papaya tienen un mayor potencial antioxidante secundario, medido por el experimento de quelación del hierro (II).

En contraste, Septembre-Malaterre *et al.* (2016) analizaron las propiedades antioxidantes del plátano, litchi, mango, papaya, maracuyá y piña, los resultados indicaron que los polifenoles fueron los antioxidantes más abundantes encontrándose principalmente en el maracuyá. Uno de los frutos tropicales más analizado por sus características y por su nivel de consumo

mundial es el mango; diferentes variedades han sido reportadas con interesante capacidad antioxidante (Gregoris *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2004).

En el estudio de Wu *et al.* (2004), se incluyeron frutos de climas templados y según sus resultados éstos presentan mayor poder antioxidante que los frutos tropicales. A partir de ese reporte, son varios los autores que demuestran que esto no es absoluto y depende de la variedad de fruto que se analice. Los carotenoides son los principales responsables de la capacidad antioxidante en los frutos y a la fecha se han reportado algunos con capacidad antioxidante muy superior a los encontrados en frutos de climas templados (Gregoris *et al.*, 2013).

La maduración de los frutos juega un papel importante en la cantidad de contenido de antioxidantes, ya que, este proceso implica degradación o síntesis y acumulación de componentes bioactivos, como los compuestos fenólicos, la vitamina C y los carotenoides (Ibarra-Garza *et al.*, 2015). Siriamornpun y Kaewseejan (2017) evaluaron la capacidad antioxidante de las frutas verdes y maduras de plátano, mango y papaya, encontrando que la variedad y la madurez de la fruta influyen en la actividad antioxidante.

Los contenidos más altos de fenoles totales y vitamina C se encontraron en frutos verdes, así como la capacidad antioxidante, mientras que el β -caroteno se observó en la fase madura, los ácidos fenólicos totales y flavonoides totales en los frutos estudiados disminuyen durante la maduración. Esto puede utilizarse como un indicador relevante de la capacidad antioxidante de una matriz alimentaria, y como un marcador preliminar para cualquier producto vegetal que se espere seleccionar como fuente natural de antioxidantes para alimentos funcionales

(Viuda-Martos *et al.*, 2011). También, se ha demostrado que los antioxidantes de naturaleza lipofílica contribuyen en mayor medida a la

capacidad antioxidante de los vegetales (Tabla 1).

Tabla 1

Procedencia y tipo de inoculantes evaluados

Fruta o producto	Capacidad antioxidante	Método de análisis	Moléculas antioxidantes	Referencia
Mango Tommy Atkins (<i>Mangifera indica</i> 'Tommy Atkins')	0.50 ± 0.07 mM EC	DPPH	Polifenoles totales, ácido hidroxicinámico (HCA)	Gregoris <i>et al.</i> (2013)
Pitahaya (<i>Selenicereus undatus</i>)	1000 ± 100 ppm Cl ₅₀	Peroxidación lipídica	HCA	Gregoris <i>et al.</i> (2013)
Piña (<i>Ananas comosus</i> L.)	7.93 µmol ET g ⁻¹	CAT	Antioxidantes hidrofílicos	Wu <i>et al.</i> (2004)
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	10.02 µmol ET g ⁻¹	CAT	Antioxidantes hidrofílicos	Wu <i>et al.</i> (2004)
Aguacate Hass (<i>Persea americana</i>)	19.33 µmol ET g ⁻¹	CAT	Antioxidantes lipofílicos	Wu <i>et al.</i> (2004)
Jurubeba (<i>Solanum panicatum</i> L.)	3242 ± 20 mg L ⁻¹	Contenido de HCA	HCA	Gregoris <i>et al.</i> (2013)
Papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	4.5 µmol ET g ⁻¹	CAT	Carotenoides	Wu <i>et al.</i> (2004)
Banano (<i>Musa paradisiaca</i>)	8.79 µmol ET g ⁻¹	CAT	Carotenoides	Wu <i>et al.</i> (2004)

EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes de trolox; EC= equivalentes de catequina; CAT= capacidad antioxidante total

Nota. Wu *et al.* (2004)

Coproduitos o derivados de frutos tropicales

A pesar de ser una industria con demasiado auge y crecimiento, y que permite la obtención de alimentos; la agroindustria frutícola es generadora de grandes cantidades de coproduitos, considerados en muchos casos como desechos agrícolas; no obstante, pueden ser un recurso abundante y renovable de biomasa. Estos “residuos” puedan ser fuente importante de compuestos biológicamente activos con alto valor comercial (Vázquez-Briones *et al.*, 2019). Las porciones no comestibles de la fruta (por ejemplo, la cáscara, la piel, las semillas, etc.) pueden tener un mayor contenido nutricional que su respectiva porción comestible (Lachowicz *et al.*, 2019). Por lo anterior, pueden ser valorizadas, con el fin de mejorar los beneficios económicos y disminuir los problemas ambientales negativos que se generan, como menciona Banerjee *et al.* (2017). La primera operación en la manipulación de

los coproduitos es la eliminación del agua libre, lo cual permite reducir la biomasa, además de reducir las reacciones químicas y microbiológicas, haciendo su manipulación más segura, al tiempo que permite la concentración de compuestos bioactivos, fibra dietética y minerales (Can-Cauich *et al.*, 2017).

La calidad final de los coproduitos depende del uso de tecnología adecuada, ya sea que se transformen en nuevas materias primas para procedimientos secundarios o como insumos de explotación. Son interesantes desde el punto de vista nutricional y desde el punto de vista de la producción, pero sólo unos pocos se han desarrollado con éxito a partir de las enormes cantidades de coproduitos vegetales producidos por la industria alimentaria (López-Vargas *et al.*, 2013; Murthy & Naidu, 2012). Los antioxidantes que se encuentran en los coproduitos se utilizan con fines farmacéuticos, cosméticos y nutricionales (Selanni *et al.*, 2016).

Los trabajos de investigación se centran, por tanto, en la caracterización de los coproductos y en la valorización de sus compuestos funcionales, principalmente pero no exclusivamente fibra dietética y compuestos antioxidantes (Pfukwa *et al.*, 2020). Diversos trabajos se han enfocado en analizar diversos coproductos de frutas tropicales (Tabla 2) y se ha reportado en muchos casos valores más altos con respecto a las frutas frescas.

Santos-Silva *et al.* (2020) evaluaron el contenido de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante *in vitro* y el contenido total de carotenoides, antocianinas y vitamina C de cáscaras frescas y secadas al horno a 55 °C de piña (*Ananas comosus*), banano (*Musa sp.*), litchi (*Litchi chinensis*) y papaya (*Carica papaya*). Los compuestos fenólicos, carotenoides totales, antocianinas, el contenido de vitamina C y la capacidad antioxidante de las harinas fueron significativamente mayores, lo que indica que el proceso de secado promovió la concentración de estos componentes, por lo que son una alternativa para utilizar estos coproductos como fuente de nutrientes.

Martínez *et al.* (2012) estudiaron las propiedades químicas, tecnológicas y antioxidantes *in vitro* de los coproductos del cacao, como cáscara de la vaina, cáscara del grano y el mucílago obtenidos de la industrialización del cacao para determinar el uso potencial como fuente de fibra dietética antioxidante para el enriquecimiento de los alimentos, sus resultados indicaron que los coproductos del cacao pueden considerarse una buena fuente de compuestos naturales con una importante actividad antioxidante

encontrando valores entre 206.67 y 365.33 mg equivalentes de ácido gálico equivalente 100 g⁻¹ en la cáscara de la vaina. López-Vargas *et al.* (2013) evaluaron las propiedades antioxidantes del polvo de fibra de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) para uso como ingrediente alimentario, sus resultados indicaron encontrando valores considerables para ser candidato como ingrediente alimentario intermedio; bajo liofilización se pueden obtener coproductos de frutas con valor agregado. Moo-Huchin *et al.* (2015) realizaron ensayos DPPH y ABTS en cáscaras liofilizadas de caimito morado (*Chrysophyllum caimito* L.), anacardo amarillo y anacardo rojo (*Anacardium occidentale*), los valores encontrados indicaron que las cáscaras bajo ese proceso tecnológico son una fuente de compuestos antioxidantes, por lo que pueden servir como fuentes potenciales de antioxidantes para uso en las industrias alimentaria y farmacéutica.

El uso de otros procesos como la fermentación, también permite obtener productos fermentados con capacidad antioxidante elevada respecto a su materia prima y se vislumbra como una estrategia prometedora en la obtención de materias primas o alimentos y bebidas funcionales (Tabla 2, De Souza *et al.*, 2018).

En general, las pruebas de la actividad antioxidante *in vitro* de coproductos y derivados y su uso con fines benéficos a la salud apuntan a su potencial como fuente de compuestos bioactivos para la formulación de alimentos funcionales presentando oportunidades para aprovecharlos en cadenas de valor alimentarias innovadoras.

Capacidad antioxidante de productos o coproductos de frutas tropicales evaluados por diversos métodos

Producto o coproducto	Capacidad antioxidante	Método de análisis	Moléculas antioxidantes	Referencia
	54.2% de atrapamiento de radicales DPPH	DPPH		
	203 ± 10 µM Fe(II) g ⁻¹	FRAP	Acido gálico	Banerjee <i>et al.</i> (2020)

Producto o coproducto	Capacidad antioxidante	Método de análisis	Moléculas antioxidantes	Referencia
Cáscaras de rambután	38.24 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 0.203 EAG mL^{-1}	ABTS FRAP	Elagitanninos (geraniina, corilagina y ácido elágico)	Hernández <i>et al.</i> (2017)
Pulpa residual de mango	29.16 $\pm$ 0.76 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$	DPPH y ABTS	Equivalentes de ácido gálico, ácido cumárico, mangiferina	Selani <i>et al.</i> (2016)
Coproducto de mango	35.81 $\pm$ 1.01 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$			
Co-productos de maracuyá (piel, albedo y semilla)	6.28 – 13.65 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$	DPPH y ABTS	Ácido cumárico, epicatequina.	Selani <i>et al.</i> (2016)
Cáscara y pulpa residual de piña	5.76 $\pm$ 0.12 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$	DPPH y ABTS	Ácido cumárico, ácidos hidroxicinámicos	Selani <i>et al.</i> (2016)
Coproducto de piña	13.46 $\pm$ 0.62 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$			
Vino de <i>Eugenia dysenterica</i> DC.	0.51 mg L^{-1} EC_{50} 775.33 mM de sulfato ferroso	DPPH FRAP	β - caroteno, vitamina C	de Souza <i>et al.</i> (2018)
Vino de <i>Myrciaria jabuticaba</i>	5.21 mg L^{-1} EC_{50} 315.45 mM de sulfato ferroso	DPPH FRAP	Antocianinas, flavonoides, taninos, polifenoles	de Souza <i>et al.</i> (2018)
Vino de pitahaya	46.6 mg L^{-1} EC_{50} 15.35 mM de sulfato ferroso	DPPH FRAP	Compuestos fenólicos	de Souza <i>et al.</i> (2018)
Semillas de mango variedad Ataulfo	5375.9 mg ET g^{-1}	FRAP	Etil-galato, penta-O-galoil-glucosido, ramnetina.	Torres-León <i>et al.</i> (2017)
	1738.2 mg ET g^{-1}	DPPH		
	3658 mg ET g^{-1}	ABTS		
	96.5% de inhibición	Lipoperoxidación		
Extracto de cáscara de mango Ataulfo	8.52 $\pm$ 2.05 % de inhibición	ABTS	Compuestos fenólicos	Ordoñez-Torres <i>et al.</i> (2021)
	94.00 $\pm$ 3.08% de inhibición	DPPH		
	91.74 $\pm$ 3.12% de inhibición	Lipoperoxidación		
Semilla de aguacate Hass fermentado en estado sólido	1815.13 $\pm$ 318.76 mg ET g^{-1}	ABTS	catequina y epicatequina	Yepes-Betancur <i>et al.</i> (2021)
	13019.04 $\pm$ 850.73 mg ET g^{-1}	DPPH		

EAG = equivalentes de ácido gálico; ET = equivalentes de trolox; EC = equivalentes de catequina EC_{50} = concentración de antioxidante requerido para reducir los radicales al 50%

Nota. Elaboración propia.

Conclusiones

En conclusión, el interés por alimentos o materias primas que posean diversas sustancias antioxidantes está aún en aumento. Estas se pueden administrar como componentes alimentarios o incluso como productos farmacéuticos específicos. Es importante enfatizar en los métodos analíticos que se utilizan para determinar la actividad antioxidante, ya que, a pesar de que se dispone de diversos

métodos, estos difieren entre sí en diversos aspectos tanto fundamental como metodológico y como consecuencia el resultado diferido; por lo que se debe considerar diferentes variables como las fuentes de oxidación, concentraciones, interacciones con otras especies oxidantes y matrices biológicas.

La elección del método adecuado o la combinación de métodos es importante para la evaluación válida de la actividad antioxidante.

Los frutos tropicales son una fuente importante de compuestos antioxidantes, superando en algunos casos a los frutos boreales como el caso del cacao. Además, los coproductos que se pueden obtener de estos frutos, en caso todos los casos superan la actividad antioxidante de los frutos frescos, por lo que se convierten en una fuente rica de metabolitos antioxidantes.

Referencias

- Abdel-Aal, E.S.M. y Rabalski, I. (2015). Composition of lutein ester regioisomers in marigold flower, dietary supplement, and herbal tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(44): 9740-9746. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04430>
- Abuajah, C.I., Ogbonna, A.C. y Osuji, C.M. (2015). Functional components and medicinal properties of food: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 52: 2522-2529. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25892752/>
- Akar, Z. y Burnaz, N.A. (2019). A new colorimetric method for CUPRAC assay with using of TLC plate. *LWT-Food Science and Technology*, 112: 108212. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.110>
- Apak, R., Ozyurek, M., Güçlü, K. y Capanoglu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5): 997-1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>
- Arús, B.A., Souza, D.G., Bellaver, B., Souza, D.O., Gonçalves, C.A., Quincozes-Santos, A. y Bobermin, L.D. (2017). Resveratrol modulates GSH system in C6 astroglial cells through heme oxygenase 1 pathway. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 428(1-2): 67-77. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28070834/>
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A.F. y Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry*, 225: 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.093>
- Banerjee, P., Jana, S., Mukherjee, S., Bera, K., Majee, S.K., Ali, I., Pal, S., Ray, B. y Ray, S. (2020). The heteropolysaccharide of *Mangifera indica* fruit: Isolation, chemical profile, complexation with β -lactoglobulin and antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165: 93-99. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32980416/>
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V.E., Puga-Díaz, R. y Quintero-Gutiérrez, A.G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23: 1-9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>
- Benzie, I.F. y Devaki, M. (2017). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: Concepts, procedures, limitations, and applications. *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity* (eds R. Apak, E. Capanoglu and F. Shahidi). <https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch5>
- Bjørklund, G. y Chirumbolo, S. (2017). Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health. *Nutrition*, 33: 311-321. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.07.018>
- Bustamante-Rangel, M., Delgado-Zamarreño, M.M., Pérez-Martin, L., Rodríguez-Gonzalo, E. y Domínguez-Álvarez, J. (2018). Analysis of isoflavones in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2): 391-411. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12325>
- Camarena-Tello, J., Martínez-Flores, H., Garnica-Romo, M., Padilla-Ramírez, J., Saavedra-Molina, A., Álvarez-Cortes, O., Bartolomé-Camacho, M.C. y Rodiles-López, J.O. (2018). Quantification of phenolic compounds and *in vitro* radical scavenging abilities with leaf extracts from two varieties of *Psidium quajava* L. *Antioxidants*, 7(3): 34. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox7030034>
- Can-Cauich, C.A., Sauri-Duch, E., Betancur-Ancona, D., Chel-Guerrero, L., González-Aguilar, G.A., Cuevas-Glory, L.F., Pérez-Pacheco, E. y Moo-Huchin, V.M. (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 37: 501-506. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.08.028>
- Courtois, A., Jourdes, M., Dupin, A., Lapèze, C., Renouf, E., Biais, B., Teissedre, P.L., Mérillon, J.M., Richard, T. y Krisa, S. (2017). *In vitro* glucuronidation and sulfation of ϵ -viniferin, a resveratrol dimer, in humans and rats. *Molecules*, 22(5): 1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules22050733>
- Cui, Q., Du, R., Liu, M. y Rong, L. (2020). Lignans and their derivatives from plants as antivirals. *Molecules*, 25(1): 183. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fmolecules25010183>
- De Souza, A.C., Fernandes, A.C.F., Silva, M.S., Schwan, R.F. y Dias, D.R. (2018). Antioxidant activities of tropical fruit wines. *Journal of the Institute of*

- Brewing, 124 (4): 492-497.
<https://doi.org/10.1002/jib.511>
- Dröge, W. (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*, 82(1): 47-95.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2001>
- Ellong, E.N., Billard, C., Adenet, S. y Rochefort, K. (2015). Polyphenols, carotenoids, vitamin c content in tropical fruits and vegetables and impact of processing methods. *Food and Nutrition Sciences*, 6: 299-313.
<http://dx.doi.org/10.4236/fns.2015.63030>
- FAO (2020). Análisis del mercado de las principales frutas tropicales. Panorama general de febrero de 2020. Roma.
<http://www.fao.org/3/ca9213es/ca9213es.pdf>
- Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V. y Botella, M.A. (2018). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science*, 9: 2006.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006>
- Fernando, I.P., Kim, M., Son, K.T., Jeong, Y., y Jeon, Y.J. (2016). Antioxidant activity of marine algal polyphenolic compounds: A mechanistic approach. *Journal of Medicinal Food*, 19(7): 615-628. <https://doi.org/10.1089/jmf.2016.3706>
- Galli, F., Azzi, A., Birringer, M., Cook-Mills, J.M., Eggersdorfer, M., Frank, J., Cruciani, G., Lorkowski, S. y Özer, N.K. (2017). Vitamin E: Emerging aspects and new directions. *Free Radical Biology and Medicine*, 102: 16-36.
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.09.017>
- García-Argáez, A.N., González-Lugo, N.M., Márquez, C. y Martínez-Vázquez, M. (2003). Cumarinas presentes en especies del género Casimiroa. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(2): 151-154.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000200013&lng=es&tlng=es
- Goodarzi, S., Rafiei, S., Javadi, M., Haghighian, H.K. y Noroozi, S. (2018). A review on antioxidants and their health effects. *Journal of Nutrition and Food Security*, 3(2): 106-112.
<http://jnfs.ssu.ac.ir/article-1-158-en.pdf>
- Gordo, D.A.M. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1): 81-104.
<https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Gregoris, E., Pereira, L.G.P., Fabris, S., Bertelle, M., Sicari, M. y Stevanato, R. (2013). Antioxidant properties of brazilian tropical fruits by correlation between different assays. *BioMed Research International*, 2013: 132759.
<https://doi.org/10.1155/2013/132759>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Ángel, Ponce-Pardo, J. y Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57-60. <https://www.horizontemedico.usmp.edu.pe/index.php/horizontemed/article/view/148>
- Gulcin, I. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94: 651-715.
<https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Gupta, D. (2015). Methods for determination of antioxidant capacity: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(2): 546-566. <https://ijpsr.com/wp-content/uploads/2015/01/6-Vol.-6-Issue-2-Feb-2015-IJPSR-RE-1434-Paper-6.pdf>
- Hashem, R.M., Hassanin, K.M., Rashed, L.A., Mahmoud, M.O. y Hassan, M.G. (2016). Effect of silibinin and vitamin E on the ASK1-p38 MAPK pathway in d-galactosamine/ lipopolysaccharide induced hepatotoxicity. *Experimental Biology and Medicine (Maywood)*, 241(11): 1250-1257.
<https://doi.org/10.1177/1535370216636719>
- Hedayati, N., Naeini, M.B., Nezami, A., Hosseinzadeh, H., Wallace-Hayes, A., Hosseini, S., Imenshahidi, M. y Karimi, G. (2019). Protective effect of lycopene against chemical and natural toxins: A review. *BioFactors*, 45: 5-23.
<https://doi.org/10.1002/biof.1458>
- Hernández, C., Ascacio-Valdés, J., De la Garza, H., Wong-Paz, J., Aguilar, C.N., Martínez-Ávila, G.C., Castro-López, C. y Aguilera-Carbó, A. (2017). Polyphenolic content, *in vitro* antioxidant activity and chemical composition of extract from *Nephelium lappaceum* L. (Mexican rambutan) husk. *Asian Pacific. Journal of Tropical Medicine*, 10(12): 1201-1205.
<https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.10.030>
- Hostetler, G.L., Ralston, R.A. y Schwartz, S.J. (2017). Flavones: Food Sources, bioavailability metabolism, and bioactivity. *Advances in Nutrition*, 8(3):423-435.
<https://doi.org/10.3945/an.116.012948>
- Ibarra-Garza, I., Ramos-Parra, P.A., Hernández-Brenes, C. y Jacobo-Velázquez, D.A. (2015). Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt). *Postharvest Biology and Technology*, 103: 45-54.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.014>
- Imran, M., Ghorat, F., Ul-Haq, I., Ur-Rehman, H., Aslam, F., Heydari, M., Shariati, M.A., Okuskhanova, E., Yessimbekov, Z.,

- Thiruvengadam, M., Hashempur, M.H. y Rebezov, M. (2020). Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants*, 9(8): 706.
<https://doi.org/10.3390/antiox9080706>
- Jiang, N., Doseff, A. y Grotewold, E. (2016). Flavones: From biosynthesis to health benefits. *Plants*, 5(2): 27. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fplants5020027>
- Kamal-Eldin, A. y Budilarto, E. (2015). 6 - Tocopherols and tocotrienols as antioxidants for food preservation. *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*. Woodhead Publishing Series in Food Science, *Technology and Nutrition*, 2015: 141-159.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-089-7.00006-3>
- Kaya, B., Kaya, K., Koca, A. y Ülküseven, B. (2019). Thiosemicarbazide-based iron (III) and manganese (III) complexes. Structural, electrochemical characterization and antioxidant activity. *Polyhedron*, 173: 114130.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2019.114130>
- Křížová, L., Dadáková, K., Kašparovská, J. y Kašparovský, T. (2019). Isoflavones. *Molecules*, 24(6): 1076.
<https://doi.org/10.3390/molecules24061076>
- Kumar, V., Mohan, S., Singh, D.K., Verma, D.K., Singh, V.K. y Hasan SH. (2017). Photo-mediated optimized synthesis of silver nanoparticles for the selective detection of Iron (III), antibacterial and antioxidant activity. *Materials Science and Engineering: C*. 71: 1004-1019.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.11.013>
- Kwatra, B. (2020). A review on potential properties and therapeutic applications of lycopene. *International Journal of Medical and Biomedical Studies*, 4(4): 33-44. <https://dx.doi.org/10.32553/ijmbs.v4i4.1081>
- Lachowicz, S., Oszmianański, J., Wiśniewski, R., Seliga, Ł. y Pluta, S. (2019). Chemical parameters profile analysis by liquid chromatography and antioxidative activity of the Saskatoon berry fruits and their components. *European Food Research and Technology*, 245(9): 2007-2015.
<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03311-2>
- Lee, G. y Han, S. (2018). The role of vitamin e in immunity. *Nutrients*, 10(11): 1614.
<https://doi.org/10.3390/nu10111614>
- Li, C. y Schluesener, H. (2015). Health-promoting effects of the citrus flavanone hesperidin. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3): 613-631. <https://dx.doi.org/10.1080/10408398.2014.906382>
- Lim, Y.Y., Lim, T.T. y Tee, J.J. (2007). Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*, 103(3): 1003-1008.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.038>
- Londoño, J.L. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. *Desarrollo y transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia* (pp. 130-162). Corporación Universitaria Lasallista.
<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/133>.
- López-Romero, J.C., Ansorena, R., Gonzalez-Aguilar, G.A., Gonzalez-Rios, H., Ayala-Zavala, J.F. y Siddiqui, M.W. (2016). Chapter 5 Applications of plant secondary metabolites in food systems. *Plant Secondary Metabolites* (Vol. 3, pp. 195-232). Set. <http://dx.doi.org/10.1201/9781315207506-16>
- López-Vargas, J.H., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, J.A. y Viuda-Martos, M. (2013). Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Research International*, 51(2): 756-763.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.055>
- Maharramova, G., Taslimi, P., Sujayev, A., Farzaliyev, V., Durmaz, L. y Gülçin, I. (2018). Synthesis, characterization, antioxidant, antidiabetic, anticholinergic, and antiepileptic properties of novel N-substituted tetrahydropyrimidines based on phenylthiourea. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 32(12): e22221.
<https://doi.org/10.1002/jbt.22221>
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M.A., Figueroa, J.G., Pérez-Alvarez, J.A. y Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and *in vitro* antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) co-products. *Food Research International*, 49(1): 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.005>
- Mercado-Ruiz, J.N., Tortoledo-Ortiz, O., García-Robles, J.M., Báez-Sañudo, R., García-Moreno, B.Y., Ávila-Prado, J., Corella-Salazar, D.A., Cruz-Félix, M.C., Velásquez-Jiménez, D. y Zuñiga-Martínez, B.S. (2019). Calidad comercial de piña MD2 (*Ananas comosus* L.) tratada en postcosecha con ácido 2-hidroxibenzoico. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(2): 140-154.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81361553004>
- Mittler, Ron. (2017). ROS are Good. *Trends in Plant Science*, 22 (1), 11 – 19.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>
- Moo-Huchin, V.M., Moo-Huchin, M.I., Estrada-León, R.J., Cuevas-Glory, L., Estrada-Mota, I.A., Ortiz-Vázquez, E., Betancur-Ancona, D. y Sauri-Duch, E. (2015). Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 166: 17-22.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.127>

- Morales, A., Vicente-Sánchez, C., Sandoval, J.M., Tagarro, M., Lopez-Novoa, J. y Pérez-Barriocanal, F. (2004). Efecto de la quercetina sobre la nefrotoxicidad producida por cadmio. *Revista de Toxicología* 21: 23-30. <https://rev.aetox.es/wp/index.php/21-14/>
- Murthy, P.S. y Naidu, M.M. (2012). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3): 897-903. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0363-z>
- Musa, K.H., Abdullah, A., Kuswandi, B. y Hidayat, M.A. (2013). A novel high throughput method based on the DPPH dry reagent array for determination of antioxidant activity. *Food Chemistry*, 141(4): 4102-4106. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.112>
- Nichols, A.W., Chatterjee, S., Sabat, M. y Machan, C.W. (2018). Electrocatalytic reduction of CO₂ to formate by an iron Schiff base complex. *Inorganic Chemistry*, 57(4): 2111-2121. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b02955>
- Nimse, S.B. y Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5(35): 27986-28006. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>
- Ochoa-Becerra, M., Mojica-Contreras, L., Hsieh-Lo, M., Mateos-Díaz, J. y Castillo-Herrera, G. (2020). Lutein as a functional food ingredient: Stability and bioavailability. *Journal of Functional Foods*, 66: 103771. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103771>
- Ordoñez-Torres, A., Torres-León, C., Hernández-Almanza, A., Flores-Guía, T., Luque-Contreras, D., Aguilar, C.N. y Ascacio-Valdés, J. (2021). Ultrasound-microwave-assisted extraction of polyphenolic compounds from Mexican "Ataulfo" mango peels: Antioxidant potential and identification by HPLC/ESI/MS. *Phytochemical Analysis*, 32(4): 495-502. <https://doi.org/10.1002/pca.2997>
- Pehlivan, F.E. (2017). Vitamin C: An Antioxidant agent. En Hamza AH. (ed.) *Vitamin C*. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69660>
- Peña-Torres, E.F., González-Ríos, H., Avendaño-Reyes, L., Valenzuela-Grijalva, N.V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazán, A. y Peña-Ramos, E.A. (2019). Ácidos hidroxilados en producción animal: farmacocinética, farmacodinamia y sus efectos como promotor de crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2): 391-415. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4526>
- Pereira-Caro, G., Kay, C.D., Clifford, M.N. y Crozier, A. (2020). Flavanonas. En Tomás-Barberán F.A., González-Sarrias A., García-Villalba R. (eds). *Dietary polyphenols: Metabolism and health effects*. (First Edition, pp. 439-495). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/ens/>
- Pereira-Netto, A.B. (2018). Tropical fruits as natural, exceptionally rich, sources of bioactive compounds. *International Journal of Fruit Science*, 18(3): 231-242. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1444532>
- Pfukwa, T.M., Chikwanh, O.C., Katiyatiya, C.L.F., Fawole, O.A., Manley, M. y Mapiye, C. (2020). Southern African indigenous fruits and their byproducts: Prospects as food antioxidants. *Journal of Functional Foods*, 75: 104220. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104220>
- Philipov, S. y Doncheva, T. (2013) Alkaloids Derived from Ornithine: Tropane Alkaloids. En Ramawat K., Mérillon JM. (eds) *Natural Products*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_8
- Prior, R.L.; Wu, X. y Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10): 4290-4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Priyadarshini, A. y Priyadarshini, A. (2018). Market dimensions of the fruit juice industry. En Rajauria G, Tiwari BK. (eds). *Fruit Juices. Extraction, Composition, Quality and Analysis*, pp. 15-32. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00002-3>
- Psomas, G. (2020). Copper (II) and zinc (II) coordination compounds of non-steroidal anti-inflammatory drugs: Structural features and antioxidant activity. *Coordination Chemistry Reviews*, 412: 213259. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213259>
- Ribeiro, D., Freitas, M., Silva, A.M.S., Carvalho, F. y Fernandes, E. (2020). Antioxidant and pro-oxidant activities of carotenoids. *Food and Chemical Toxicology*, 120: 681-699. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.060>
- Ribeiro, D., Freitas, M., Silva, A.M.S., Carvalho, F. y Fernandes, E. (2018). Antioxidant and pro-oxidant activities of carotenoids and their oxidation products. *Food and Chemical Toxicology*, 120: 681-699. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.060>
- Rodríguez-Amaya, D.B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7: 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004>
- Saini, R.K. y Keum, Y.S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, 240: 90-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.099>

- Santos-Silva, J., Ortiz, D.W., Garcia, L.G.C., Asquieri, E.R., Becker, F.S. y Damiani, C. (2020). Effect of drying on nutritional composition, antioxidant capacity and bioactive compounds of fruits co-products. *Food Science and Technology*, 40(4): 810-816. <http://dx.doi.org/10.1590/fst.21419>
- Schomburg, L. (2017). Dietary selenium and human health. *Nutrients*, 9: 22. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fnu9010022>
- Selani, M.M., Bianchini, A., Ratnayake, W.S., Flores, R.A., Massarioli, A.P., de Alencar, S.M. y Canniatti-Brazaca, S.G. (2016). Physicochemical, functional and antioxidant properties of tropical fruits co-products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(2), 137-144. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0531-z>
- Septembre-Malaterre, A., Stanislas, G., Douraguia, E. y Gonthier, M.P. (2016). Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. *Food Chemistry*, 212: 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.147>
- Shahidi, F. y Zhong, Y. (2015). Measurement of the antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18: 757-781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Sies, H. (2020). Oxidative stress: concept and some practical aspects. *Antioxidants*, 9(9): 852. <https://doi.org/10.3390/antiox9090852>
- Sies, H. y Jones, D.P. (2020). Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(7), 363-383. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0230-3>
- Singh, A., Singh, N.B., Hussain, I. y Singh, H. (2017). Effect of biologically synthesized copper oxide nanoparticles on metabolism and antioxidant activity to the crop plants *Solanum lycopersicum* and *Brassica oleracea* var. *Botrytis*. *Journal of Biotechnology*, 262: 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.09.016>
- Sirerol, J.A., Rodríguez, M.L., Mena, S., Asensi, M.A., Estrela, J.M. y Ortega, A.L. (2016). Role of natural stilbenes in the prevention of cancer. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, Vol. 2016: 3128951. <https://doi.org/10.1155/2016/3128951>
- Siriamornpun, S. y Kaewseejan, N. (2017). Quality, bioactive compounds and antioxidant capacity of selected climacteric fruits with relation to their maturity. *Scientia Horticulturae*, 221: 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.020>
- Soto Leiva, C. (2015). *Determinación de la capacidad antioxidante de las espigas de la planta de chíá*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137522>
- Stevanovic, T., Diouf, P.N. y Garcia-Perez, M. (2009). Bioactive polyphenols from healthy diets and forest biomass. *Current Nutrition & Food Science*, 5(4): 264-295. <https://doi.org/10.2174/157340109790218067>
- Sueishi, Y., Sue, M. y Masamoto, H. (2018). Seasonal variations of oxygen radical scavenging ability in rosemary leaf extract. *Food Chemistry* 245: 270-274. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.085>
- Sy, C., Dangles, O., Borel, P. y Caris-Veyrat, C. (2015). Interactions between carotenoids from marine bacteria and other micronutrients: impact on stability and antioxidant activity. *Marine Drugs*, 13(11): 7020-7039. <https://doi.org/10.3390/md13117020>
- Tarushi, A., Kakoulidou, C., Raptopoulou, C.P., Psycharis, V., Kessissoglou, D.P., Zoi, I., Papadopoulos, A.N. y Psomas, G. (2017). Zinc complexes of diflunisal: Synthesis, characterization, structure, antioxidant activity, and *in vitro* and *in silico* study of the interaction with DNA and albumins. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 170: 85-97. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2017.02.010>
- Tian, X. y Schaich, K.M. (2013). Effects of molecular structure on kinetics and dynamics of the trolox equivalent antioxidant capacity assay with ABTS+. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(23): 5511-5519. <https://doi.org/10.1021/jf4010725>
- Torres-León, C., Rojas, R., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. y Aguilar, C.N. (2017). Extraction of antioxidants from mango seed kernel: Optimization assisted by microwave. *Food and Bioproducts Processing*, 105: 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.005>
- Traber, M. y Atkinson, J. (2007). Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radical Biology and Medicine*, 43(1): 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.03.024>
- Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., Bartolomé-Camacho, M.C., Martínez-Flores, H.E. y García-Pérez, M.E. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 16: 15-29. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29781/1/2.%201583-4794-2-PB.pdf>
- Vázquez-Briones, M.C., Chavez-Reyes, Y. y Mata-García, M. (2019). Frutas tropicales como fuentes de antioxidantes y sus perspectivas en la industria de bebidas. *Proceedings-©ECORFAN-México*. pp. 68-81.

https://www.ecorfan.org/proceedings/Proceedings_Biologia_y_Quimica_TI/Proceedings_Biologia_y_Quimica_TI_7.pdf

Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D. y Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3): 239-254. <http://www.alanrevista.org/ediciones/2016/3/art-10>

Viglianisi, C. y Menichetti S. (2019). Chain breaking antioxidant activity of heavy (S, Se, Te) chalcogens substituted polyphenols. *Antioxidants*, 8(10): 487. <https://dx.doi.org/10.3390%2F antioxidants8100487>

Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E. y Pérez-Álvarez, J.A. (2011). Antioxidant properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) bagasses obtained as co-product in the juice extraction. *Food Research International*, 44(5): 1217-1223. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.057>

Wang, L., Xu, X., Su, G., Shi, B. y Shan, A. (2017). High concentration of vitamin E supplementation in sow diet during the last week of gestation and lactation affects the immunological variables and antioxidative parameters in piglets. *Journal of Dairy Research*, 84(1), 8-13. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000650>

Wilson, D.W., Nash, P., Buttar, H.S., Griffiths, K., Singh, R., De Meester, F., Horiuchi, R. y Takahashi, T. (2017). The role of food antioxidants, benefits of functional foods, and influence of feeding habits on the health of the older person: An Overview. *Antioxidants*, 6(4): 81. <https://doi.org/10.3390/antiox6040081>

Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E. y Prior, R.L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 4026-4037. <https://doi.org/10.1021/jf049696w>

Xu, C., Qiao, L., Guo, Y., Ma, L. y Cheng, Y. (2018). Preparation, characteristics and antioxidant activity of polysaccharides and proteins-capped selenium nanoparticles synthesized by *Lactobacillus casei* ATCC 393. *Carbohydrate Polymers*, 195, 576-585. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.110>

Yang, C., Fischer, M., Kirby, C., Liu, R., Zhu, H., Zhang, H., Chen, Y., Sun, Y., Zhang, L. y Tsao, R. (2018). Bioaccessibility, cellular uptake and transport of luteins and assessment of their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 249, 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.055>

Yepes-Betancur, D.P., Márquez-Cardozo, C.J., Cadena-Chamorro, E.M., Martínez-Salazar, J., Torres-León, C., Ascacio-Valdes, A. y Aguilar, C.N. (2021). Solid-state fermentation-assisted extraction of bioactive compounds from hass avocado seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 126: 155-163. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.012>

Yin, Y., Zheng, Z. y Jiang, Z. (2019). Effects of lycopene on metabolism of glycolipid in type 2 diabetic rats. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 109: 2070-2077. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2018.07.100>

Young, A. y Lowe, G. (2018). Carotenoids—Antioxidant Properties. *Antioxidants*, 7(2): 28. <https://dx.doi.org/10.3390%2F antioxidants7020028>

Yu J, Bi X, Yu B, Chen D. 2016. Isoflavones: anti-inflammatory benefit and possible warnings. *Nutrients*, 8(6): 361. <https://dx.doi.org/10.3390%2F nutrients8060361>

Yunping, Y., Di, Z., Ruiting, L., Hang, Z., Wentao, L., Changmo, L. y Shuo, W. (2020). Zeaxanthin in soybean oil: impact of oxidative stability, degradation pattern, and product analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(17): 4981-4990. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07480>

Zhang, B., Cai, J., Duan, C.Q., Reeves, M.J. y He, F. (2015). A review of polyphenolics in oak woods. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(4): 6978-7014. <https://doi.org/10.3390/ijms16046978>

Zhao, L., Yuan, X., Wang, J., Feng, Y., Ji, F., Li, Z. y Bian, J. (2019). A review on flavones targeting serine/threonine protein kinases for potential anticancer drugs. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 27: 667-685. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2019.01.027>

Estado del arte programas de posgrado en Inocuidad y Procesos Biotecnológicos Alimentarios (IPBA)

State of the art postgraduate programs in Food Safety and Biotechnological Processes (FSBP)

Andrea Vásquez García¹ 

Norma Jurado Cortes² 

Beatriz Guevara Guerrero³ 

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Palmira andrea.vasquez@unad.edu.co

²Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bogotá norma.jurado@unad.edu.co

³Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Cali beatriz.guevara@unad.edu.co

Recibido: 25/02/2022 Aceptado: 01/03/2022

Resumen En este artículo se presenta una reflexión del estado del arte de los programas de posgrado universitarios en las disciplinas de Inocuidad y Procesos Biotecnológicos Alimentarios (IPBA) y áreas de formación académica afines hasta el 2021. Es parte del proceso de creación, diseño y desarrollo de un nuevo programa a nivel de especialización tecnológica elaborado por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) de Colombia. La búsqueda de información sistemática se realizó mediante bases de datos educativas, listados que agrupan programas de posgrado, buscadores de posgrado a nivel de especialización, especialización tecnológica, maestría, artículos y documentos de organizaciones que trabajan en IPBA. El objetivo de revisar el estado del arte de programas de posgrado en IPBA, es conocer qué temáticas se están enseñando en las universidades a nivel nacional y mundial frente a las necesidades de las empresas e industrias de alimentos y si existe una congruencia entre lo que se está enseñando académicamente a nivel nacional y mundial y los requerimientos de las organizaciones. Por tanto, se relacionaron los programas posgraduales a nivel nacional e internacional, analizando un bajo número de programas posgraduales con estas características y una gran necesidad de creación de nuevos programas de formación posgradual en el área de inocuidad y procesos biotecnológicos alimentarios.

Palabras clave: alimentos; educación; revisión; academia; posgrado.

Abstract This article presents a reflection on the state of the art of university graduate programs in the disciplines of Food Safety and Biotechnological Food Processes (IPBA) and related academic training areas until 2021. It is part of the process of creation, design and development of a new program at the technological specialization level developed by the National Open and Distance University (UNAD) of Colombia. The search for systematic information was carried out through educational databases, listings that group graduate programs, search engines for graduate programs at the specialization level, technological specialization, master's degree, articles and documents from organizations working in IPBA. The objective of reviewing the state of the art of postgraduate programs in IPBA is to know what topics are being taught in universities at the national and global level in relation to the needs of food companies and industries and if there is a congruence between what is being taught academically at the national and global level and the requirements of the organizations. Therefore, postgraduate programs at national and international level were related, analyzing a low number of postgraduate programs with these characteristics and a great need for the creation of new postgraduate training programs in the area of food safety and biotechnological food processes.

Keywords: food; education; revision; academy; postgraduate.

Introducción

El trabajo presenta la reflexión en torno a una revisión del estado del arte de los programas de posgrado, específicamente especializaciones, especializaciones tecnológicas y maestrías ofrecidas en los temas relacionados con las disciplinas Inocuidad y Procesos Biotecnológicos Alimentarios (IPBA) y áreas afines hasta el año 2021. El estudio no incluye programas no oficiales, es decir, los programas relacionados tienen licencia de funcionamiento por parte de las entidades de educación.

Lo expuesto, se ha realizado con el propósito de construir un nuevo programa de especialización tecnológica en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) (Colombia), mediante la búsqueda de información sistemática utilizando bases de datos educativas, sitios web que agrupan programas de posgrado como especialización, especialización tecnológica y maestría, en estas áreas, buscadores, artículos, documentos de organizaciones que trabajan en el campo de IPBA (incluyendo temas conocidos como biotecnología, calidad, seguridad alimentaria, inocuidad, procesos biotecnológicos), sitios web de universidades y entrevistas con expertos en el área.

Contextualizado en el campo de la IPBA, el objetivo es adquirir un conocimiento profundo sobre lo que se enseña en la academia alrededor del mundo y cuáles son las necesidades de la industria de alimentos, en cuanto a cuáles son las habilidades y competencias de los profesionales para ser contratados (ANDI, 2019). El interés radica en el conocimiento de la coherencia entre lo que se imparte actualmente en las universidades a nivel de posgrado y las necesidades reales de las industrias de alimentos (Morton, 1992).

Esta revisión es uno de los pasos iniciales para diseñar el currículo, los procesos educativos, los temas y las competencias requeridas en la academia (ACOFI, 2021).

El documento presenta, en la primera parte la necesidad de revisión, en la segunda, el proceso de búsqueda de información sistemática y las herramientas utilizadas; en un tercer apartado las necesidades de las organizaciones; en el cuarto, la comparación entre lo que se enseña en la academia y las necesidades de las industrias de alimentos; y finalmente, las conclusiones y trabajos futuros.

Metodología

Necesidad de revisión

El desarrollo de la biotecnología generó un importante espacio de estudio e investigación en la disciplina Inocuidad y Procesos Biotecnológicos Alimentarios (IPBA). En la industria de alimentos, la inocuidad es uno de los principales aspectos que deben ser tenidos en cuenta durante los procesos productivos y hace referencia a todos los riesgos, sean crónicos o agudos, que pueden hacer que los alimentos sean nocivos para la salud del consumidor (FAO, 2021). Por consiguiente, los procesos biotecnológicos son los métodos de producción y mejora de productos por medio de herramientas biotecnológicas, para garantizar una mayor calidad, valor nutricional y seguridad del alimento producido, aspectos articulados directamente en el futuro, en la evolución económica de los países y en el estado nutricional de sus poblaciones (Dos Santos Silva *et al.*, 2012).

La constante evolución de las necesidades de la industria de alimentos,

empresas y organizaciones vinculadas a este sector económico, los usuarios, los contextos y la educación generan la necesidad de revisar y verificar si lo que se enseña en los programas académicos a nivel de posgrado, si corresponde con las necesidades y habilidades de las empresas relacionadas (Melo *et al.*, 2017). Es necesario considerar la coherencia entre los requisitos organizativos y la oferta académica, así como indagar acerca de las tendencias de la investigación en las universidades - entidades y si se aplican en la industria de alimentos (ANDI, 2019).

Proceso de búsqueda

Con base en la metodología sistemática de Kitchenham (2012), para la búsqueda de información se definieron las fuentes primarias de datos y se desarrolló la revisión de cada una de las páginas de los programas de especialización, especialización tecnológica y maestría encontradas. Con la información obtenida, se realizó una clasificación de acuerdo con la ubicación geográfica y un análisis de los programas curriculares para definir áreas y temas de trabajo en los programas encontrados.

Se tuvieron en cuenta algunos estudios sobre el estado del arte en IPBA en diferentes regiones, como: Actualización y armonización curricular de los programas de ingeniería de alimentos en Colombia (Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería [ACOFI], 2021), Biotecnología en Estados Unidos (Briggle, 2012), Retos y perspectivas de la educación en ciencia y tecnología de los alimentos: perspectiva de Nepal (Gartaula & Adhikari, 2014), El gerente de consultoría en inocuidad alimentaria en Colombia (Lobato-Belmont & Juárez-Hernández, 2019), Estudio del sector biotecnológico en la industria Colombiana (Mesa *et al.*, s.f.), La educación

superior en Colombia: situación actual y análisis de eficiencia (Melo *et al.*, 2017), Estado del arte sobre la seguridad alimentaria en Colombia (Martínez, 2013) y El Estado del arte de la biotecnología en Colombia (Forero, 2011).

El proceso sigue los siguientes pasos:

1) pregunta de investigación, 2) conceptos y definiciones, 3) medios de información consultados, 4) criterios de inclusión y exclusión, 5) consulta de búsqueda, 6) proceso de revisión y 7) resultados de búsqueda.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los programas de posgrado a nivel nacional e internacional en Inocuidad y Procesos Biotecnológicos Alimentarios?

Conceptos y definiciones

Las definiciones de conceptos utilizadas en la búsqueda actual de información son las siguientes:

- Programas de especialización

Estos programas tienen como propósito la profundización en los saberes propios de un área de la ocupación, disciplina o profesión de que se trate, orientado a una mayor cualificación para el desempeño profesional y laboral. Las instituciones podrán ofrecer programas de especialización técnica profesional, tecnológica o profesional universitaria, de acuerdo con su carácter académico. (Ministerio de Educación Nacional, 2019, p.18).

- Programa de especialización tecnológica

La especialización tecnológica es un título otorgado a quienes tienen formación tecnológica

o de ingeniero técnico y hayan cursado satisfactoriamente un programa de formación que busca producir conocimiento tecnológico, que solucione problemas de nivel estratégico en la organización; que desarrollen la capacidad para coordinar actividades interdisciplinarias en un campo especializado de la tecnología, que gestionen, organicen y manejen recursos. (Orjuela, 2019, p.34).

– Programas de maestría

Los programas de maestría tienen como propósito ampliar y desarrollar los conocimientos, actitudes y habilidades para la solución de problemas disciplinares, interdisciplinarios o profesionales y/o dotar a la persona de los instrumentos básicos que la habilitan como investigador. Para cumplir con dicho propósito, según la normatividad vigente, los programas de maestría podrán ser de profundización o especialización (Ministerio de Educación Nacional, 2019, p.18).

– Inocuidad

De acuerdo con lo establecido por el Codex Alimentarius, es la garantía de que un alimento no causará daño al consumidor cuando el mismo sea preparado o ingerido de acuerdo con el uso a que se destine. Los alimentos son la fuente principal de exposición a agentes patógenos, tanto químicos como biológicos (virus, parásitos y bacterias), a los cuales nadie es inmune, ni en los países en desarrollo ni en los desarrollados. Cuando son contaminados en niveles inadmisibles de agentes patógenos y contaminantes químicos o con otras características peligrosas, conllevan riesgos sustanciales para la salud de los consumidores y representan grandes cargas económicas para las diversas comunidades y naciones. La temática de inocuidad es muy amplia, se refiere también a los contaminantes químicos presentes en los alimentos, alimentos producidos por los

modernos medios biotecnológicos, evaluación de riesgos microbiológicos, y publicaciones y documentos (OMS, 2021).

– Procesos biotecnológicos alimentarios

Se centran en la creación de enzimas y proteínas que son útiles en una variedad de productos y sectores, como en el procesamiento de alimentos y bebidas (Briggle, 2012). La fermentación es considerada como uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos, ha desempeñado un papel clave para permitir que las personas sobrevivan a períodos de escasez de alimentos y fue la forma más temprana de biotecnología alimentaria (Campbell-Platt, 2014).

Medios de información consultados

Se definieron conceptos para realizar la búsqueda de información sistemática. Las revisiones iniciales se realizaron en bases de datos educativas, listados de sitios web de programas de posgrado, artículos científicos, documentos de organizaciones y entrevistas con expertos en el área, entre otros:

Entrevistas. Diferentes medios realizaron entrevistas con expertos en IPBA.

Bases de datos. Se buscaron especializaciones tecnológicas y maestrías en inocuidad y procesos biotecnológicos alimentarios de diferentes países como la Unión Europea, España, Reino Unido, Estados Unidos, México, Colombia, Chile, Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay, Perú y Australia.

Buscadores y metabuscadores. Google fue el motor de búsqueda con más información disponible para el trabajo.

Artículos científicos. Bases de datos científicas que tenían cuerpos de conocimiento relacionados con nuestras áreas de estudio: Scielo,

Springer, Elsevier, SCOPUS, adicionalmente se consultaron páginas web como: la FAO, OMS y Codex alimentarius.

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión fueron: 1) artículos publicados entre 2010 y 2021, 2) artículos publicados en congresos, revistas y capítulos de libros, 3) artículos escritos en español, inglés y portugués, 4) artículos relacionados con IPBA y áreas afines 5) búsquedas en bases de datos educativas, 6) listados de programas de posgrado en IPAB y áreas afines, 7) entrevistas con expertos, 8) programas de posgrado nivel oficial y 9) se realizó la búsqueda de posgrado hasta 2021.

Los criterios de exclusión fueron: 1) artículos no disponibles para descargar, 2) artículos redactados en otros idiomas fuera del español, inglés y portugués, 3) artículos no encontrados en las bases de datos indicadas, 4) información sobre programas de pregrado, maestrías, doctorados, cursos gratis, diplomados, posgrados no oficiales o no reconocidos, 5) títulos no oficiales y 6) programas de posgrados inactivos.

Consulta de búsqueda

Los términos de búsqueda utilizados fueron: (“Especialista” O “Especialización”) O (“Maestría”)O(“Magister”)O(“Especialización tecnológica”) O (“Inocuidad”) O (“Alimentos”) O (“Procesos biotecnológicos”) O (“Biotecnología”).

Proceso de revisión

Siguiendo los criterios y procedimientos, se encontraron las listas de programas de posgrado

relacionados con IPBA. Posteriormente, las entrevistas (que consisten en un conjunto de preguntas breves sobre el conocimiento de los programas de especialización relacionados con el estudio) con diferentes expertos en IPBA y áreas relacionadas nos permitieron analizar los datos. Se registra en matrices de datos con un código para cada programa, incluyendo nombre y URL, país, número de créditos, énfasis y áreas de trabajo. Una vez aclarado y clasificado se generó la información que se necesitaba para continuar.

Resultados

La Tabla 1 resume los programas de especialización, especialización tecnológica y maestría que se encuentran a nivel nacional e internacional, se han clasificado por continente, país, su número de programas, la modalidad de educación y su duración promedio.

Se encontraron los siguientes 53 programas académicos de nivel de posgrado en el área de IPBA (mapa de la Figura 1):

- 23 América del Sur (Argentina, Colombia, Chile, Brasil, Paraguay Perú y Uruguay).
- 12 Europa (Alemania, España, Francia, Hungría, Polonia, Rusia y Suecia).
- 8 Centroamérica (México y Puerto Rico).
- 6AméricadelNorte(EstadosUnidosdeAmérica).
- 3 Asia y Oceanía (Australia, Emiratos Árabes y Vietnam).
- 1 África (Egipto).

Tabla 1

Programas de especialización, especialización tecnológica y maestría en IPBA y programas relacionados a nivel nacional e internacional con los temas, la metodología educativa y el tiempo promedio para completar los programas.

Continente	Tipo de posgrado	País (# de programas)	Tema	Modalidad de la educación		Tiempo Promedio (meses)
				Presencial	Virtual	
América del Norte	Especialización	0				
	Especialización Tecnológica	0				
	Maestría	Estados Unidos (6)	Biotecnología	6		12
América del Sur	Especialización		Biotecnología Agrícola			
		Argentina (2)	Biotecnología Industrial			
		Colombia (6)	Calidad			
		Paraguay (1)	Inocuidad	10	1	12
		Perú (1)	Inocuidad Agroalimentaria			
		Uruguay (1)	Biología molecular			
			Biotecnología agroambiental			
			Buenas Prácticas Agropecuarias			
			Innovación de Productos Alimenticios			
	Especialización Tecnológica	Colombia (5)	Calidad y Producción de Alimentos	5		6
			Inocuidad e Higiene Alimentaria			
			Calidad de la Producción de Alimentos			
	Maestría	Argentina (1)	Inocuidad alimentaria			
		Colombia (4)	Calidad de alimentos	3	1	12
		Chile (1)	Biotecnología			
Asia y Oceanía	Especialización	0				
	Especialización Tecnológica	0				
		Australia (1)				
	Maestría	Emiratos Árabes (1)	Biotecnología	3		24
África		Vietnam (1)				
	Especialización	0				
	Especialización Tecnológica	0				
Centro América	Maestría	Egipto (1)	Biotecnología	1		24
	Especialización	México (3)	Biotecnología Inocuidad	3		12
	Especialización Tecnológica	0				
	Maestría	México (3)	Biotecnología Inocuidad	4		24
		Puerto Rico (1)				

Continente	Tipo de posgrado	País (# de programas)	Tema	Modalidad de la educación		Tiempo Promedio (meses)
				Presencial	Virtual	
Europa	Especialización	0				
	Especialización Tecnológica	0				
		EEspaña (4)				
		Rusia (1)				
		Reino Unido (2)	Biotechnología avanzada			
		Polonia (4)	Biotechnología en alimentos			
	Maestría	Hungría (1)		12		12
		Portugal (1)	Seguridad Alimentaria			
		Francia (1)				
		Alemania (1)				
		Suecia (1)				

Nota. Elaboración propia.

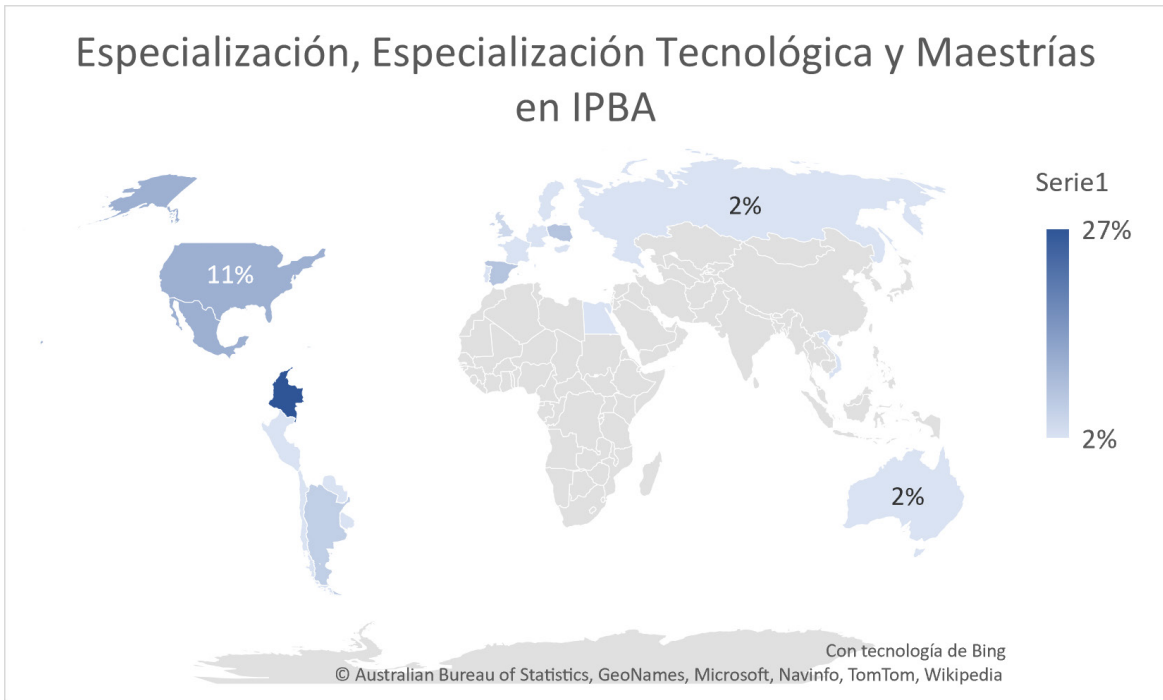


Figura 1

Mapa mundial de los programas de especialización, especialización tecnológica y maestría en IPBA ubicados en cada país.

Nota. Elaboración propia.

Como no se encontraron programas de especialización tecnológica en IPBA en América Latina, se amplía la búsqueda en otras áreas "cercanas" (como, Buenas Prácticas Agropecuarias, Innovación de Productos Alimenticios, Calidad y Producción de Alimentos,

Inocuidad e Higiene Alimentaria, Calidad de la Producción de Alimentos), explorando que tuvieran temas relacionados con IPBA dentro de su plan de estudios o programa académico y se encontraron cinco programas de especialización tecnológica en Colombia.

La necesidad de conocimientos sobre IPAB en empresas e industrias

Se encontraron artículos centrados específicamente en la importancia de la educación en IPBA, que nos muestran una visión general de la enseñanza amplia y general. Debido a la naturaleza compleja de la inocuidad de los alimentos, una educación adecuada en este tema requiere un enfoque multidisciplinario que involucre muchas áreas científicas, como la ciencia de los alimentos, microbiología, química, toxicología, medicina (veterinaria/humana), ciencia animal, epidemiología, salud ambiental, promoción de la salud, política sanitaria y salud global (Samad, 2016). La biotecnología alimentaria se desarrolla en conjunto con disciplinas como la química, la ingeniería, la microbiología, control de calidad y nutrición, para garantizar la seguridad alimentaria (Gartaula & Adhikari, 2014).

De acuerdo con la información recopilada, la inocuidad y los procesos biotecnológicos alimentarios son temas esenciales en el desarrollo de los procesos académicos relacionados con IPBA, procesamiento y tecnología de alimentos, biotecnología agrícola, métodos de detección y microbiología predictiva, alérgenos alimentarios y procesamiento; calidad de la comida; ley de modernización e inocuidad de los alimentos - normas de inocuidad de los productos agrícolas frescos, microbianas y de calidad y saneamiento; control de reglas preventivas, sistemas preventivos de seguridad alimentaria - HACCP y sus datos, preparación y manipulación de alimentos, legislación y regulación, evaluación, gestión y comunicación de riesgos parásitos, virus y priones, nuevos alimentos e inteligencia artificial (USDA, 2021); microorganismos, enzimas, fermentación, proteínas, levaduras,

probióticos y alimentos fermentados (Fellows, 2009).

El incremento de la población mundial, el desarrollo e industrialización de la agricultura y la producción ganadera para satisfacer la creciente demanda de alimentos, plantean a la vez retos y problemas para la inocuidad. Esto, conlleva a un mayor trabajo por parte de los productores y distribuidores en el aseguramiento de esta. Los riesgos locales pueden convertirse rápidamente en emergencias nacionales e internacionales debido a la eficacia y el alcance de la comercialización de productos. En los últimos diez años se ha notificado la aparición de enfermedades graves transmitidas por los alimentos en todos los continentes, a menudo amplificadas por la globalización del comercio (OMS, 2020).

Implementar la biotecnología en la industria de alimentos, logrará contribuir a mejorar los productos actuales, a ampliar su gama en segmentos innovadores y sin competencia y a controlar la calidad y seguridad. En definitiva, le puede proporcionar herramientas de mejora de la competitividad, y en última instancia, de la rentabilidad (Ramon *et al.*, 2005).

De acuerdo con Quintana *et al.* (2008) se puede afirmar que aún no se satisfacen las necesidades de formación de los recursos humanos para cubrir las demandas de las instituciones de salud y de otras vinculadas a la alimentación y la nutrición en sectores como instituciones hoteleras, gastronómicas, educativas, industriales y otras. El análisis condujo a la aparición de una lista de temas comunes que deben abordarse. Para comprenderlo mejor, fue organizado en tres categorías (Tabla 2): temas encontrados en posgrado, necesidades de las empresas y temas comunes (Martínez *et*

al., 2009; Quintana *et al.*, 2008).

Una parte importante del desarrollo de la biotecnología, es la formación de recursos humanos en todos los niveles. La variedad de disciplinas científicas implicadas en su desarrollo requiere la contribución de expertos de áreas que van desde la genética clásica, a la innovación en las industrias, a través de procesos celulares, biológicos, moleculares, bioquímicos, microbiólogos, bioinformáticos

y de bioseguridad (Martínez *et al.*, 2009). Por tanto, se convierte en un instrumento de particular importancia para lograr la soberanía agroalimentaria, con lo que la formación de talento al más alto nivel contribuirá de manera definitiva con esta meta. La difusión del conocimiento de esta, permitirá a la sociedad, acercarse a una disciplina científica que prácticamente se limitaba a las grandes corporaciones de la ciencia y la tecnología (Martínez *et al.*, 2009).

Tabla 2

Temas comunes de comparación academia-organización.

Temas programas de posgrado		Necesidades organizaciones	Tópicos comunes
Biotechnología Agrícola		Inocuidad	Inocuidad
Biotechnología Industrial		Sanidad de los alimentos	Biología molecular
Calidad		Sistemas de inocuidad alimentaria	Biología celular
Inocuidad		Microbiología	Genética molecular
Inocuidad Agroalimentaria		Seguridad alimentaria	Biotechnología agroambiental
Biología molecular	Biotechnología avanzada	Gestión de la inocuidad alimentaria	Biotechnología agrícola
Biología celular	Biotechnología en alimentos	Calidad	Biotechnología microbiana
Biotechnología alimentaria	Seguridad Alimentaria	Buenas prácticas de fabricación	Biotechnología Industrial
Bioinformática	Biotechnología alimentaria	Buenas prácticas de manipulación	Biotechnología biomédica
Biotechnología agroambiental	Control de Bioprocesos Industriales	HACCP	Biotechnología alimentaria
Buenas Prácticas Agropecuarias	Valor agregado Mejorar los procesos	ISO 22000:2018 ISO/TS 22002-1:2009	Bioinformática
Innovación de Productos Alimenticios	Aprovechar coproductos o subproductos	ISO/TS 22002-4:2013	Microbiología
Calidad y Producción de Alimentos		FSSC 22000	Sistemas de calidad
Genética molecular		Biotechnología	Seguridad alimentaria
Inocuidad e Higiene Alimentaria		Control de procesos industriales	Seguridad alimentaria
Calidad de la Producción de Alimentos		Valor agregado Mejorar los procesos Aprovechar coproductos o subproductos	Aseguramiento de la calidad
Inocuidad alimentaria			Inocuidad agroalimentaria
Calidad de alimentos			Calidad
Microbiología			

Nota. Elaboración propia.

Es necesario proponer un análisis más profundo dentro de los programas de especialización para verificar y validar si los planes de estudio están actualizados, de tal forma que se logre

la relación o coherencia con las necesidades actuales. Luego de la comparación pertinente, se concluye que un nuevo programa de posgrado debe incluir temas para adaptarse a estas.

Conclusiones

Se ha realizado un análisis profundo y serio que validó o refutó las sospechas y brindó algunos hallazgos nuevos importantes como:

Se encontraron 53 programas de posgrado relacionados con IPBA en todo el mundo, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión definidos para la búsqueda. Estos programas se dividen geográficamente de la siguiente manera: 23 América del Sur, 12 en Europa, 8 Centroamérica, 6 América del Norte, 3 Asia y Oceanía y 1 África. De estos, solamente 2 programas son completamente virtuales y se encuentra en Colombia, es decir, el 3,7%

Tabla 3

Análisis de temas comunes

Tópicos en común	Número de programas de posgrado trabajando en el tema	Número de programas de posgrado trabajando en el tema (%)
Biotecnología	34	47
Biología molecular	5	7
Biología celular	1	1,4
Genética molecular	1	1,4
Biotecnología agroambiental	1	1,4
Biotecnología agrícola	1	1,4
Biotecnología microbiana	1	1,4
Biotecnología industrial	1	1,4
Biotecnología biomédica	1	1,4
Biotecnología alimentaria	1	1,4
Bioinformática	1	1,4
Microbiología	1	1,4
Inocuidad	14	19
Sistemas de calidad	1	1,4
Sistemas de Gestión de la Calidad	1	1,4
Seguridad alimentaria	2	19
Aseguramiento de la calidad	1	1,4
Inocuidad agroalimentaria	1	1,4
Calidad	3	4

Nota. Elaboración propia.

del total, mientras que el 98% restante son presenciales.

Se pudieron identificar tópicos en común como biotecnología, biología molecular e inocuidad registrados en la tabla 3, relacionados con los temas de la propuesta del nuevo programa de especialización tecnológica en IPBA. Aunque algunos programas incluyen temas de IPBA en sus planes de estudio (o en algunos de sus cursos), no existe ningún programa de posgrado relacionado con IPBA en toda América Latina. Estos conocimientos confirman la sospecha de que existe una oportunidad/necesidad real de contribuir a la región en mención, con programas de posgrado de este tipo.

Otro hallazgo importante es que la Biotecnología e Inocuidad son temas importantes en el mundo. Por lo que, en un futuro próximo, se necesitarán programas de posgrado en IPBA en otros idiomas como chino, japonés, árabe o ruso. Por otro lado, la Biología molecular tiene importancia en países como Colombia, Polonia, Dubái y Suecia; también, es necesario fortalecer los programas para que incluyan su aplicación en la industria de alimentos a través de los procesos alimentarios.

El análisis y las experiencias de autores de IPBA, revelan dos problemas de conocimiento para diseñar un nuevo programa: a) las necesidades y características del proceso formativo en IPBA; b) desarrollo de soluciones con herramientas biotecnológicas enfocadas al diseño de nuevos procesos con alto valor agregado. Existe una brecha entre el funcionamiento de los programas de posgrado existentes y algunos de los temas que las empresas necesitan actualmente y se identifican algunas, pero se deben realizar más investigaciones. Resulta importante, realizar un estudio profundo para mejorar la comprensión de las necesidades de las empresas de la industria de alimentos y para enseñarles las ventajas que IPBA puede aportarles.

De acuerdo con las propuestas de formación de alto nivel para egresados, en el campo de la IPBA, es importante incorporar, en los nuevos programas, funcionalidades como: i) Modalidad virtual para aprovechar los beneficios de las tecnologías de la información y la comunicación que permiten el acceso a la educación de profesionales en cualquier parte del mundo; ii) Articular redes académicas que las capacidades de investigadores de múltiples universidades; iii) Lengua española para posibilitar la inclusión de la población hispanohablante de toda Latinoamérica.

Teniendo en cuenta los resultados, la UNAD tiene la capacidad para enfrentar el desafío de diseñar y ofrecer el primer programa de especialización tecnológica en línea en el campo de la IPBA en América Latina, en modalidad virtual; responde a las necesidades académicas y organizativas encontradas. Se debe incluir todos los hallazgos y consideraciones descubiertas para agregar cursos que apoyen el descubrimiento de las necesidades de la industria de alimentos, las características y contextos del sector productivo a partir de la garantía de la inocuidad y el desarrollo de soluciones biotecnológicas en la industria de alimentos.

Referencias

- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería [ACOFI], (2021). Actualización y armonización curricular de los programas de ingeniería de alimentos en Colombia. Capítulo de Ingeniería de Alimentos. Opciones Gráficas Editores Ltda. <http://www.acofi.edu.co/capitulos/aspectos-generales-capitulo-de-ingenieria-de-alimentos/>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI]. Cámara de la Industria de Alimentos, (2019). Una industria que innova y construye país. <http://www.andi.com.co/Uploads/ANDIA Alimentos.pdf>
- Briggle, A. (2012). Biotechnology. Encyclopedia of Applied Ethics, 300-308. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373932-2.00387-2>
- Campbell-Platt, G. (1994). Fermented foods — a world perspective. Food Research International, 27, 253-257. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0963996994900930?via%3Dihub>
- Decreto 1330 de 2019. [Ministerio de educación Nacional]. Por el cual se sustituye el Capítulo 2 y se suprime el Capítulo 7 del Título 3 de la Parte 5 del Libro 2 del Decreto 1075 de 2015 -Único Reglamentario del Sector Educación. Julio 25 de 2019.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (2021). Food Safety Topics. National Agricultural Library. <https://www.nal.usda.gov/legacy/fsrio/food-safety-topics-0>

Dos Santos Silva D. B., Da Silva L. E., Do Amaral Crispim

- B., Oliveira Vaini J., Barufatti Grisolia A. y Pires de Oliveira K. M. (2012). Biotecnología aplicada a la alimentación y salud humana. Revista Chilena Nutricional, 39 (3). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000300014>
- Fellows, P. J. (2009). Food biotechnology. Food Processing Technology (Third edition), 229-270.
- Forero, G. (2011). El Estado del arte de la biotecnología en Colombia. Universidad EAN. Bogotá. <http://hdl.handle.net/10882/2666>
- Gartaula G. y Adhikari B. M. (2014). Challenges and prospects of food science and technology education: Nepal's perspective. Food Science & Nutrition, 2 (6): 623-627. <https://doi.org/10.1002/fsn3.173>
- Kitchenham, B.A. (2012). Systematic review in software engineering: Where we are and where we should be going- EAST '12, p.1. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2372233.2372235>
- Lobato-Belmont G. y Juárez-Hernández L.G. (2019). El gerente de consultoría en inocuidad alimentaria. Agroalimentaria, 25 (48), 69-87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7389451>
- Martínez C. (2013). Estado del arte sobre la seguridad alimentaria (1ª Parte). Revista questionar. 1, (1). 19-27. <https://doi.org/10.29097/23461098.136>
- Martínez, S., Corona, B., Tablada, L., Frías, M. T., Dickson, L., Villoch, A., Chongo, B., Suárez, M. y Obispo, N. (2009). Formación de recursos humanos en biotecnología para los países del alba: doctorado curricular en biotecnología animal. Revista de Salud Animal, 31(2), 133-136. <http://scielo.sld.cu/pdf/rsa/v31n2/rsa10209.pdf>
- Melo-Becerra L. A., Ramos-Forero J. E. y Hernández-Santamaría P.O. (2017). La educación superior en Colombia: situación actual y análisis de eficiencia. Desarrollo y sociedad. (78), 59-111. <https://doi.org/10.13043/dys.78.2>
- Mesa, L., Ramírez, A., Benavides, C., Barahona Vinasco, J. F., Grisales, J., Ramírez, C., Gómez, E. y Gómez Cardona, J. H. (s.f.). Estudio del sector biotecnológico en la industria colombiana. Estudio del sector biotecnológico en la industria colombiana, 22-47. Editorial Blanecolor S.A.S. ISBN 978-958-59498-4-3.
- Morton I.D. y Lenges J. (Eds.). (1992). Education and training in food science A Changing Scene. Woodhead Publishing. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9412518>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). Food and Agriculture Organization. Cuestiones alimentarias importantes. <https://www.fao.org/food-safety/background/es/>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020). Inocuidad de los alimentos. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). Educación en inocuidad de alimentos: Glosario de términos. OMS. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10433:educación-inocuidad-alimentos-glosario-terminos-inocuidad-de-alimentos&Itemid=41278&lang=es
- Orjuela Lasso C. A. (2019). glosario_sena. Servicio Nacional de Aprendizaje. https://www.sena.edu.co/es-co/ciudadano/Lists/glosario_sena/DispForm.aspx?ID=18&ContentTypeId=0x0100D3A8BC444C104E43840BB7D7E24AAA81
- Quintana, I., Gómez, A., Rodríguez, L., Rodríguez-Ojea, A. y Fernández, R. (2008). La formación de recursos humanos en alimentación y nutrición. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 46 (2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032008000200007
- Ramon, D., Moran M., Costa J., Lopez F., Arriola A., Marin A.C., Cuellar R., Camacho R. y Rodriguez F. (2005). Biotecnología en el sector agroalimentario. Genoma España, Sector agroalimentario. ISBN: 84-607-9024-X.
- Samad A. (2016). Food Safety and Security Education Associated with Veterinary Medicine on the Concept of One Health. BD Vet. Med. Rec, 2 (2): 131- 157.

Determination of antioxidant activity and phenolic compounds in different Mexican craft beers

Determinación de la actividad antioxidante y compuestos fenólicos en diferentes cervezas artesanales mexicanas

Daniel González Mendoza¹ 

Olivia Tzintzun Camacho² 

Vianey Méndez Trujillo³ 

¹Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali danielg@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali otzintzun@uabc.edu.mx

³Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali vianey.mendez.trujillo@uabc.edu.mx

Recibido: 16/03/2022 Aceptado: 21/03/2022

Resumen El objetivo del presente estudio fue evaluar y comparar el contenido fenólico (fenoles y flavonoides totales) y la capacidad antioxidante de diecisiete cervezas artesanales producidas en México. Los resultados mostraron una cantidad considerable de contenido de fenoles totales y flavonoides en los estilos Coffee Stout Imperial (362 mg GAE/L y 75 mg QE/L) y Stout Ale (299 mg GAE/L y 40,92 mg QE/L), seguidos por American Brown Ale (271 mg GAE/L y 27,35 mg QE/L), Brown Ale (211 mg GAE/L y 24,20 mg QE/L) y Dark (328 mg GAE/L y 20,94 mg QE/L). En contraste, la American Wheat Ale (65 mg GAE/L y 2,91 mg QE/L), Lager (102 mg GAE/L y 3,56 mg QE/L) e IPA (103,73 mg GAE/L y 3,75 mg QE/L) mostraron el menor contenido. La capacidad antioxidante se detectó en todas las cervezas evaluadas, principalmente en la de estilo Coffee Stout Imperial (80 %). En este estudio se observaron diferentes contenidos de carbohidratos totales según el tipo de cerveza, donde las Coffee Stout Imperial, American Brown Ale y Brown fueron las que presentaron el mayor contenido de carbohidratos (24,25, 15,55 y 15,36 g/L, respectivamente), seguidas del tipo Pilsner. (13,60g/L). Finalmente, nuestro estudio mostró que los diferentes estilos de cervezas en México presentaron diferentes contenidos de polifenoles (fenoles y flavonoides), capacidad antioxidante y carbohidratos. No obstante, las cervezas estilo Coffee Stout Imperial mostraron tener los mayores valores de los parámetros antes mencionados. Futuros estudios deben ser realizados en la evaluación de la actividad biológica de los diferentes estilos de cervezas sobre parámetros de nutrición en la población mexicana.

Palabras clave: antioxidantes; fenoles; flavonoides; México, cerveza artesanal.

Abstract The objective of the present study was to evaluate and compare the phenolic content (total phenols and flavonoids) and the antioxidant capacity of seventeen craft beers produced in Mexico. The results showed a considerable amount of content of total phenols and flavonoids in the styles Coffee Stout Imperial (362 mg GAE/L and 75 mg QE/L) and Stout Ale (299 mg GAE/L and 40.92 mg QE/L), followed by American Brown Ale (271 mg GAE/L and 27.35 mg QE/L), Brown Ale (211 mg GAE/L and 24.20 mg QE/L), and Dark (328 mg GAE/L and 20.94 mg QE/L). In contrast, the American Wheat Ale (65 mg GAE/L and 2.91 mg QE/L), Lager (102 mg GAE/L and 3.56 mg QE/L), and IPA (103.73 mg GAE/L and 3.75 mg QE/L) showed the lowest content of phenols and flavonoids. The antioxidant capacity is detected in all the beers evaluated, mainly in the Coffee Stout Imperial style beer (80%). In this study, different contents of total carbohydrates were observed according to the type of beer, with Coffee Stout Imperial, American Brown Ale, and Brown being the ones that presented the highest content of carbohydrates (24.25, 15.55, and 15.36 g/L, respectively) followed by the type of Pilsner beer. (13.60g/L). Finally, our study showed that the different styles of beers in Mexico presented different contents of polyphenols (phenols and flavonoids), antioxidant capacity, and carbohydrates. However, the Coffee Stout Imperial style beer showed the highest values of the aforementioned parameters. Future studies should be carried out in the evaluation of the biological activity of the different styles of beers on nutritional parameters in the Mexican population..

Keywords: antioxidants; phenols; flavonoids; México, craft beer.

Introduction

Beer is a product recognized as a natural drink with great value, nutritionally rich in vitamins, minerals, amino acids, protein, and other bioactive compounds which are responsible for the many health benefits such as its antioxidant activity, anti-inflammatory, neuroprotective, and cardio-protective effects (Pandey & Rizvi, 2009; Sohrabvandi *et al.*, 2012; Di Domenico *et al.*, 2020; Ullah *et al.*, 2020). The history of beer reaches far back to the ancient times, when the yeast was probably the first microorganism to be exploited by Sumerians, Babylonians, and Egyptians in the production of brewed a very simple drink made of water, damp cereals left to germinate (Oliver, 1991; Habschied *et al.*, 2020a).

Beer contains a complex mixture of bioactive compounds derived from malt and hops, including hydroxycinnamic acids, such as ferulic and p-coumaric acids, flavonoids, tannins, coumarins, chalcones, and proanthocyanidins (Almeida *et al.*, 2017; Kawa-Rygielska *et al.*, 2019). The polyphenols provided from malt and hops are considered one of the quality indicators of beer processing (Mitić *et al.*, 2014). These contribute directly to the color, flavor, foam stability, shortening beer's shelf-life taste, and astringency characteristics of beer, and they also protect raw materials from oxidative degradation throughout the brewing process (Ambra *et al.*, 2021).

According to the information generated by the National Institute of Statistics and Geography (INEGI), beer represents the most consumed alcoholic beverage in Mexico and their annual per capita consumption is of 68 L/year. Mexico is the world's sixth-largest beer producer and 30th in the ranking of beer consumption worldwide (INEGI, 2021). Such a

level of consumption has led some researchers to focus on the nutritional appropriateness of beer, considering the potential benefits that it may confer to the human body when taken in moderation (Granato *et al.*, 2011; Boronat *et al.*, 2020). For example, the moderate consumption of lager and dark beer (225 mL per day) has been reported to increase plasma antioxidant capacity and anticoagulant activities, inhibit atherosclerosis, and facilitate cholesterol efflux, which may prevent lipid deposition in the vessel wall (Vinson *et al.*, 2003; De Francesco *et al.*, 2020). Additionally, some studies mention that a moderate intake of beer does not exert vascular detrimental effects nor increases body weight in obese healthy individuals (Padro *et al.*, 2018).

In Mexico, several studies have investigated the malts and solid waste from the craft beer process (Medina-Saavedra *et al.*, 2018; Guzmán-Ortiz *et al.*, 2019). However, studies about the biochemical parameters of Mexican craft beer are scarce. Although some studies exist regarding the polyphenol composition and antioxidant capacities of beers, there are no studies related to the determination of these parameters in commercial craft beers in Mexico. Therefore, the aim of this work was to evaluate and compare the phenolic content (total phenols and total flavonoids) and the antioxidant capacity of seventeen craft beers produced in Mexico.

Materials and methods

Beer samples

A total of 17 different styles of beer produced in Mexico in 2019 were collected from different markets and stored in the dark at 5 °C (Table 1). The analysis was made within a few days from

the purchase. All beers used in this study were analyzed before the expiration date (at least 6 months before). Beer bottles were analyzed

Table 1

Commercial beer evaluated in the present study

Sample code	Beer type	Ethanol contents (%)	Origin
Beer-01	American Wheat Ale	4.3	Nuevo León
Beer-02	Mexican Pale Ale	7.0	Baja California
Beer-03	Lager Agave	4.2	Guanajuato
Beer-04	Lager	5.0	Baja California
Beer-05	IPA	4.5	Nuevo León
Beer-06	Ginger	5.5	Baja California
Beer-07	Imperial IPA	7.2	Baja California
Beer-08	Golden Ale	6.5	Nuevo León
Beer-09	Craft Pilsner	4.1	Nuevo León
Beer-10	Brown Ale	5.0	Guanajuato
Beer-11	Stout Ale	5.5	Baja California
Beer-12	Brown	5.5	Baja California
Beer-13	Pilsner	5.0	Baja California
Beer-14	Coffee Stout Imperial	10.0	Baja California Sur
Beer-15	Dark	4.8	Baja California
Beer-16	American Brown Ale	4.8	Baja California
Beer-17	Brown Ale	5.3	Baja California

Note. Own work.

Determination of total phenolic and flavonoids content

The total phenolic content (TPC) of the beer was determined using the Folin-Ciocalteu as described by Singleton *et al.* (1999) with minor modifications (Stratil *et al.*, 2006). A beer sample (500 μ L) and Folin-Ciocalteu reagent (1.0 mL at 0.20 M) were pipetted into cuvettes. After 3 min, 1.0 mL of 20% (w/v) sodium carbonate was added and the mixtures were incubated in the dark at 25 °C for 60 min. The absorbance was measured using a spectrophotometer at the wavelength of 765 nm. All measurements were made in triplicates and the results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents (GAE) per liter of beer (mg GAE/L).

The total flavonoid content (TFC) was determined using aluminum chloride

immediately after opening. Samples of beer were degassed and centrifuged at 6000 rpm for 5 min, before their analysis.

colorimetric according to Hosu *et al.* (2014). Briefly, 50 μ L of beer samples were diluted with distilled water to a final volume of 500 μ L. Then 500 μ L of 10% AlCl_3 solution and 500 μ L of 1M CH_3COONa were added. The volume was adjusted to 2 mL with distilled water, mixed, and the absorbance at 430 nm was measured. The total flavonoid content was determined in triplicates and the results were expressed as quercetin equivalents in mg per liter of beer (mg QE/L).

Total carbohydrates in beer

Total carbohydrates were determined according to the Phenol-Sulfuric Acid method (Masuko *et al.*, 2005). Aliquots of 500 μ L beer sample were transferred into a test tube that was mixed with 500 μ L phenol solution and 7 mL concentrated sulfuric acid. After allowing, the test tubes are

vortexed for 30 s and placed for 20 min in a water bath at room temperature. Absorbance was measured at 490 nm. The content of reducing sugars was determined in triplicates and the results were expressed as the sugar content in mg per liter of beer (mg sugar content/L).

Determination of antioxidant activity

The antioxidant activity of beer samples was determined according to Mendez-Trujillo and Gonzalez-Mendoza (2021). An aliquot of 1 mL of DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical) in methanol (0.025 mg/100 mL) was mixed with 500 µL of beer sample. The mixture was incubated in the dark for 30 min at 25 °C and the absorbance was measured at 517 nm in a spectrophotometer. The antioxidant activity was determined in triplicates and report as DPPH radical inhibition (%) = $[(A_{\text{Control}} - A_{\text{Sample}})/A_{\text{Control}}] \times 100$. Where A_{Control} is the absorbance of the DPPH reaction and A_{Sample} is the absorbance in the presence of beer.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using Statistical software ver. 10 (StatSoft, Inc., USA) for Windows. The data were processed using analysis of variance (ANOVA) and Turkey's multiple range tests ($p < 0.05$). The results were expressed as a mean of triplicates $\pm$ standard division (SD).

Results and discussion

In the present study, our results showed there are significant differences in phenolic and flavonoid content according to the beer type (e.g., black, dark, lager, pilsner). Table 2 represents the analytical data for phenolic and flavonoid

content of the beers. Our results clearly show a considerable amount in beer-14 (Coffee Stout Imperial) and beer-11 (Stout Ale), followed by beer-16 (American Brown Ale), 17 (Brown Ale), 12 (Brown), and 15 (Dark).

In contrast, beer-01 (American Wheat Ale), beer-04 (Lager), and beer-05 (IPA) showed the lowest content of phenolic and flavonoid content. This is in accordance with the investigation made by Habschied *et al.* (2020b), who reported that black and dark beers are richer in polyphenolic content than the light (Lager and Pilsner) ones. Similar results were found by Sanna and Pretti (2015) in some Italian craft beers produced by aging in a wood barrel that previously contained red or white wines. These authors mention that the final concentration of phenolic compounds depends on the quantity and quality of raw materials, and on the brewing-aging processes. Socha *et al.* (2017), mention that the antioxidant activity and phenolic compounds in analyzed dark beers (e.g., hydroxycinnamic acids and hydroxybenzoic acids) are responsible for biological activities compared to other styles of beer.

Similar results were obtained by Gouvinhas *et al.* (2021) for 23 commercial beers in Portugal using the Folin-Ciocalteu method. The authors observed that higher values of phenolic and flavonoid content were also positively correlated to black and dark beers previously analyzed. On the other hand, beer contained a large variety of phenolic components derived from the biotechnological process that involves the fermentation of barley malt and hops that are responsible for the overall antioxidant activity (Chen *et al.*, 2014).

On the other hand, Zhao *et al.* (2012) reported that the phenolic compound group is by far the most antioxidative in 40 lager beers evaluated. In the present study, the antioxidant

activity was detected in all said beers (Table 2), but a significantly higher value was noted in dark and brown, beer-14 (80%), and beer-17 (73%).

Similar results were found by Pai *et al.* (2015), during the characterization of Indian beers, where the DPPH radical scavenging activity was observed in the range of 68 to 89

% in different styles of Indian beer. In contrast, beer-01 (American Wheat Ale), beer-08 (Golden Ale), beer-03 (Lager Agave), and beer-04 (Lager) showed the lowest content of antioxidant activity. The results for antioxidative activity obtained in our research can be compared to the ones published by Habschied *et al.*, (2020b), who observed a significant change in antioxidative activity in correlation with beer type.

Table 2

Total phenolic and flavonoid contents of selected commercial beer

Sample	Beer type	TPC (mg GAE/L)	TFC (mg QE/L)	DPPH radical inhibition (%)
Beer-01	American Wheat Ale	65.68±0.05	2.91±0.79	11.12±3.54
Beer-02	Mexican Pale Ale	154.20±0.23	5.92±7.61	63.30±1.37
Beer-03	Lager Agave	78.93±0.25	4.48±0.38	29.40±1.03
Beer-04	Lager	102.06±0.08	3.56±0.91	30.90±2.24
Beer-05	IPA	103.73±0.54	3.75±0.46	44.96±0.20
Beer-06	Ginger	122.92±0.04	4.48±0.62	59.68±1.06
Beer-07	Imperial IPA	164.23±0.84	7.16±0.14	63.88±1.73
Beer-08	Golden Ale	121.04±0.58	5.31±2.45	5.40±3.14
Beer-09	Craft Pilsner	109.47±0.86	4.05±2.09	39.74±4.40
Beer-10	Brown Ale	245.09±0.79	19.51±2.81	19.49±6.50
Beer-11	Stout Ale	299.11±0.06	40.92±0.51	55.30±1.93
Beer-12	Brown	288.58±0.33	34.18±2.67	64.48±2.48
Beer-13	Pilsner	148.01±0.22	4.58±2.10	55.21±2.34
Beer-14	Coffee Stout Imperial	362.05±0.86	75.20±3.90	80.85±0.78
Beer-15	Dark	328.29±4.80	20.94±3.75	52.16±3.07
Beer-16	American Brown Ale	271.41±1.03	27.35±2.40	61.19±3.55
Beer-17	Brown Ale	211.20±3.71	24.20±0.89	73.87±0.90

Note. Own work.

On the other hand, Gribkova *et al.* (2022) mention that genetic, technological, and agricultural factors in the raw material in the brewing process influence the content of natural antioxidants (polyphenols and melanoidins) in the beer. Therefore, further research is needed to elucidate the potential role of antioxidants

in beer and their variations concerning to agricultural and technological factors in their elaboration. The carbohydrates in beer vary from 3 to 61 g/L and play an important role in the fermentation process (Li *et al.*, 2020). In the present study, different contents of total carbohydrates were observed according to the beer type (Figure 1).

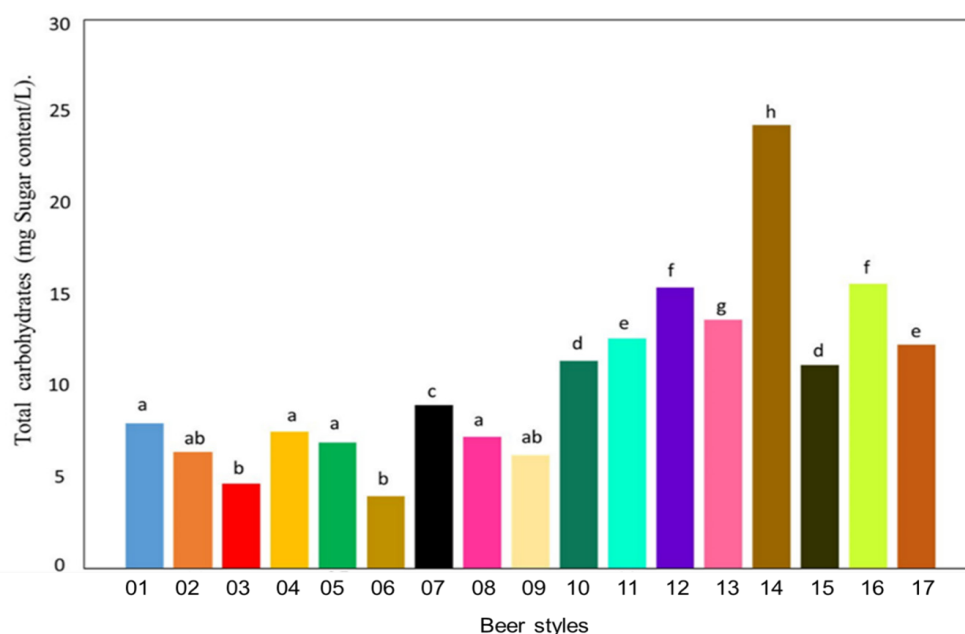


Figure 1

Total carbohydrates present in the different Mexican beer styles

Note. Own work.

Beers 14 (Coffee Stout Imperial), 16 (American Brown Ale), and 12 (Brown) presented the highest carbohydrate content (24.25, 15.55, and 12.57 g/L, respectively) followed by the beer type Pilsner (13.60 g/L). Brown Ale (beer-10 and 17), Stout Ale, and Dark showed values of 11.35, 11.12, 12.57, and 12.21 g/L total carbohydrates, respectively. On the other hand, beer types Imperial IPA (beer-07), American Wheat Ale (beer-01), Lager (beer-04), IPA (beer-05), Golden Ale (beer-08), Mexican Pale Ale (beer-02), and Craft Pilsner (beer-09) showed values of 8.92, 7.93, 7.48, 6.88, 7.18, 6.32, and 6.19 g/L total carbohydrates, respectively. Finally, beer types Lager Agave (beer-03) and Ginger (beer-06) showed the lowest content of total carbohydrates, 4.64 and 3.94 g/L among all beer samples analyzed.

According to Li *et al.* (2020), some brewing styles include fully attenuated low carbohydrate beers that contain amounts between (4–9 g/L) as a result of completely digested and fermented dextrins. On the other hand, Gąsior *et al.* (2020)

mention that the use of dark malts and roasted cereal grains in the production of brewing wort influence the carbohydrate profile. This may indicate that the content of sugars in the darker worts may be less susceptible to fermentation, or that the substances produced as a result of the Maillard reaction have an inhibitory effect on yeast metabolism (Coghe *et al.*, 2005; Puligundla *et al.*, 2021). Finally, further research is needed on the use of different raw materials, yeast strains, and untypical malts in the production of a low carbohydrate beer.

Conclusions

The present study showed that the different styles of beers in Mexico presented different contents of polyphenols and carbohydrates. However, Stout was the principal style that proved to have the highest amount of polyphenols. Future studies should be supported to evaluate the different bioactive compounds present in Mexican beers.

Acknowledgements

Acknowledgement to the Universidad Autónoma de Baja California, for the support granted for the realization of the project

References

- Almeida, A., Ferreira, M., Floriano, L., Silva, M., de Oliveira, M., & Haminiuk, C. (2017). Bioactive compounds from brewer's spent grain: phenolic compounds, fatty acids and in vitro antioxidant capacity. *Acta Scientiarum. Technology*, 39(3), 269–277. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v39i3.28435>
- Ambra, R., Pastore, G., & Lucchetti, S. (2021). The role of bioactive phenolic compounds on the impact of beer on health. *Molecules*, 26(2), 486. <https://doi.org/10.3390/molecules26020486>
- Boronat, A., Soldevila-Domenech, N., Rodríguez-Morató, J., Martínez-Huélamo, M., Lamuela-Raventós, R. M., & de la Torre, R. (2020). Beer phenolic composition of simple phenols, prenylated flavonoids and alkylresorcinols. *Molecules*, 25(11), 2582. <https://doi.org/10.3390/molecules25112582>
- Chen, W., Becker, T., Qian, F., & Ring, J. (2014). Beer and beer compounds: physiological effects on skin health. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 28(2), 142–150. <https://doi.org/10.1111/jdv.12204>
- Coghe, S., D'Hollander, H., Verachtert, H., & Delvaux, F. R. (2005). Impact of dark specialty malts on extract composition and wort fermentation. *Journal Institute Brewing*, 11(1), 51–60. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00648.x>
- De Francesco, G., Bravi, E., Sanarica, E., Marconi, O., Cappelletti, F., & Perretti, G. (2020). Effect of addition of different phenolic-rich extracts on beer flavour stability. *Foods*, 9(11), 1638. <https://doi.org/10.3390/foods9111638>
- Di Domenico, M., Feola, A., Ambrosio, P., Pinto, F., Galasso, G., Zarrelli, A., Di Fabio, G., Porcelli, Scacco, M., Inchingolo, F., Quagliuolo, L., Ballini, M. A., & Boccellino A. (2020). Antioxidant Effect of Beer Polyphenols and Their Bioavailability in Dental-Derived Stem Cells (D-dSCs) and Human Intestinal Epithelial Lines (Caco-2) Cells. *Stem Cells International*, 2020, 8835813. <https://doi.org/10.1155/2020/8835813>
- Gasior, J., Kawa-Rygielska, J., & Kucharska, A. Z. (2020). Carbohydrates profile, polyphenols content and antioxidative properties of beer worts produced with different dark malts varieties or roasted barley grains. *Molecules*, 25(17), 3882. <https://doi.org/10.3390/molecules25173882>
- Gouvinhas, I., Breda, C., & Barros, A. I. (2021). Characterization and Discrimination of Commercial Portuguese Beers Based on Phenolic Composition and Antioxidant Capacity. *Foods*, 10(5), 1144. <https://doi.org/10.3390/foods10051144>
- Granato, D., Branco, G. F., Fonseca, J., Gomes, A. (2011). Characterization of Brazilian lager and brown ale beers based on color, phenolic compounds, and antioxidant activity using chemometrics. *Journal Science Food Agriculture*, 91(3), 563–571. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4222>
- Gribkova, I. N., Kharlamova, L. N., Lazareva, I. V., Zakharov, M. A., Zakharova, V. A., & Kozlov, V. I. (2022). The influence of hop phenolic compounds on dry hopping beer quality. *Molecules*, 27(3), 740. <http://doi.org/10.3390/molecules27030740>
- Guzmán-Ortiz, F. A., Soto-Carrasquel, A., López-Perea, P., & Román-Gutiérrez, A. D. (2019). Valuation and use of a new variety of barley for brewing craft beer. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(1), 81–95. <http://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.01.001>
- Habschied, K., Živković, A., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2020a). Functional Beer-A Review on Possibilities. *Beverages*, 6(3), 51. <https://doi.org/10.3390/beverages6030051>
- Habschied, K., Lončarić, A., & Mastanjević, K. (2020b). Screening of Polyphenols and Antioxidative Activity in Industrial Beers. *Foods*, 9(2), 238. <https://doi.org/10.3390/foods9020238>
- Hosu, A., Cristea, V. M., & Cimpoiu, C. (2014). Analysis of total phenolic, flavonoids, anthocyanins and tannins content in Romanian red wines: prediction of antioxidant activities and classification of wines using artificial neural networks. *Food Chemistry*, 150, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.153>

- Kawa-Rygielska, J., Adamenko, K., Kucharska, A. Z., & Narcyz Piórecki, P.P. (2019). Physicochemical and antioxidative properties of Cornelian cherry beer. *Food Chemistry*, 281, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.093>
- Li, M., Du, J., & Zhang, K. (2020). Profiling of carbohydrates in commercial beers and their influence on beer quality. *Journal Science Food Agriculture*, 100(7), 3062–3070. <https://doi.org/10.1002/jfsa.10337>
- Masuko, T., Minami, A., Iwasaki, N., Majima, T., Nishimura, S., & Lee, Y. C. (2005). Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. *Annals Biochemistry*, 339(1), 69–72. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2004.12.001>
- Medina-Saavedra, T., Arroyo-Figueroa, G., Herrera-Méndez, C., Gantes-Alcántar, M., Mexicano-Santoyo, L., & Mexicano-Santoyo, A. (2018). A proximal chemical analysis in craft beer solid waste, and its acceptance in sows. *Abanico Veterinario*, 8(3) 86–93. <https://doi.org/10.21929/abavet2018.83.6>
- Mendez-Trujillo, V. & González-Mendoza, D. (2021). Preliminary studies of bioactive compounds and color in Mexican red wines from Baja California region. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 42–49. <https://doi.org/10.23850/24220582.3758>
- Mitić, S., Paunović, D., Pavlović, A. N., Tošić, S. B., Stojković, M. B., & Mitić, M. N. (2014). Phenolic Profiles and Total Antioxidant Capacity of Marketed Beers in Serbia. *International Journal of Food Properties*, 17(4), 908–922. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.680223>
- National Institute of Statistics and Geography (2021). *Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la Industria de la Cerveza*. INEGI.
- Oliver, S. G. (1991). Classical Yeast Biotechnology. In M. F. Tuite, S.G. Oliver (Eds.), *Saccharomyces. Biotechnology Handbooks* (vol. 4, pp. 213–248). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2641-8_7
- Padro, T., Muñoz-García, N., Vilahur, G., Chagas, P., Deyà, A., Antonijoan, R. M., & Badimon, L. (2018). Moderate Beer Intake and Cardiovascular Health in Overweight Individuals. *Nutrients*, 10(9), 1237. <https://doi.org/10.3390/nu10091237>
- Pai, T. V., Sawant, S. Y., Ghatak, A. A., Chaturvedi, P. A., Gupte, A. M., & Desai, N. S. (2015). Characterization of Indian beers: chemical composition and antioxidant potential. *Journal Food Science Technology*, 52, 1414–1423. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1152-2>
- Pandey, K. B. & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
- Puligundla, P., Smogrovicova, D., & Mok, C. (2021). Recent innovations in the production of selected specialty (non-traditional) beers. *Folia Microbiologica*, 66, 525–541. <https://doi.org/10.1007/s12223-021-00881-1>
- Sanna V. & Pretti L. (2015). Effect of wine barrel ageing or sapa addition on total polyphenol content and antioxidant activities of some Italian craft beers. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 700–707. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12666>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [http://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](http://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Socha R., Pajak P., Fortuna T. & Buksa K. (2017) Antioxidant activity and the most abundant phenolics in commercial dark beers. *Int. J. Food Prop*, 20(1), S595–S609. <http://doi.org/10.1080/10942912.2017.1306550>
- Sohrabvandi, S., Mortazavian, A., & Rezaei, K. (2012). Health-related aspects of beer: a review. *International Journal Food Properties*, 15(2), 350–373. <http://doi.org/10.1080/10942912.2010.487627>
- Stratil, P., Klejdus, B., & Kuban, V. (2006). Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables—evaluation of spectrophotometric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 607–616. <http://doi.org/10.1021/jf052334j>
- Ullah, A., Munir, S., Badshah, S. L., Khan, N., Ghani, L., Poulson, B. G., Emwas, A. H., & Jaremko, M. (2020). Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. *Molecules*, 25(2), 5243. <http://doi.org/10.3390/molecules2525243>

Vinson, J. A., Mandarano, M., Hirst, M., Trevithick, J. R., & Bose, P. (2003). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: beers and the effect of two types of beer on an animal model of atherosclerosis. *Journal Agricola Food Chemistry*, 51(18), 5528-5533. <http://doi.org/10.1021/jf034189k>

Zhao, H., Li, H., Sun, G., Yang, B., & Zhao, M. (2012). Assessment of endogenous antioxidative compounds and antioxidant activities of lager beers. *Journal Science Food Agriculture*, 93(4), 910-7. <http://doi.org/10.1002/jsfa.5824>

Relación entre precios de commodities y cambio en el comportamiento del precio de los mataderos de carne vacuna brasileña: de 2015 a 2021

Relationship between commodity prices and change in the behavior of the price of Brazilian beef slaughterhouses: from 2015 to 2021

Joana Gasparotto Kuhn¹ 

Letícia de Oliveira² 

Júlio Otávio Jardim Barcellos³ 

¹Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Brasil joanagk@hotmail.com

²Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Brasil leticiaoliveira@ufrgs.br

³Universidad Federal de Rio Grande do Sul. Brasil julio.barcellos@ufrgs.br

Recibido: 27/12/2021 Aceptado: 30/12/2021

Resumen La demanda de carne vacuna brasileña ha crecido positivamente a lo largo de los años, marcada por el aumento de las exportaciones, principalmente de países asiáticos. Los diferentes eslabones de la cadena impactan en el precio de las acciones de las empresas empacadoras de carne que cotizan en bolsa y se relaciona con el atractivo de adquirir acciones de mataderos. El aumento de la demanda de carne de vacuno, también como consecuencia de la covid-19, puede estar elevando los valores de mercado de los mataderos de vacuno brasileños. El presente estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento y los precios de las acciones de las empacadoras de carne que cotizan en bolsa y operan en Brasil, JBS (JBSS3), Marfrig (MFRG3) y Minerva (BEEF3) con relación al tipo de cambio dólar-real (USD-BRL) y precios de commodities: maíz (CCMM3) y ganado en pie (BGIF3), con el fin de predecir el comportamiento y la volatilidad de los precios cotizados en acciones. Las series históricas analizadas desde enero de 2015 hasta septiembre de 2021, fueron obtenidas de Brasil Bolsa Balcão, totalizando 9.768 observaciones. Se utilizaron pruebas econométricas y análisis de correlación para verificar los comportamientos. Los resultados de la prueba de Dickey-Fuller Aumentada fueron superiores a los valores críticos, lo que indica que las series no son estacionarias debido a la tendencia existente. Las correlaciones con BGIF3, CCMM3 y USD-BRL fueron muy positivas para MFRG3 y JBSS3. Para BEEF3 no hubo correlación. Se concluye que la tendencia es al alza en los precios de los activos bursátiles, observándose un incremento significativo en el 2019, manteniéndose en el 2020 y 2021 con relación al 2015, denotando la alta sensibilidad a efectos de mercado..

Palabras clave: bovino, inversores, maíz, mercado, tendencia

Abstract Demand for Brazilian beef has been growing positively over the years, marked by rising exports, mainly from Asian countries. Given that different links in the chain impact the price, verifying how the price of corn, live cattle and the exchange rate may be related to the attractiveness of acquiring slaughterhouse shares, impacting prices. The increase in demand for beef, also as a result of covid-19, may be raising market values of Brazilian beef slaughterhouses. Given the interest in verifying these influences and predicting the behavior and volatility of prices quoted in shares, the present study aims to analyze the behavior and prices of shares of publicly traded meatpacking companies operating in Brazil, JBS (JBSS3), Marfrig (MFRG3) and Minerva (BEEF3) in relation to the dollar-real exchange rate (USD-BRL) and commodity prices: corn (CCMM3) and live cattle (BGIF3). The historical series analyzed from January 2015 to September 2021 were obtained from Brasil Bolsa Balcão, totaling 9,768 observations. Econometric tests and correlation analysis were used to verify behaviors. The results of the Augmented Dickey-Fuller test were higher than the critical values, indicating that the series are non-stationary due to the existing trend. Correlations with BGIF3, CCMM3 and USD-BRL were strong positive for MFRG3 and JBSS3. For BEEF3 there was no correlation. It is concluded that the trend is towards a rise in the prices of stock assets with a significant increase observed in 2019, remaining in 2020 and 2021 in relation to 2015, denoting the high sensitivity to market effects.

Keywords: beef, corn, investors, market, trend

Introducción

En 2020, Brasil alcanzó la posición de mayor exportador de carne vacuna con una representatividad del 14,4%, es decir, 2,2 millones de toneladas equivalentes en canal (FAO, 2020). Además, entre 2017 y 2019, el precio del ganado vivo brasileño aumentó de R \$ 140,00 en el mercado físico, a R \$ 200,00 a fines de 2019 aproximadamente (Carvalho & Felema, 2022). Una valorización del 43%, influenciada principalmente por el aumento de la demanda de carne en 2019, en particular por China y Hong Kong, países con una participación del 26,6% y 18,5%, respectivamente, de los destinos exportados de carne vacuna brasileña (ABIEC, 2020).

Este crecimiento en los mercados de exportación consolida la mayor parte de las ganancias de los mataderos brasileños involucrados en esta. Además, es acentuado por la devaluación del real frente al dólar y el crecimiento de la participación de las materias primas en los mercados internacionales, como lo muestran los ingresos en 2018 alrededor del 45%, 50% y 65% de las exportaciones de JBS, Marfrig y Minerva en Brasil, respectivamente (JBS, 2019; Marfrig Global Foods, 2019; Minerva Foods, 2019).

Los márgenes del sector agrícola se mantuvieron bajos, a pesar de que los mataderos han pagado los mayores precios de los últimos años a los productores, según los estados financieros mostrados (JBS, 2019; Marfrig Global Foods, 2019; Minerva Foods, 2019), es claro que los altos precios del ganado, dados por las exportaciones, llevaron a una reducción del margen de las empresas frigoríficas. Esta reducción en el margen ocurre porque los precios que pagan estas empresas por el ganado vivo a los productores

rurales presentan ciclos altos y bajos (Wedekin *et al.*, 2018). En pocos años, debido al bajo precio del ternero y al alto precio de la arroba de los animales terminados, se produce un mayor sacrificio de hembras. Esta disminución de hembras afecta a toda la cadena productiva, debido a que, reduce la oferta de ganado de reemplazo como el ternero en los años siguientes, valorizándolo a precios elevados.

Las siguientes hipótesis fueron hechas, después de visualizar el comportamiento de las acciones:

Las principales empresas frigoríficas que operan en Brasil son de capital abierto que cotizan en Brasil Bolsa Balcão (B3), lideran el ranking de empresas con número de plantas exportadoras (ABIEC, 2020) y cuentan con un mercado financiero que busca anticiparse al panorama político, sanitario e incluso estratégico que pueda afectar los precios de diferentes sectores de la economía. En consecuencia, se promueven períodos de valorización y devaluación de los precios (Nunes *et al.*, 2003). ¿Es posible que la captura del valor de las acciones siga al precio de la materia prima del ganado vivo?

El alza del valor del dólar influye directamente en el costo de gran parte de los insumos utilizados en la ganadería, en consecuencia, aumenta los costos para los productores que necesitan importarlos y que son pagados con la moneda estadounidense (Santos *et al.*, 2017) ¿puede afectar el comportamiento de las acciones de los frigoríficos? Y por último, la baja oferta y la alta demanda de insumos (maíz y soja) que influyen directamente en el precio del ganado vivo (Bina *et al.*, 2021), ¿incide en el valor atribuido por el mercado al precio de las acciones de los mataderos?

Con esta mirada al precio de las acciones y dada la existencia de una relación integrada de largo plazo entre el valor de la arroba del ganado vivo y la tasa de cambio, tanto para el maíz como para el ganado los precios tienden a ser más o menos afectados en la relación directa de mercados interconectados (Bueno do Santos *et al.*, 2017). Por tanto, es importante verificar la percepción del mercado financiero sobre el comportamiento de los valores en las acciones de los mataderos y establecer correlaciones de precios entre mercados, puesto que, permite predecirlos y se puede rastrear la dinámica de aquellos que se negocian activamente.

Para dar respuesta a las preguntas expuestas y comprender cómo la volatilidad de precios en estos mercados afecta a los productores, frigoríficos e importadores a nivel mundial; este estudio, tiene como objetivo analizar el comportamiento de la cotización de los precios de las acciones de empresas frigoríficas en relación con los precios del ganado vivo, maíz y la tasa de cambio dólar-real. Estos factores se analizan y discuten sobre la base de procedimientos estadísticos, con el fin de contribuir a la toma de decisiones de los inversores, colaborar con la estructuración de contratos y negociación de acciones para planificar los rendimientos y la seguridad.

Metodología

Material y métodos

El presente estudio es de naturaleza exploratoria, cualitativa, cuantitativa y descriptiva. Se analizaron las series históricas recuperadas de Brasil Bolsa Balcão - B3 (2017) de empresas frigoríficas de carne bovina que operan en Brasil: JBS (JBSS3), Marfrig (MRFG3) y Minerva (BEEF3); también de las materias

primas de maíz (CMM3) y ganado vivo (BGIF3) y de la tasa de cambio dólar-real (USD / BRL).

El precio del maíz de grano amarillo vendido a B3 se expresó en reales (R \$ / saco de 60 kg), con olor y apariencia normal, duro o semiduro. El precio del ganado vivo vendido a B3 es de vacuno macho, con 16 arrobas netas o más de canal (240 kg / peso canal) y una edad máxima de 42 meses, con cotización expresada en reales por arroba neta.

El período analizado fue del 2 de enero de 2015 al 13 de agosto de 2021, diariamente, con excepción de feriados y fines de semana, con 1628 observaciones para cada serie histórica, totalizando 9,768. Se utilizó Microsoft® Excel para determinar el precio de cada serie por el promedio obtenido del precio mínimo y máximo del día.

Se utilizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling para verificar si las series de datos tienen una distribución normal. Fue aplicado el Test de Análisis Variable de Dickey-Fuller Aumentada (ADF) en el cual la hipótesis nula de la prueba muestra la presencia de una raíz unitaria, que es no estacionario y tiene una tendencia estocástica. Si se rechaza la hipótesis nula, significa que la serie es estacionaria con una media de cero. El término estacionariedad se refiere al comportamiento de la varianza a lo largo del tiempo.

Cuando las series no son estacionarias se estacionan mediante uno de los métodos más utilizados en el estudio de las series temporales, el SARIMA (Box & Jenkins, 1976), que combina los métodos de: p (parámetros autorregresivos); d (diferenciación de la serie de datos original) y, por ϕ m, q (parámetros de media móvil). También, hay una combinación no estacional (p, d, q) y estacional (P, D, Q). Así, estos modelos tienen la forma SARIMA (p,

d, q) x (P, D, Q). La estructura se expresa de acuerdo con la Ecuación 1:

$$\Phi(B)\Phi(B^{12})\Delta^d\Delta_{12}^D Z_t = \theta(B)\theta(B^{12})\epsilon_t$$

Donde:

$\Delta^d\Delta_{12}^D Z_t = (1-B^{12})^D (1-B)^d$ representan las diferencias estacionales y simples clave para hacer que la serie sea estacionaria.

$\Phi(B) = 1 - \Phi_1 B - \dots - \Phi_p B^p$ es el operador autorregresivo no estacional.

$\Phi(B^{12}) = 1 - \Phi_1 B^{12} - \dots - \Phi_p B^{12p}$ constituye el operador autorregresivo estacional de orden P.

$\theta(B^{12}) = 1 - \theta_1 B^{12} - \dots - \theta_Q B^{12Q}$ establece el operador de media móvil estacional de orden Q.

Z_t representa la serie de tiempo en estudio, que es un conjunto de observaciones ordenadas en el tiempo.

Los modelos SARIMA son los más utilizados para describir series temporales estacionales y demuestran éxito durante los últimos 30 años (Cheng & Xiong, 2014). Después de su aplicación, el principal objetivo del análisis de series de tiempo es preparar una previsión de valores futuros. Se utilizó la aplicación de los Criterios de Información de Akaike (AIC) para definir el mejor modelo entre variables que verifique la transmisión de precios. En este caso, AIC puede tomar cualquier valor, incluido un valor negativo, ya que depende de la forma de la función de verosimilitud. Cuanto menor sea el valor de AIC, mejor será el modelo ajustado y más fuerte será el rechazo de la hipótesis de que existe una raíz unitaria en algún nivel de confianza, es decir, más lejos de ser un proceso estacionario.

El modelo de predicción SARIMA depende, entre otros criterios, del grado de precisión, utilizando el MAPE (Mean Absolute Percentage Error) que mide el error en porcentaje. Esto se calcula como la media del error porcentual. Expresa la precisión del error como un porcentaje, y cuanto más pequeño es el MAPE, mejor es el ajuste. También se calculó MAE (Mean Absolute Error), se mide en la escala de la variable utilizada, y cuanto menores son los valores calculados, mayor es la precisión del modelo.

Se utilizó Durbin y Watson (DW) que implica el cálculo de una prueba estadística basada en los residuos del método de regresión por mínimos cuadrados, para verificar la autocorrelación, es decir, si los precios diarios pueden depender de la observación previa:

$$statística\ d = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{e}_t - \hat{e}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{e}_t^2}$$

Durbin y Watson tabularon los límites inferiores, dL, y los límites superiores, ds, para varios valores de n (número de datos) y k (número de variables explicativas), de modo que si el d calculado está fuera de estos valores críticos, es posible comprobar la autocorrelación.

La prueba t de Student se utilizó para verificar la diferencia mensual en la serie temporal de los mataderos estudiados, análisis estadísticos como la correlación de Pearson (r) para verificar el grado de relación de la serie histórica de precios de las acciones de los mataderos (y) con los precios de las materias primas (maíz y ganado vivo) y el intercambio (x). Además, el análisis de regresión para explicar la variación con el coeficiente de determinación (R²).

Resultados y Discusión

Dado que Brasil presenta una economía pequeña y abierta con poca capacidad para afectar la economía global, las variables internacionales afectan a las domésticas de manera contemporánea (Souza & Fry-McKibbin, 2021). Según E Silva Pontes y Fernandes (2017), entre las principales formas de gestión del riesgo se encuentran los mercados futuros y de opciones, que, mediante el establecimiento de un precio, permiten al agente garantizar de forma anticipada su rentabilidad y reduce la exposición al riesgo de precio.

En el primer mes de la pandemia en 2020 en Brasil, las acciones cayeron debido a la incertidumbre global, por lo que, la posibilidad de comprar acciones de Minerva y Marfrig y adoptar una posición corta en acciones de JBS se convirtió en una posible estrategia para el mismo período. Los precios de las acciones de JBS estaban por encima de los valores promedio, con mayor probabilidad de sufrir una corrección de mercado, conceptos de Behavioural Finance (Tversky & Kahneman, 1986).

El análisis gráfico (Figura 1) muestra la variación estacional de los precios históricos (R \$) de las acciones de JBS, Marfrig y Minerva. En los resultados de los años con los precios más bajos, las acciones de JBS, Marfrig y Minerva promediaron R \$ 15,31 para JBSS3, R \$ 9,95 para BEEF3 y R \$ 8,55 para MFRG3.

Con el análisis de la dispersión de datos, se denota que la serie más dispersa fue BGIF3 con una desviación estándar de R \$ 53,50. Con base en los valores máximos y mínimos, la

variable de mayor amplitud fue BGIF3, con un valor máximo de R \$ 323,63 y un valor mínimo de R \$ 123,27, seguida de CCMF3 que varió R \$ 94,63 entre el valor máximo y mínimo.

En 2021, las acciones siguen subiendo, esto puede atribuirse al factor presente en el comportamiento de los inversores en el año 2019 al 2021, ya que, con la demanda de alimentos, los sectores agroindustriales adquieren protagonismo económico y hay presencia de emociones en la decisión de compra del activo (Lovric, 2011), especialmente el exceso de confianza en este sector valoró los precios de las acciones de los mataderos.

La volatilidad, expresada por la desviación estándar observada de los rendimientos de las acciones de JBSS3, MFRG3 y BEEF3, permite interpretar que, en general, los cambios en los rendimientos de las acciones de estos activos de renta variable, exhiben un comportamiento volátil a lo largo del tiempo. Con la excepción del pico de volatilidad 2019-2020, anteriormente, MFRG3 vió sus acciones valorizarse aproximadamente un 18% en abril de 2018, debido a la adquisición del 51% del competidor estadounidense National Beef Packing Company.

Para JBSS3, el pico de volatilidad en mayo de 2017 se debió a riesgos no sistemáticos (afecta a una sola empresa o a un grupo específico) que involucraron denuncias entre el dueño de JBS y el expresidente Michel Temer, a través, de grabaciones difundidas por los medios. Por otro lado, cabe destacar la caída en el valor de BEEF3 y en consecuencia, el pico de volatilidad ocurrido en junio de 2018, debido a que BRF incrementó la oferta de las acciones de la compañía en el mercado de capitales (BRF poseía el 11,6% de las acciones de Minerva).

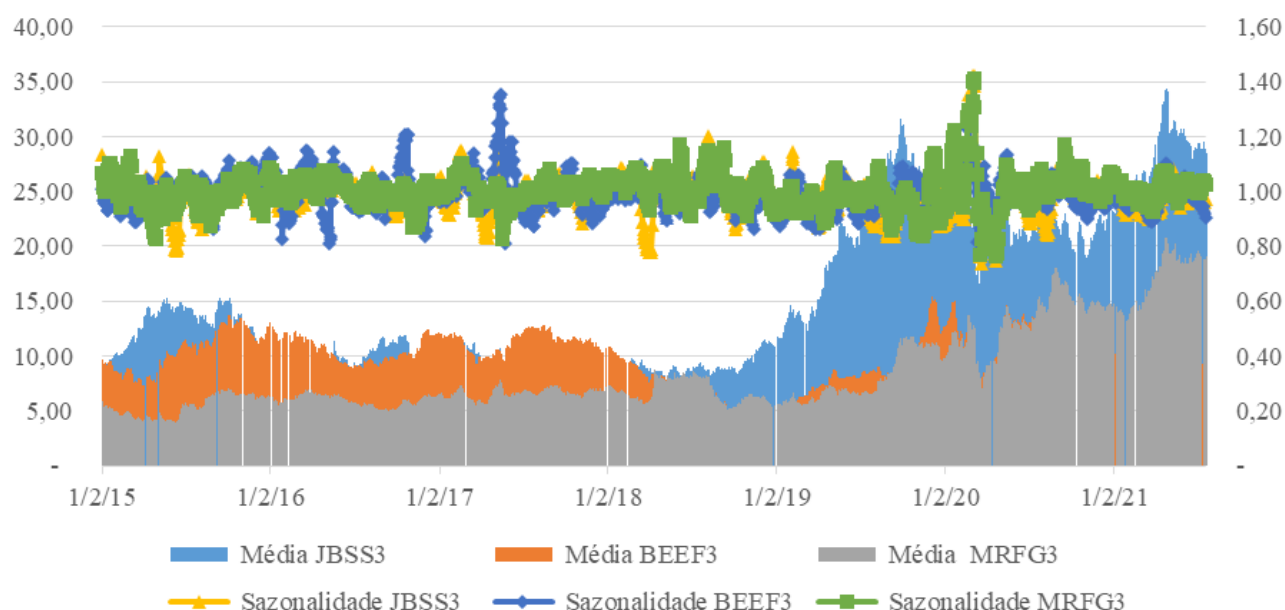


Figura 1

Serie histórica de cotizaciones bursátiles (R \$) y estacionalidad (R \$) de las acciones de los mataderos JBS, Marfrig y Minerva en un total de 80 meses (período: 2015 a 2021).

Nota. Elaboración propia.

Tabla 1

Estadística descriptiva y prueba econométrica de raíz unitaria de Dickey - Augmented Fuller (ADF).

	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Assimetria	Kurtose	DP	ADF
MFRG3	R\$ 8,55	R\$6,63	R\$20,81	R\$3,85	1,32	0,60	4,08	-2,30*
JBSS3	R\$ 15,31	R\$11,85	R\$34,38	R\$5,56	0,75	-0,77	7,33	-1,80*
BEEF3	R\$ 9,95	R\$10,02	R\$15,36	R\$4,80	-0,27	-0,37	2,21	-1,97*
BGIF3	R\$ 175,85	R\$151,15	R\$ 323,63	R\$ 123,27	1,64	1,36	53,50	-1,81*
CCMF3	R\$ 44,90	R\$ 39,47	R\$ 107,10	R\$ 12,47	1,68	1,99	18,99	-2,31*
USD/BRL	R\$3,94	R\$ 3,76	R\$ 5,88	R\$ 2,57	0,81	-0,56	0,83	-1,53*

Nota. (DP) desviación estándar; (ADF) Dickey - Fuller aumentado; los valores críticos de la prueba ADF a los niveles del 1%, 5% y 10% son, respectivamente, iguales a: (-2,5688), (-1,9414) y (-1,6163); (*) Estadísticamente significativo al nivel del 1%. Elaboración propia.

La estadística aumentada de Dickey-Fuller (ADF), utilizada en la prueba, mostró un resultado negativo, y cuanto más negativo, más fuerte es el rechazo de la hipótesis de que existe una raíz unitaria. Como los valores de significancia fueron superiores a los valores críticos -2,5688 para 1%, -1,9414 para 5% y -1,6163 para 10%, indican que las series son no estacionarias por no tener media constante ni tendencias al alza o la baja, lo que dificulta la extrapolación de los precios futuros.

Para corregir esta no estacionalidad de la serie, SARIMA fue un procedimiento estadístico muy eficiente en eliminar las posibles estructuras que dificultan el estudio de las correlaciones cruzadas. El problema, es que la presencia de estructuras (por ejemplo, tendencias, estacionalidad / ciclicidades e incluso estructura de autocorrelación) en la serie puede llevar a la identificación de correlaciones cruzadas espúreas.

Tabla 2

Verificación de modelos SARIMA por AIC y BIC y precisión por MAE y MAPE.

		AIC	BIC	MAPE	MAE
MFRG3	SARIMA(1,1,0)x(1,0,0) ₁₂	1822,00	1838,18	1,92	0,27
	SARIMA(1,1,0)x(1,1,0) ₁₂	2463,50	2479,66	2,46	0,35
	SARIMA(1,1,1)x(1,0,0) ₁₂	1823,82	1845,40	1,92	0,27
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	2398,31	2419,86	2,42	0,34
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,1) ₁₂	1868,36	1895,29	1,97	0,28
JBSS3	SARIMA(1,1,0)x(1,0,0) ₁₂	1566,02	1582,21	1,78	0,25
	SARIMA(1,1,0)x(1,1,0) ₁₂	1567,69	1589,27	1,78	0,25
	SARIMA(1,1,1)x(1,0,0) ₁₂	1614,56	1641,50	1,82	0,26
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	2150,38	2171,92	2,25	0,32
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,1) ₁₂	2214,86	2232,02	2,28	0,32
BEEF3	SARIMA(1,1,0)x(1,0,0) ₁₂	1566,02	1582,21	1,78	0,25
	SARIMA(1,1,0)x(1,1,0) ₁₂	2215,86	2232,02	2,28	0,32
	SARIMA(1,1,1)x(1,0,0) ₁₂	1567,69	1589,27	1,78	0,25
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	2150,38	2171,92	2,25	0,32
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,1) ₁₂	1614,56	1641,50	1,82	0,26
BGIF3	SARIMA(1,1,0)x(1,0,0) ₁₂	5508,69	5524,87	0,38	0,71
	SARIMA(1,1,0)x(1,1,0) ₁₂	6152,21	6168,37	0,51	0,96
	SARIMA(1,1,1)x(1,0,0) ₁₂	5494,52	5516,10	0,38	0,71
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	6121,91	6243,46	0,51	0,96
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,1) ₁₂	5514,64	5541,58	0,39	0,72
CCMM3	SARIMA(1,1,0)x(1,0,0) ₁₂	3759,93	3776,11	1,00	0,46
	SARIMA(1,1,0)x(1,1,0) ₁₂	4421,81	4437,97	1,29	0,59
	SARIMA(1,1,1)x(1,0,0) ₁₂	3748,86	3770,44	1,00	0,46
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	4417,57	4439,12	1,29	0,59
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,1) ₁₂	3780,32	3807,26	1,02	0,47
USD-BRL	SARIMA(1,1,0)x(1,0,0) ₁₂	-6304,22	-6288,04	0,60	0,02
	SARIMA(1,1,0)x(1,1,0) ₁₂	-5659,33	-5643,17	0,74	0,03
	SARIMA(1,1,1)x(1,0,0) ₁₂	-6314,46	-6292,88	0,60	0,02
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,0) ₁₂	-5667,74	-5646,19	0,74	0,03
	SARIMA(1,1,1)x(1,1,1) ₁₂	-6219,72	-6192,79	0,60	0,02

Nota. (SARIMA) Promedios móviles autorregresivos incorporados.

A partir de la estimación de los valores p, d, q, P, D y Q por SARIMA, se observó que todas las series presentaron el parámetro P indicativo de autorregresividad estacional de orden 1, por lo que se infiere que los modelos son capaces de describir el comportamiento estacional de la serie. Al considerar que SARIMA (1,1,0) x (1,0,0)₁₂ para JBSS3 presentó los valores más bajos de las estadísticas AIC y BIC, se elige para ajustar la serie de interés. Se observó el mismo

comportamiento de SARIMA (1,1,0) x (1,0,0)₁₂ en las series MFRG3 y BEEF3. Es decir, un modelo en la parte no estacional con un factor autorregresivo y una diferencia y en la parte estacional un auto regresivo.

En cuanto a BGIF3, CCMM3 y USD-BRL, se observó un mejor ajuste con SARIMA (1,1,1) x (1,0,0)₁₂. Es decir, un modelo en la parte no

estacional con factor autorregresivo, diferencia y media móvil. Y en la parte estacional un autorregresivo.

Todos los SARIMA ajustados, presentaron un modelo autoregresivo, donde los pronósticos utilizan valores pasados de la propia serie temporal, lo que significa que la regresión se realiza con una variable sobre sí misma. Se observó una diferenciación en todos los modelos con mejor ajuste, como una forma de estabilizar el promedio de una serie temporal y eliminar variaciones en el nivel de la serie temporal, en consecuencia, se reduce la pendiente y la estacionalidad.

Solo las series BGIF3, CCMM3 y USD-BRL utilizaron un promedio móvil, es decir, los errores antiguos de la serie para

realizar una regresión. Todos presentaron un período de estacionalidad cada 12 meses con un comportamiento de la serie tendiente a ser similar. Si bien las series de tiempo simplemente usan datos pasados para predecir el futuro, sin considerar las variables causales; el modelo SARIMA hizo que la serie fuera estacionaria, como una forma alternativa de estudiar la serie original.

En comparación con otros meses del año, en mayo y julio se pueden ver los mejores precios de venta de acciones de JBSS3, en julio los de MFRG3 y en diciembre los de BEEF3 (Tabla 3). Debido a que BEEF3 no se correlacionó con CCMM3 o BGIF3, no es posible predecir su precio de compra y venta. Mientras que los activos JBSS y MFRG adquieren mayor valor, a medida que aumentó el precio de BGIF3.

Tabla 3

Prueba t de Student para verificar la diferencia mensual en los precios de las acciones de los frigoríficos con base en series históricas de 2010 a 2021.

	MFRG3*	JBSS3*	BEEF3*
Jan	7,83 D	14,62 AB	10,25 ABC
Fev	8,01 CD	14,78 AB	9,82 C
Mar	7,74 D	14,54 B	9,09 D
Abr	8,61 ABCD	15,63 AB	9,18 D
Mai	9,18 AB	16,24 A	9,78 C
Jun	9,10 AB	15,46 AB	9,95 BC
Jul	9,43 A	16,25 A	10,22 ABC
Ago	8,83 ABC	15,83 AB	10,07 BC
Set	8,44 BCD	15,62 AB	10,18 ABC
Out	8,54 ABCD	15,22 AB	10,21 ABC
Nov	8,51 ABCD	14,29 B	10,38 AB
Dez	8,41 BCD	14,72 AB	10,66 A

Nota. *letras diferentes en la línea, difieren entre sí en la prueba t de Student con Alpha = 0.05 y t = 1.961. Elaboración propia.

Hay una diferencia mensual para BEEF3, con precios en diciembre superiores a R \$ 1,57 ± 1,11 frente al valor más bajo observado en marzo. Las series MFRG3 y JBSS3 tuvieron los mayores precios de las acciones en julio (R \$ 9,43 y R \$ 16,25), seguida de mayo (R \$ 9,18 y R \$ 16,24).

Para verificar si el comportamiento de los precios de las materias primas y los precios cambiarios son similares, se utilizó un análisis de regresión lineal simple (Tabla 4). Se observó que las series BGIF3, CCMM3 y USD-BRL tienen poca correlación con BEEF3.

Tabla 4

Análisis de regresión entre variables y autocorrelación con Durbin Watson

		MFRG3	JBSS3	BEEF3
BGIF3	R ²	0,87	0,63	0,01
	RMSE	1,53	4,56	2,19
	DW	0,031	0,009	0,012
	AIC	6104,44	9709,82	7287,50
	BIC	6120,65	9726,04	7303,71
CCMF	R ²	0,79	0,52	0,000
	RMSE	1,93	5,20	2,21
	DW	0,025	0,008	0,012
	AIC	6880,89	10145,07	7313,14
	BIC	6897,10	10159,28	7329,36
USD/BRL	R ²	0,75	0,58	0,02
	RMSE	2,10	4,87	2,18
	DW	0,025	0,013	0,013
	AIC	7146,85	9924,97	7275,35
	BIC	7163,07	9741,18	7291,56

Nota. (AIC) Criterio de información de Akaike; (BIC) criterio de información de Schwarz; (DW) Estadístico d de Durbin y Watson donde Prob <DW = <.0001 con n = 1628.

La valorización de la tasa de cambio incentiva el movimiento de recursos hacia el sector de productos comerciales rentables (Souza & Fry-McKibbin, 2021), como se ve en la relación USD-BRL con el precio de la acción de JBSS3 ($R^2 = 0.58$) y MFRG ($R^2 = 0.75$). Sin embargo, los precios de las materias primas son inherentemente volátiles, debido a que responden rápidamente a muchos factores impredecibles, incluidas las condiciones climáticas, las tasas de cambio, las especulaciones y otros (ISG, 2020).

Si bien el momento es favorable para los inversionistas cárnicos, el sector no está libre de riesgos (Decotelli *et al.*, 2013), como en Brasil en 2017, con la operación Carne Fraca (Vieira, 2017). Con el aumento de las exportaciones, las elevadas variaciones de precios provocan cambios muy significativos en la demanda de acciones. La estacionalidad también está presente en el establecimiento de los precios de las materias primas, por tanto, se aumenta la oferta a los frigoríficos y se ejerce presión sobre los precios (Bragagnolo & Sampaio, 2020).

MFRG3 y JBSS3 mostraron mejores correlaciones, especialmente con el precio futuro del ganado vivo (BGIF3). También destaca el MFRG3, con correlaciones superiores a 0,70 en las tres variables explicativas estudiadas. Sin embargo, con el análisis de autocorrelación, intrínseco a la serie temporal, a través de la prueba de Durbin Watson es posible ver la dependencia de las observaciones pasadas de la serie, pero esto no invalida el efecto del análisis.

La fuerte correlación positiva de MFRG3 con BGIF3, CCMM3 y USD-BRL puede estar relacionada con el hecho de que la empresa tiene una posición global con 15 plantas de sacrificio de ganado en Brasil y JBS en 10 países. Y la falta de correlación con Minerva (BEEF3) se explica a su vez, que la empresa opera 25 mataderos de ganado, diez ubicados en Brasil, cinco en Paraguay, tres en Uruguay, cinco en Argentina y dos en Colombia. Es decir, menos dependiente del dólar que MFRG3 y JBSS3.

En la práctica, estas correlaciones explican que, si solo los precios al productor se ajustan al alza, los márgenes de los mataderos pueden reducirse. Entonces, se puede anticipar que cuando los precios de los cereales suban, los precios del ganado los siguen (Motta, 2017), tarde o temprano el precio de las acciones de JBS ($R^2 = 0.87$) y MFRG ($R^2 = 0.63$).

Entre los hallazgos más relevantes de la investigación, se encontró que los rendimientos de las acciones de las empresas analizadas y los de los productos agrícolas están cointegrados, lo que confirma la existencia de un probable flujo significativo entre los productos básicos y el mercado de valores (Hu & Xiong, 2013; Silva *et al.*, 2019).

Conclusiones

Se observó una estacionalidad anual en los precios de los activos patrimoniales MFRG3, BEEF3 y JBSS3. Las correlaciones con BGIF3, CCMM3 y USD-BRL fueron fuertes positivas para MFRG3 y JBSS3. Para BEEF3 no hubo correlación. En otras palabras, cuanto mayor sean el costo del maíz y los precios del ganado, más altos serán los precios de las acciones de JBSS3 y MFRG3. Esto denota que la variación del precio de las acciones es muy sensible a los efectos y riesgos del mercado. Los resultados presentados en este artículo de investigación pueden ayudar a los inversores a comprar y vender acciones en mataderos. Es de destacar que el presente trabajo tiene sus conclusiones restringidas a la muestra utilizada.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento del

Personal de Educación Superior - Brasil (CAPES).

Referencias

Associação Brasileira de Importadores e Exportadores de Carne [ABIEC]. (2020). *Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil [Bovine Bulletin: Profile of Livestock in Brazil]*. São Paulo, 50pp. <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>

Brasil Bolsa Balcão. (2017). *Por Dentro da B3: Guia Prático de uma das Maiores Bolsas de Valores e Derivativos do Mundo*. B3 Educação. Consultado el 7 de junio de 2022. <https://www.b3.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8AE490CA6EF8051B016EFF8D43BD2064>

Bina, J. D., Schroeder, Ted C. & Tonsor, G. T. (2021). Conditional feeder cattle hedge ratios: Cross hedging with fluctuating corn prices. *Journal of Commodity Markets*, p. 100-193. <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2021.100193>

Box, G. E. P. & Jenkins, G. M. (1976). *Time series analysis: forecasting and control*. San Francisco: Holden Day, 575p. <http://garfield.library.upenn.edu/classics1989/A1989AV48500001.pdf>

Bragagnolo, G. P. & Sampaio, J. O. (2020). *Pecuária bovina no Brasil e disfuncionalidades do mercado financeiro*. [Dissertação. FGV Mestrado Profissional Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getúlio Vargas – EESP – FGV]. <https://hdl.handle.net/10438/30009>

Bueno do Santos, N., Dallemole, D. & Pires M. J. R. (2017). Análise da transmissão de preços nos mercados de boi gordo, milho e soja de Mato Grosso. *Economia & Região*, 5 (1), 7-21. <https://doi.org/10.5433/2317-627X.2017v5n2p7>

Carvalho, M. L. P. & Felema, J. (2022). Projeção do preço da arroba do boi gordo no estado de São Paulo utilizando modelos lineares dinâmicos. [Projection of the arroba price of live cattle in the state of São Paulo using dynamic linear models]. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 60, (spe). <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.249166>

Cheng, I.-H. & Xiong, W. (2014). Financialization of commodity markets. *Annual Rev. Financ. Economics*,

6. p. 419-441. <https://doi.org/10.1146/annurev-financial-110613-034432>

Decotelli, C., Schouchana, F. & Sheng, H. H. (2013). *Gestão de riscos no agronegócio*. São Paulo. Publicações FGV Management. ISBN: 9788522514304

E Silva Pontes, T. & Fernandes M. (2017). Precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&FBOVESPA. [Pricing of options on live cattle futures contracts on the BM&FBOVESPA]. *Economia Aplicada*, 21 (4), 737-760. <https://doi.org/10.11606/ea140986>

Hu, C. & Xiong, W. (2013). *The informational role of commodity futures prices. Apres le Deluge: Finance and the Common Good after the Crisis*. University of Chicago Press. https://www.eia.gov/finance/markets/reports_presentations/WXInformationCommodity.pdf

Investment Strategy Group ("ISG") in the Consumer and Investment Management Division of Goldman Sachs. (2020). *SARS-coronavirus-2/COVID-19: an update on testing, therapies, vaccines, and the healthcare system*. 1-36. <https://www.goldmansachs.com/insights/talks-at-gs/sharmin-mossavar-rahmani-f/deck.pdf>

JBS. (2019). *Management Report 2018*. https://jbs.com.br/wp-content/uploads/2019/11/JBS_RAS2018_book_EN.pdf

Lovric, M. (2011). *Behavioral Finance and Agent-Based Artificial Markets*. [Doctoral dissertation Erasmus University Rotterdam]. <https://repub.eur.nl/pub/22814/EPS2011229F&A9789058922588.pdf>

Marfrig Global Foods. (2019). *Management Report 2018*. <https://ri.marfrig.com.br/informacoes-financeiras/relatorios-anuais/>

Minerva Foods. (2019). *Earnings Release: 4Q18 and 2018 highlights*. <https://ri.minervafoods.com/en/quarterly-earnings-release/>

Motta, M. W. (2017). *Derivativos de agronegócios: gestão de riscos de mercado*. 2 ed. Saint Paul Editora. ISBN 8580041236

Nunes, M. S., Costa Jr., N. C. A. & Seabra, F. (2003). Co-integração e causalidade entre variáveis macroeconômicas, "risco Brasil" e retornos no mercado de ações brasileiro. *Revista de Economia e Administração*, 2, (3), 26-42. <http://www.spell.org.br/documentos/ver/25640/co-integracao-e-causalidade-entrevariaveis-macroeconomicas---risco-brasil---e-retornos-no-mercado-de-acoes-brasileiro/i/pt-br>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *FAOSTAT: Crops and livestock products. Global data for 2020*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>

Santos, J.D. dos, Leite, L., Vaz, J. A. dos S., Gasques, A. C. F. & Roder, C. (2017). Análise da variação de preço do boi gordo no mercado futuro externo. *Revista Produção Industrial & Serviços*, 4 (2), 147-158. https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/rev_prod/article/view/52384

Silva, J. P., de Oliveira Neto, O. J. & Figueiredo, R. S. (2019). Preços Agrícolas e Retornos das Ações de Empresas do Agronegócio Brasileiro. *Revista Eletrônica de Gestão e Serviços*, 10 (2). <https://doi.org/10.15603/2177-7284/regs.v10n2p2827-2850>

Souza, R. da S. & Fry-Mckibbin, R. (2021). Global liquidity and commodity market interactions: Macroeconomic effects on a commodity exporting emerging market. *International Review of Economics & Finance*, 76, 781-800. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.07.008>

Tversky, A. & Kahneman, D. (1986). Rational choice and the Framing of Decisions. *Journal of Business*, 59 (4), S251-S278. <http://www.jstor.org/stable/2352759>

Vieira, E. S. S. (2017). *Defesa Agropecuária e Inspeção de Produtos de Origem Animal: uma breve reflexão sobre a Operação Carne Fraca e possíveis contribuições ao aprimoramento dos instrumentos normativos aplicáveis ao setor*. Brasília: Senado Federal, Consultoria Legislativa. 19830645. <http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/529043>

Wedekin, I., Pinazza, L. A., Lemos, F. K. & Vivo, V. (2017). *Economia da pecuária de corte: fundamentos e ciclo de preços*. São Paulo: Wedekin Consultores, 180.

Promoting millet, an underutilized crop. A review of food-based approach in combating micronutrient deficiency

Promoción del mijo, un cultivo infrautilizado. Una revisión del enfoque alimentario para combatir la carencia de micronutrientes

Jumoke ILO¹ 

Abiodun Famakinwa² 

¹Federal University of Agriculture  Jumoke.famakinwa@yahoo.co.uk

²Cape Peninsula University of Technology  biofamar@gmail.com

Recibido: 29/04/2022 Aceptado: 05/05/2022

Resumen La malnutrición de micronutrientes es un problema mundial más grave que el hambre, y tiene consecuencias duraderas para las sociedades. Este estudio examina el uso de técnicas para combatir la carencia de micronutrientes de los alimentos. Se revisó una muestra de la bibliografía existente, donde se destacan algunas conclusiones y se identifica las lagunas de conocimiento y los objetivos de investigación que han sido abordados para resolver el problema mundial de la carencia de micronutrientes. Un método más reciente consiste en utilizar procesos revolucionarios de elaboración de alimentos para producir comidas ricas en micronutrientes utilizando cultivos alimentarios infrautilizados o locales, como el mijo, que pueden prevenir numerosas carencias de micronutrientes sin riesgo de interacciones antagónicas ni de pérdida de nutrientes.

Palabras clave: Enfoque basado en los alimentos; carencia de micronutrientes; mijo; cultivos infrautilizados; elaboración de alimentos.

Abstract Malnutrition of micronutrients is a global problem that is more serious than hunger and has lasting consequences for societies. This study reviews existing interventions, where traditional grains are being promoted to establish their importance and promote their use as food. It examines a sample of existing literature, highlights, some key takeaways, and identifies knowledge gaps and research objectives in order to solve the global problem of micronutrient deficiency. A more recent method is to use revolutionary food processing processes to produce micronutrient-rich meals using underutilized or local food crops like millet, which can prevent numerous micronutrient deficits at the same time without the risk of antagonistic interactions or nutrient loss.

Keywords: Food-based approach; micronutrient deficiency; millet; underutilized crops; food processing.

Introduction

Food-based techniques that successfully lead to year-round access to, availability of, and consumption of nutritionally acceptable amounts and variety of foods have several economic, social, and health benefits. Individuals' nutritional well-being and health are encouraged, and their earnings and lives are greatly aided. It is a truth that food-based malnutrition prevention solutions have yet to be fully designed, tested, implemented, scaled up, and proven to address the nutritional deficiencies of the world's poorest populations (Thompson & Amoroso, 2014).

Malnutrition refers to a lack of proper nutrition, which can include undernutrition, overnutrition, and specific deficits (or excesses) of vital nutrients including vitamins and minerals. Micronutrient malnutrition is defined as a lack of vitamins and/or minerals that are important for public health. These include, but are not limited to vitamin A deficiency, vitamin D deficiency, iodine deficiency disease (IDD), zinc deficiency, and iron deficiency (anemia). The majority of micronutrient deficiencies affect poor and disadvantaged households whose members are unable to purchase or produce sufficient food, who live in marginal or unsanitary environments with limited access to clean water and basic services, and who lack access to appropriate education and information (World Health Organization [WHO], 2020).

More than 2 billion individuals worldwide are affected by micronutrient malnutrition, which has a negative impact on their health and survival. Globally, all children under the age of five are at risk of one form of nutrient deficiency or another, with rickets cases on the rise, particularly among

dark-skinned people; approximately 2 billion people are zinc deficient, one billion have iron deficiency (anemia), and 250 million are iodine deficient (Abubakar *et al.*, 2017).

It's critical to comprehend the scope and nature of the problem, as well as the solutions to micronutrient insufficiency. Micronutrient deficiency occurs when vitamin and mineral intake or absorption is insufficient to maintain optimal health, development, cognitive functioning, and normal physical functions. Micronutrient deficiencies are known as hidden hunger because they build gradually over time (Ibeanu *et al.*, 2020). The consequences of this deficit are sometimes undetected until irreversible harm has occurred in the body. Diseases including osteomalacia, thyroid disorders, anemia, zinc deficiency, and vitamin A deficiency are just a few of the consequences. Hidden hunger accounts for 7% of the world's illness burden (Ibeanu *et al.*, 2020).

Furthermore, hidden hunger jeopardizes an individual's socioeconomic growth, learning aptitude, and productivity (Ekholuenetale *et al.*, 2020). Given the importance of micronutrients, particularly vitamin A, iron, iodine, and, more recently, zinc, their non-correctable deficiencies continue to be a major public health issue in Nigeria, making any strategy for health, education, and prosperity a major challenge (Federal Ministry of Health Department of Family Health Nutrition, 2013).

When people can't afford a variety of meals that include enough vegetables, fruits, or animal-source foods that are high in micronutrients, deficiencies like those observed in tuber-based diets or monotonous cereals are common. Unfortunately, in

many nations grappling with widespread malnutrition, costly, ineffective, and unsustainable treatments are all too prevalent (Thompson & Amoroso, 2014).

Food-based approach to address micronutrient malnutrition

Food diversity, supplementation, food fortification, and biofortification can all help with micronutrient deficits. Iron, vitamin A, and zinc deficiency have been identified as public health issues among Nigerian schoolchildren (Onabanjo & Balogun, 2014; Akeredolu *et al.*, 2011; Ayogu & Onah, 2019). A child low in micronutrients may be able to attend school and participate in school activities, but the output will be far from satisfactory due to the effects of these deficiencies on growth, development, and the physiologic processes of the entire body. Different intervention techniques have been developed and applied to reduce micronutrient deficiencies, but nutrition remains the most powerful adaptable environmental exposure to target in order to lessen the burden of diseases and death caused by these deficiencies (Bailey *et al.*, 2015). It is critical to advocate for the use of food-based techniques to meet optimal dietary requirements and alleviate micronutrient deficiencies (Ross, 2013).

Supplementation, food fortification, dietary diversification, crop diversification, and the utilization of indigenous and traditional foods are examples of such initiatives. Food-based strategies that increase diet diversity are a cost-effective and sustainable option for controlling and preventing micronutrient malnutrition, according to international agencies, non-governmental organizations (NGOs), and funders. Food-based techniques, such as dietary variety and food fortification, are sustainable solutions for improving people's micronutrient status, according to the Food and Agricultural Organization.

Micronutrient status and overall nutrition can be improved by improving the availability of, expanding access to, and eating a range of micronutrient-rich foods (Thompson & Amoroso, 2014).

Agriculture-based techniques and diversification strategies are two ways to promote sustainable food-based approaches to enable optimal micronutrient consumption by a bigger population. Dietary diversification can be achieved by encouraging household food production, which includes things like home gardens, small animals, fishing, and food preservation and processing (Shetty, 2011). Food-based techniques are defined as a sustainable approach because they enable people and households to assume ultimate responsibility for the quality of their diet by producing nutrient-dense foods and making well-informed food choices. These tactics are referred to as the ideal long-term aim that society strives for ensuring access to a nutritionally adequate diet through the availability of a diverse range of foods, adequate feeding, and good preparation. Multiple nutrients, such as dietary energy, proteins, and other micronutrients, can be addressed simultaneously with food-based techniques without the risk of antagonistic nutritional interactions or excess (Thompson & Amoroso, 2014).

Food-based solutions to address micronutrient insufficiency include a wide range of interventions aimed at increasing the availability, production, and access to micronutrient-rich foods, as well as the consumption of micronutrient-rich foods and their bioavailability in the diet. In countries like Nigeria, cereal foods like biscuits and bread are particularly popular, especially among the snack-eating population (children and adolescents). These selected cereal foods are still poor providers of micronutrients without

fortification. Although iron fortification of flour is widely considered one of the most efficient and low-cost micronutrient interventions, most identified settings also have other micronutrient deficiencies. This necessitates a straightforward strategy for dealing with numerous micronutrient deficiencies. (Ayogu *et al.*, 2018). Traditional grains have gotten very little attention in terms of research. These are grains that have been proven to have sufficient nutritious content to correct micronutrient deficiencies in people of all ages. As a result, this study will look at existing interventions that promote traditional grains in order to establish their value and encourage their usage as food.

Methodology

The review looked for published studies on the utilization of pearl millets and other underutilized crops in addressing micronutrient deficiency in children in Nigeria, Africa, and other selected continents in international and local electronic sources. Studies carried out on micronutrient malnutrition, pearl millets, and sorghum. Feeding trials between 2010 and 2020 were given priority. It examines some existing literature, highlights some lessons learned, and identifies knowledge gaps and research objectives in order to solve the global problem of child malnutrition due to micronutrient deficiencies.

Results and discussion

Micronutrient deficiency interventions

Nigerian researchers are looking into children's nutritional conditions, particularly macro and micronutrient deficits. Gegios *et*

al. (2010), for example, studied "children consuming cassava as a staple food are at risk for inadequate zinc, iron, and vitamin A intake". For the entire population of children aged 2 to 5 years, 33% had an appropriate vitamin A consumption, 45 percent had an adequate iron intake, and 37% had an adequate zinc intake. Increased 20-fold for α -carotene and 4-fold for iron and zinc if biofortified, and recalculated nutrient intake and dietary cost calculations. Vitamin A deficiency would affect 61 percent of the population, while iron deficiency would affect 86 percent and zinc deficiency would affect 67%. According to the findings of the cost analysis, appropriate levels of vitamin A, zinc, and iron may be obtained for \$0.74 per day in Kenya, \$0.64 per day in Nigeria, and \$0.53/day if cassava is biofortified. Cassava consumption was found to be negatively associated with vitamin A, iron, and zinc intake, indicating that it is a risk factor for micronutrient insufficiency. When a standardized scoring system was used to evaluate the diets of Nigerians and Kenyans, both countries' diets were found to be lacking in diversity. Inadequate dietary intake of a micronutrient does not always imply clinical nutritional inadequacy, according to the Kenyan and Nigerian respondents. "A multi-micronutrient beverage improves the vitamin A and zinc status of Nigerian primary school students", said Aaron *et al.* (2011).

It was a school-based, double-blind, placebo-controlled trial including 250 children aged 5 to 11. Children were given a de-wormer, 250ml multi-micronutrient beverage, or a placebo beverage five days a week for six months before intervention. Because of their high bioavailability, iron and zinc chelates were initially chosen; however, to save money, less expensive forms of iron and zinc were mixed with the chelates. Precooked maize and soy protein isolate in a proprietary combination with added vitamins and minerals. During the

six-month intervention period, there were no significant differences in weight increase, linear growth, or anthropometric indicators. The self-reported prevalence of diarrhea, malaria, and upper respiratory illness did not differ significantly between groups.

When comparing children in the micronutrient group to children in the control group, the prevalence of vomiting was higher after the intervention. The prevalence of children with increased c-reactive protein values did not differ between groups after the intervention, nor did it differ significantly from baseline. After 6 months, the intervention had no effect on hemoglobin or serum ferritin concentrations. The multi-micronutrient beverage had a positive effect on serum retinol and zinc concentrations. However, there was a possibility that one or more of the beverage's micronutrients may have hampered iron absorption. In the analysis, the effects of subclinical infection were not entirely controlled for. Controlling for CRP and a 1-acid glycoprotein is required to determine the effects of subclinical inflammation on serum ferritin (AGP) due to the fact that increased AGP is more common in children.

Ziauddin *et al.* (2007) worked in Bangladesh on a project called "A multiple-micronutrient-fortified beverage affects haemoglobin, iron, and vitamin a status and growth in adolescent girls in rural Bangladesh". Subjects were randomly assigned to either a fortified or non-fortified beverage (orange-flavored powder, only differing in color) group for six days per week for twelve months at the schools in a randomized, placebo-controlled, double-blind study (no drink during school holidays). The orange-flavored powdered drink was supplemented with several micronutrients and sold in sachets (45 g). The prevalence of anemia, iron deficiency, and iron-deficiency anemia in the enriched beverage group fell

by half after a six-month intervention phase, with no meaningful change in the second six months. The prevalence of anemia in the non-fortified beverage group differs from the baseline after six months, but continues to rise at the twelve-month follow-up examination. Despite the food fortification intervention, 12.2% of fortified beverage drinkers and 20.5 percent of non-fortified beverage drinkers were still anemic. In addition, serum zinc levels in both groups declined between six and twelve months.

The amount of zinc taken could be the source of a putative iron-zinc interaction, resulting in inadequate zinc absorption (inconsistent level of the micronutrient). This is a restriction of micronutrient intervention in food fortification. The impact of micronutrient fortification of yogurt on micronutrient status markers and growth in Bangladesh was studied by Sazawal *et al.* (2013). It was a randomized, double-blind, controlled trial that took place in six primary schools with classes ranging from kindergarten to fourth grade (6–9 years). For a period of twelve months, the children were fed both micronutrient-fortified and non-fortified yogurt. Iron, zinc, iodine, and vitamin A were all 30 percent of the RDA in the 60 g yogurt consumed daily. Because there was no iron deficiency at the start, it was unable to assess its impact on iron status. Improved hemoglobin concentration indicates improved iron utilization, which could be due to the availability of vitamin A and zinc. A total of 400 children were recruited in order to identify a 2.6 g/L increase in mean hemoglobin levels, a 38 percent reduction in iron deficit, and a 37 percent reduction in zinc deficiency.

Van der Hoeven (2014) investigated the impact of African leafy vegetables on the reduction of micronutrient deficits in schoolchildren in South Africa's North-West province. The study used a randomized

controlled design with 171 kids as participants. For 62 school days, children in the experimental group were provided 300 grams of a cooked ALV dish with the starch of the school meal, whereas children in the control group were fed the regular school meal. African leafy vegetables had no effect on serum retinol, ferritin, or hemoglobin levels. Despite the population's low zinc status, African leafy vegetable consumption had no effect on serum zinc concentrations. For serum retinol and serum ferritin, there was no difference between baseline and endpoint values.

Despite the fact that the African leafy vegetable dishes appeared to be high in micronutrients and that this group has (moderate) micronutrient deficits, children from a rural agricultural community's micronutrient status did not improve after three months of intake. The high phytic acid content of maize meal is thought to be the most important dietary component influencing the absorption of native and fortified iron and zinc, especially in a plant-based diet. In addition, the study population's micronutrient status was better than expected. Because the control meals had more variety, adherence to the intervention meals waned toward the end, most likely due to product weariness.

Researchers in Nigeria who studied staples were evaluated. Levels of iron (Fe) and zinc (Zn) in staple cereals: Micronutrient deficiency implications in rural Northeast Nigeria were investigated by Musa *et al.* (2012). The grains were chosen at random from the open market and tested for iron and zinc levels. In Borno and Yobe states, maize, pearl millets, rice, and sorghum are grown locally. The contents of iron and zinc were determined by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS). The highest mineral content was

found in sorghum and pearl millets, which had similar iron concentrations. Pearl millet had the highest zinc content, while rice had the lowest. Pearl millet and sorghum were found to be more nutritious than maize and rice from Northeast Nigeria based on vital trace content. In order to improve the bioavailability of these micronutrients, processing procedures that minimize anti-nutrients like phytate in cereals should be examined.

Jaryum *et al.* (2016) conducted a study on the comparative analysis of certain trace element levels in basic cereals grown in Plateau State, Nigeria. The goal of the study was to examine and assess the differences in the mineral element content of several grain meals grown in North-Central Nigeria (rice, maize, guinea corn, and finger pearl millets). Using an atomic absorption spectrophotometer to evaluate iron, zinc, and calcium content, Guinea corn had the greatest mineral level, followed by pearl millet, and rice and maize had the lowest mineral levels. In Ogun State, Agbon *et al.* (2009) investigated the micronutrient content of traditional supplemental foods.

The goal of the study was to find out which cereals were most usually used in the creation of Ogi in the study community, as well as provide information on the iron, zinc, and calcium content of the cereal pap using data from 150 breastfeeding women. Atomic Absorption Spectrophotometry was used to determine the concentrations of iron, zinc, and calcium. Traditional supplementary foods included pap made from white and yellow maize, pearl millets, and sorghum. Sorghum pap was favored by 42 percent of the women above other pap, while pearl millet was the least used while having the highest nutritional content.

Need for novel food processing and preparation of underutilized crops

Novel processing and preparation methods, such as extrusion and sourdough fermentation, have enormous potential for transforming underutilized crops into a wide range of high-quality snacks and products, such as bread and biscuits, that provide convenience, taste, texture, color, shelf-stability, and increased micronutrient concentrations at a low cost. Because these crops are familiar to the local populace, their cultivation, consumption, and acceptability as sourdough and/or extruded snacks should not be an issue.

Advocacy for the use of these improved snack attributes as a vehicle for micronutrient intervention during school meals may be critical. A biscuit is regarded as a snack, and it is simple to distribute and store. It also is simple to keep track of, making it less vulnerable to abuse. Because it is viewed as a snack rather than a meal, biscuits can be used to fight micronutrient deficit. As a result, they are unlikely to replace meals provided to the child at home. Biscuits also have the advantages of requiring little preparation, being easy to

Tabla 1

The Statistical Division. Top 10 millet producers, 2013

Country	Production (Tons)
India	10,910,000
Nigeria	5,000,000
Niger	2,955,000
China	1,620,000
Mali	1,152,331
Burkina Faso	1,109,000
Sudan	1,090,000
Ethiopia	807,056
Chad	582,000
Senegal	572,155
World	29,870,058

Note. Thompson & Amoroso (2014).

distribute, and having a long shelf life (Goyle & Prakash, 2011).

Millet as an underutilized crop

Millet is the world's sixth most important cereal crop. Millets are major crops throughout Asia and Africa, particularly in India, Nigeria, and Niger, where they account for 97 percent of millet output. For the past 10,000 years, they have been cultivated in East Asia. India is the world's leading millet producer (Sarita, 2016). Nigeria has been identified as the world's second-largest millet grower, after India (Table 1). Millets were one of the earliest foods known to humans, but with urbanization and industrialization, they were replaced by rice and wheat. The most important millets are pearl millet, foxtail millet, and finger millet. These crops can withstand a wide range of temperatures, moisture regimes, and soil fertility conditions, and they produce consistent yields. Gluten-free pearl millet is one of the most easily digestive and non-allergenic cereals available (Ameh *et al.*, 2013; Michaelraj & Shanmugam, 2013; Yacob & Timothy, 2017).

Panicum glaucum, sometimes known as pearl millet, is a grass that grows in warm areas all over the world. The annual plant *Panicum glaucum* has a shallow, fibrous, and flat root. Pearl millet, Finger millet, Foxtail millet, Kodo millet, Little millet, Barnyard millet, Sorghum, and Proso millet are some of the numerous types of millets grains grown in Africa and India (Yacob & Timothy, 2017). Millets are an important food component in many African and Asian locations, with millet-based traditional dishes and beverages (fermented or unfermented), porridges, and snack foods popular among the less affluent (Shahidi & Chandrasekara, 2013). B vitamins, copper, potassium, iron, phosphorus, magnesium, zinc, and manganese are all abundant in millet. Millet has long been a staple in many cultures, but research into its nutritional benefits and application is still in its early stages (Yacob & Timothy, 2017). Due to higher levels of protein with a more adequate amino acid profile, dietary energy, vitamins, insoluble dietary fiber, several minerals (especially micronutrients such as iron and zinc) leading to a lower glycemic index, and phytochemicals with beneficial antioxidant properties, pearl millet grains can be comparable or even superior in terms of nutrition content to major cereals such as wheat and rice.

Millet may be turned into a wide range of delicious foods, especially when combined with a small amount of wheat. It can be extruded into snacks, ready-to-eat foods, and other products. Because pearl millets lack gluten protein, they cannot be used to manufacture yeast-leavened bread. Millet is one of the world's oldest grains. Meanwhile, highly variable demand and supply situations have resulted in wheat supply interruptions and price increases, putting wheat-importing countries like those in Sub-Sahara Africa at risk of food insecurity as they rely on higher imports to meet rising wheat demand (Negasia *et al.*, 2013).

For this study, researchers looked at several previous studies that compared underused millet grains to more often consumed grains. Levels of iron and zinc in staple cereals. Micronutrient deficit implication and comparative examination of some trace element content of stable cereals were studied by Musa *et al.* (2012) and Jaryum *et al.* (2016), respectively. Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) was used to examine maize, pearl millet, rice, guinea corn, and sorghum, among other grains. Pearl millet had the highest zinc and iron concentrations, whereas sorghum and Guinea corn had the highest iron concentrations. Rice and maize had the lowest zinc and iron concentrations. The presence of phytic acid and polyphenols affects the bioavailability of iron and zinc, among other things. In a systematic review of the "Potential functional implications of pearl millet in health and illness".

Nambiar *et al.* (2011) found that, despite its high micronutrient content and necessary amino acids, pearl millets are underutilized and compete with rice and maize. Pearl millets' nutritional content, health benefits and processing, selected products, and nutraceutical value for enhanced human health were examined by Issoufou *et al.* (2013) and Bora (2014). Pearl millet is said to have a high quantity of vitamins, minerals, fatty acids, dietary fibers, high-quality essential amino acids, great nutritional quality, and various health benefits when compared to wheat and rice (anti-inflammatory, anti-microbial, novel treatment of blood pressure, diabetes, etc.).

Limitations include commonly utilized processing procedures that result in significant nutritional loss, preventing increased pearl millet usage. Pearl millet grains are regarded as traditional food and a low-status food, and

they are mostly ignored in science, agricultural programs, and policy. "Pearl millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefit" (review) and "Sorghum and Pearl millet food research failures and successes" (meta-analysis) were researched by Ameh *et al.* (2013) and Rooney *et al.* (2012), respectively. When compared to main grains like rice and wheat, Ameh *et al.* (2013) found pearl millets to have a high nutritional value. And that pearl millets' nutritious content makes them suited for large-scale use in the production of food products such as extruded snack food and infant meals. Premium pearl millet goods that match consumer needs of a food product-convenience, taste, texture, color, and shelf-life are frequently not available in metropolitan areas, according to Rooney *et al.* (2012). The stigma of pearl millet as a poor man's diet can be dispelled by creating a more appealing and enhanced product.

Anti-nutritional factors in millets

Due to the presence of antinutritional agents, millet has a low bioavailability despite its high nutrient content. Phytate is found in seeds (seed coat and germ), roots, and tubers as a naturally occurring organic molecule. Mineral elements such as zinc, iron, magnesium, and calcium create near-soluble or insoluble compounds with it. The majority of phosphorus in cereals is said to be in the form of phytic acid, which is unavailable to the human body. Because phytates interact with proteins, their availability is reduced. Phytate concentration in different pearl millet cultivars reported by different studies ranges from 354 to 857 mg, 100g-1 kg (Aggarwal, 1992; Kumar & Chauhan, 1993; Poonam *et al.*, 2002; Rani *et al.*, 2018).

Certain food processing activities, such as germination, heat treatment, fermentation,

milling, and germination, have been found to reduce the amount of phytate in plant material (Rani *et al.*, 2018). Polyphenols are a prominent antinutritional factor because they block the activity of various hydrolytic enzymes, including amylase, cellulose, trypsin, chymotrypsin, and galactosidase, as well as forming tannin protein complexes, which limit starch and starch consumption. Vitamin and mineral availability is reduced by phenols. Low starch and protein digestibility have been documented in millet, which can be ascribed to antinutritional components in grains (Common Fund for Commodities & International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2003).

Value addition and extruded products from pearl millets

In terms of minerals, vitamins, and dietary fiber (water-soluble/insoluble), pearl millets are nearly 3-5 times nutritionally superior to wheat and rice due to their micronutrient concentration. When compared to roasted weaning foods, the extrusion technique enhanced the iron availability of extruded weaning foods based on pearl millet, peanut, cowpea, or milk powder by 3.5 to 6.5 times (Pathak & Kochar, 2018). Using an experimental approach, Sawant *et al.* (2013) investigated "Physical and sensory aspects of ready-to-eat meal created from finger millet-based composite mixer by extrusion". Ready-to-eat nutrition extruded snack was made using a mixture of finger millets, maize, rice, full-fat soy, Bengal grain, and skimmed milk powder. Protein and minerals were found to be sufficient. There was also a difficulty with the flour mix ratio. "Development of protein-rich ready-to-eat extruded snacks using a composite blend of rice, sorghum, and soybean flour", according to Omwamba and Mahungu (2014). A satisfactory nutritional profile and

amino acid retention were reported. It was decided to employ an experimental design. The flour mix ratio presented a problem.

Omah (2012) worked on the development and testing of baked and extruded snacks made from pearl millet, pigeon pea, and cassava cortical flour blends. The protein levels, as well as all mineral and vitamin products, were kept better in extruded snacks than in cookies, according to the study. Hot extrusion is a high-temperature, short-time method that minimizes nutrient loss. The anti-nutrients in the prepared samples were reduced by baking and extrusion, although not to the maximum extent possible. Lack of quality grain supply, nutritional myths such as poor digestibility, few shelf-stable convenience foods, unavailability of extension of existing processing technology, governmental policy, logistics and markets issues, poor image of sorghum and pearl millets, and grain storage facilities are some of the challenges that extrusion processing faces in developing economies (Pathak & Kochaar, 2018). However, at the national level, extrusion technology should be incorporated into food.

Conclusion

Any sustainable plan to reduce micronutrient deficiencies must include strategies to improve the availability, access to, production, and usage of locally accessible foods with high micronutrient content and bioavailability that accomplish desirable micronutrient intakes and health outcomes. Changes in eating behavior through communications, social marketing, or nutrition education are among the approaches used in these types of strategies, as are changes in traditional domestic methods for preparing and processing indigenous and underutilized foods. Underutilized crops like pearl millet grains were found to have more

nutritional content and potential health advantages than major cereals like rice, wheat, and maize.

However, consumption of these underutilized crops as food is restricted to rural communities and households. Despite their high nutritional value, their potential worth has been underestimated and underutilized due to a lack of attention. As a result, their deterioration can have immediate effects on the poor's nutritional status and food security, jeopardize better nutrition, and raise fears of hidden hunger in a world that is becoming increasingly populated, impoverished, and subject to significant climatic uncertainties. Many civilizations have long relied on underutilized grains like pearl millet, but study into its nutritional worth and application is still in its early stages.

Acknowledgments

We appreciate all authors referenced in this work, the online availability and accessibility of their research work made this study possible.

References

- Aaron, G. J., Kariger, P., Aliyu, R., Flach, M., Iya, D., Obadijah, M., & Baker, S. K. (2011). A Multi-Micronutrient Beverage enhances the Vitamin A and Zinc Status of Nigerian Primary Schoolchildren. *Journal of Nutrition*, 141(8), 1565-1572. <https://doi.org/10.3945/jn.110.136770>
- Abubakar, N., Atiku, M. K., & Alhassan, J. A. (2017). An assessment of Micronutrient Deficiency: A Comparative Study of Children with Protein-energy Malnutrition and apparently healthy controls in Kano, Northern Nigeria. *Trop Journal of Medical Research*, 20(1), 61. <https://doi.org/10.4103/1119-0388.198124>
- Agbon, C. A., Oguntona, C. R., & Mayaki, T. F. (2009). Micronutrient Content of Traditional

Complementary Foods. The Forum for Family and Consumer Issues. *International Journal of Nutrition*, 5(1), 1–8.

Aggarwal, A. J. (1992). *Processing of Pearl millet for its More Effective Utilization* [Ph. D Thesis]. Chaudhary Charan Singh Haryana Agricultural University, Hisar, India.

Akeredolu, I. A., Oguntona, B. E., Okafor, C., & Osisanya O. J. (2011). Iron, Zinc and Copper Malnutrition among Primary School Children in Lagos, Nigeria. *Food and Nutrition Sciences*, 2(10), 1063–1070. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.210142>

Ameh, S. M., Saleh, Q., Jing, C., & Qun, S. (2013). Pearl millet Grains: Nutritional Quality, Processing, and Potential Health Benefits Impact of sourdough on the texture of bread. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(2), 165–174. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12012>

Ayogu, R. N. & Onah, T. P. (2019). Impact of Cowpea Fortified Cookies on Anthropometric and Micronutrient Status of Primary School Children: A randomized, single-blind trial. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 21(10), 1341–1348. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_72_18

Ayogu, R. N., Afiaenyi, I. C., & Madukwe, E. U. (2018). Prevalence and Prediction of Under Nutrition among Schoolchildren in a Rural Southeastern Nigeria Community: A cross sectional study. *BMC Public Health*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5479-5>

Bailey, R. L., West, K. P., & Black, R. E. (2015). The Epidemiology of Global Micronutrient Deficiencies. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 66(2), 22–33. <https://doi.org/10.1159/000371618>

Bora, P. (2014). Anti-Nutritional Factors in Foods and their Effects. *Journal of Academia and Industrial Research*, 3(6), 285–291.

Common Fund for Commodities & International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. (2003). *Alternative uses of sorghum and pearl millet in Asia* [Proceedings]. Expert meeting ICRISAT, Andhra Pradesh, India. https://search.library.uq.edu.au/primoeexplore/fulldisplay?vid=61UQ&tab=61uq_all&docid=61UQ-ALMA2179623590003131&lang=en_US&context=L

Ekholuenetale, M., Tudeme, G., Onikan, A., & Ekholuenetale, C. (2020). Socioeconomic inequalities in hidden hunger, undernutrition, and overweight among under-five children in 35 sub-Saharan Africa countries. *Journal of the Egyptian Public Health Association*, 95, 9. <https://doi.org/10.1186/s42506-019-0034-5>

Federal Ministry of Health Department of Family Health Nutrition. (2013). *National Guidelines on Micronutrient Deficiencies Control in Nigeria* (NGMDC), Division Abuja, Nigeria. <https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/2019/09/MNDC-guideline.pdf>

Gegios, A., Amthor, R., Maziya-Dixon, B., Egesi, C., Mallowa, S., Nungo, R., Gichuki, S., Mbanaso, A., & Manary, M. (2010). Children Consuming Cassava as a Staple Food are at Risk for Inadequate Zinc, Iron, and Vitamin A Intake. *Plant Foods Human Nutrition*, 65, 64–70. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0157-5>

Goyle, A. & Prakash, S. (2011). Effect of supplementation of micronutrient fortified biscuits on serum total proteins and vitamin A levels of adolescent girls (10–16 years) of Jaipur city, India. *Nepal Medical College Journal*, 13(4), 233–237.

Ibeanu, V. N., Edeh, G. C., & Ani, P. N. (2020). Evidence-Based Strategy for Prevention of Hidden Hunger among Adolescents in a Suburb of Nigeria. *BMC Public Health*, 20, 1683. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09729-8>

Issoufou, A., Mahamadou E., Gounga, & Guo-Wei, L. (2013). Pearl millets: Nutritional Composition, Some Health Benefits and Processing. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(7), 501–508. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i7.12045>

Jaryum, K., Gazuwa, S., Dayok, O., & Onyeka, J. (2016). Comparative Analysis of Some Trace Element Contents of Staple Cereals Grown in Plateau State, North-central Nigeria. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(2), 129–133. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20160502.16>

Kumar, A. & Chauhan, B. M. (1993). Effect of Phytic Acid on Protein Digestibility (In Vitro) and HCL - Extractability of Minerals in Pearl Millet Sprout. *Journal of Cereal Chemistry*, 70(5), 504–506. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1993/documents/70_504.pdf

- Michaelraj, P. & Shanmugam, A. (2013). A Study on Pearl Millets Based Cultivation and Consumption in India. *International Journal of Marketing, Financial Services & Management Research*, 17(1), 24–29.
- Musa, U., Hati, S., & Mustapha, A. (2012). Levels of Fe and Zn in Staple Cereals: Micronutrient Deficiency Implications in Rural Northeast Nigeria. *Food and Public Health*, 2(2), 28–33. <https://doi.org/10.5923/J.FPH.20120202.06>
- Nambiar, V., Dhaduk, J. J., Sareen, N., Shahu, T., & Desai, R. (2011). Potential Functional Implications of Pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Health and Disease. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 1(10), 62–67. https://www.japsonline.com/admin/php/uploads/299_pdf.pdf
- Negasia, A., Shiferaw, B., Koo, J., Sonder, K., & Smale, M. (2013). *The Prevalence of Wheat Production in Africa: Analysis of Biophysical Suitability and Economic Profitability* [Conference paper]. Increasing Agricultural Productivity & Enhancing Food Security in Africa: New Challenges and Opportunities, Africa Hall, UNECA, Addis Ababa, Ethiopia. <https://hdl.handle.net/10568/42076>
- Omah, E. C. (2012). *Production and Evaluation of Baked and Extruded snacks from Blends of Pearl millet, Pigeon Pea and Cassava Cortex Flour* [M.Sc. Thesis]. Department of Food Science and Technology University of Nigeria, Nsukka.
- Omwamba, M. & Mahungu, S. M. (2014). Development of a Protein-Rich Ready-to-Eat Extruded snack from a Composite Blend of Rice, Sorghum and Soybean Flour. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 1309–1317. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.514142>
- Onabanjo, O. O. & Balogun, O. L. (2014). Anthropometric and Iron Status of Adolescents from Selected Secondary Schools in Ogun state, Nigeria. *Childhood Obesity Nutrition*, 6(2), 109–118. <https://doi.org/10.1177/1941406414520703>
- Pathak, N. & Kochaar, A. (2018). Extrusion Technology: Solution to Develop Quality Extruded snacks for Malnourished Generation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 1293–1307. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.158>
- Poonam, A., Salil S., & Asha, K. (2002). The Role of Dry Heat Treatment in Improving the Shelf life of Pearl Millet Flour. *Nutrition and Health*, 16, 331–336. <https://doi.org/10.1177/026010600201600406>
- Rani, S., Singh, R., Sehrawat, R., Kaur, B. P., & Upadhyay, A. (2018). Pearl millet Processing: A Review. *Nutrition and Food Science*, 48(1), 30–44. <https://doi.org/10.1108/NFS-04-2017-0070>
- Rooney, L. W., Awika, J., & Dykes, L. (2012). Registration of Tx3362 sorghum germplasm. *Journal of Plant Registrations*, 7(1), 104–107. <https://doi.org/10.3198/jpr2012.04.0262crg>
- Ross, M. W. (2013). *Food System Strategies for Preventing Micronutrient Malnutrition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/CA2243EN/>
- Sarita, E. S. (2016). Potential of Pearl millets: Nutrients Composition and Health Benefits. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 5(2), 46–50. https://www.jsirjournal.com/Vol5_Issue2_04.pdf
- Sawant, A. A., Thakor, N. J., Swami, S. B., Divate, A. D., & Vidyapeeth, S. K. (2013). Physical and Sensory Characteristics of Ready-To-Eat food prepared from finger pearl millet based composite mixer by extrusion. *CIGR Journal*, 15(1), 100–105.
- Sazawal, S., Habib, A., Dhingra, U., Dutta, A., Sarkar, A., Deb, S., Alam, J., Husna, A., & Black, R. (2013). Impact of micronutrient fortification of yoghurt on micronutrient status markers and growth. A randomized double blind controlled trial among school children in Bangladesh. *BMC Public Health*, 13, 514. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-514>
- Shahidi, F. & Chandrasekara, A. (2013). Millets grain phenolics and their role in disease risk reduction and health promotion: A review. *Journal of Functional Foods*, 5(2), 570–581. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.02.004>
- Shetty, P. (2011). *Addressing micronutrient malnutrition to achieve nutrition security. Combating Micronutrient Deficiencies: Food-Based Approaches*. Centre for Agricultural Bioscience International; Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/amo27e/amo27e00.htm>
- Thompson, B. & Amoroso, L. (2014). *Improving Diets and Nutrition Food-Based Approaches*. Nutrition Division Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Van der Hoeven, M. (2014). The effect of African Leafy Vegetables on the alleviation of Micronutrient

Deficiencies in Schoolchildren. North West province, South Africa. *Public Health Nutrition*, 19(5), 935–945. <https://doi.org/10.1017/S1368980015002037>

World Health Organization. (2020). *Serum Ferritin Concentration for the Assessment of Iron Status in Individuals and Population: technical brief*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/337666>.

Yacob, A. Z, & Timothy, D. J. (2017). Rates of return to sorghum and pearl millet research investments: A meta-analysis. *PLoS ONE* 12(7), e0180414. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180414>

Ziauddin, S., Haseen, F., Khan, M., Schaetzel, T., Jalal, C., Rahman, M., Lönnnerdal, B., Mannar, V., Mehansho, H. (2007). A multiple-micronutrient-fortified beverage affects hemoglobin, iron, and vitamin A status and growth in adolescent girls in rural Bangladesh. *The Journal of Nutrition*, 137(9), 2147–2153. <https://doi.org/10.1093/jn/137.9.2147>

Development of analytical methodologies for the quality control of liquors using nearby infrared spectroscopy and multivariate analysis

Desarrollo de metodologías analíticas para el control de calidad de licores mediante espectroscopia infrarroja cercana y análisis multivariante

José Libardo Tapiero Cuellar¹ 

Alexis Valle Mora² 

¹Universidad Nacional Sede Palmira. Colombia jltapieroc@unal.edu.co

²Centro de Comercio y Servicios, Regional Atlántico avalle@sena.edu.co

Recibido: 08/04/2022 Aceptado: 15/04/2022

Resumen La aplicación de la espectroscopia de infrarrojo cercano NIR y el análisis multivariante es una técnica de análisis rápido en la cuantificación del contenido de metanol en licores de distribución comercial (Aguardiente), para identificar si estos licores superan los límites de metanol establecidos en la norma AOAC 972.11 (100 mg/dm³) (AOAC 972.11, 1973). En una primera etapa, se realizó la aplicación de un diseño de mezclas ternarias metanol-etanol-agua (MDOE) con el fin de reducir los efectos de correlación entre las variables, además para lograr modelos multivariados que incluyan la variabilidad importante para ampliar el rango de calibración que actúa en las condiciones del proceso y en los sitios de comercialización. La segunda etapa estuvo asociada al registro de los espectros NIR de las muestras preparadas, para obtener una matriz de datos, a partir de la cual, se desarrollan los modelos multivariados utilizando diferentes algoritmos. Los resultados obtenidos demuestran que es posible desarrollar un método de análisis rápido para la cuantificación de metanol en muestras de aguardiente, utilizando la espectroscopia NIR y los modelos multivariantes construidos, en los que se obtuvo un Error Cuadrático Medio de Predicción (RMSEP) de 0,7766 % y un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9553.

Palabras clave: adulteración, aguardiente, espectroscopia de infrarrojo cercano NIR, quimiometría, análisis multivariado.

Abstract The application of NIR near-infrared spectroscopy and multivariate analysis as a rapid analysis technique in the quantification of the content of methanol in commercially distributed liqueurs (Aguardiente), to identify if these liqueurs exceed the methanol limits established in the standard. AOAC 972.11 (100 mg/dm³) (AOAC 972.11, 1973). For this, in a first stage, the application of a design of ternary mixtures methanol-ethanol-water (MDOE) was carried out in order to reduce correlation effects between the variables, in addition to achieving multivariate models that include variability important by expanding the calibration range that act under process conditions and in commercialization sites. The second stage was associated with the recording of the NIR spectra of the prepared samples, to obtain a data matrix, from which the multivariate models are developed using different algorithms. The results obtained showed that it is possible to develop a rapid analysis method for the quantification of methanol in Aguardiente samples, using NIR spectroscopy and the multivariate models constructed, in which a Mean Square Prediction Error (RMSEP) of 0.7766 % was obtained and correlation coefficient (R^2) of 0.9553.

Keywords: adulteration, aguardiente, NIR near-infrared spectroscopy, chemometry, multivariate analysis.

Introduction

Brandy as distilled alcoholic beverage comprises 98 percent by water and ethanol, (Flórez, 2009; Zuleta & Jaramillo, 2000). The difference corresponds to inorganic elements of the total mass of the product. The regulations for its consumption and distribution are governed by each country where it is marketed. During recent years the adulterations have grown considerably, becoming an expensive and difficult problem to control. Generally, adulterations are performed with methanol, resulting from blindness to death of the consumer.

In Colombia, the adulteration of products has been repeatedly presented in various markets, specifically food, medicine, fuel and liquor. Its contraband is a constant practice of groups that are dedicated to its commercialization and even with the endorsement of the final buyer for its low prices. This has led to the country having a greater tax loss for illegal alcohol, about US \$ 468 million a year (EH, 2015). Falsifying or adulterating liquor has become a very lucrative business that is increasing and expanding. Access to the raw materials necessary for the creation of the product is very simple and by not paying taxes, it is possible to sell it at a price below the original, which is the main sign of a market affectation. And although it is true that many people prefer the original product already for the time, it is very difficult to identify at first glance an adulterated liquor from a commercial one.

Gas chromatography has been used as a reference method to determine and classify adulterated liquors (Dong *et al.*, 2014; Ding *et al.*, 2016). However, this technique is expensive, requires careful sample preparation, long response times, and is also

destructive in nature. For this reason, in recent years, spectroscopic techniques have been proposed for the quality control of liqueurs. Due to their various characteristics, within these techniques, near-infrared spectroscopy (NIR) can be cited, used for the classification of various alcoholic beverages (Chen *et al.*, 2014). This technique is non-destructive, has good reproducibility and precision, short response time, offers the advantages of simplicity of sample presentation and low cost. (Yu *et al.*, 2005; Hu *et al.*, 2018).

Advances in NIR instrumentation in combination with the development of chemometrics through multivariate analysis methods make this technology ideal for large volumes, rapid detection and characterization of food components down to parts per billion (ppb) levels (Ghasemi-Varnamkhasti & Forina, 2014). Given the use in quality applications and process control, the food industry has become familiar with the technology and its potential to expand into monitoring food adulteration.

NIR near-infrared spectroscopy coupled to multivariable PLS and PCR analysis methods is proposed to determine the concentration of methanol in liqueurs in a fast way, so that it can be implemented at commercial points and evaluate its possible adulteration.

Methodology

Samples were considered two samples of Firewater supplied and certified under the NTC-4118: 1997 Seventh updated by the Liquor Factory Antioquia, (FLA) Colombia. The methanol (CAS: 67-56-1, lot: X08C03, JT BAKER) and water ultrapure (water purification system type I, Thermo Smart2Pure 3 UV) used in the preparation of the mixtures.

The mixtures were prepared in the Food and Beverage laboratory of the SENA Trade

and Service Center, Regional Atlántico. The samples were prepared in duplicate, Table 1.

Table 1

Percentage ratio of Aguardiente, ultrapure water and methanol, established by the design of experiments

COMPONENTS OF THE MIX							
Mix	Aguardiente (%w/w)	Water (%w/w)	Methanol (%w/w)	Mix	Aguardiente (%w/w)	Water (%w/w)	Methanol (%w/w)
A-01	99,9440	0,0000	0,0560	A-26	97,4176	0,0000	2,5824
A-02	99,9294	0,0000	0,0706	A-27	96,6698	0,0000	3,3302
A-03	99,6539	0,0000	0,3461	A-28	95,8696	0,0000	4,1304
A-04	99,7086	0,0000	0,2914	A-29	94,9725	0,0000	5,0275
A-05	99,5118	0,0000	0,4882	A-30	92,4831	0,0000	7,5169
A-06	99,9772	0,0000	0,0228	A-31	91,1211	0,0000	8,8789
A-07	99,3172	0,0000	0,6828	A-32	89,9279	0,0000	10,0721
A-08	98,9859	0,0000	1,0141	A-33	87,4269	0,0000	12,5731
A-09	97,9367	0,0000	2,0633	A-34	96,5329	0,1444	3,3227
A-10	95,0760	0,0000	4,9240	A-35	80,4110	1,6019	17,9870
A-11	90,9091	0,0000	9,0909	A-36	91,1785	2,1154	6,7061
A-12	99,8409	0,0000	0,1591	A-37	93,8604	5,4344	0,7052
A-13	99,9476	0,0000	0,0524	A-38	88,9109	6,9864	4,1027
A-14	99,8868	0,0000	0,1132	A-39	79,9673	8,3930	11,6397
A-15	99,8004	0,0000	0,1996	A-40	84,1846	10,2271	5,5883
A-16	99,7621	0,0000	0,2379	A-41	74,4924	10,9420	14,5656
A-17	99,6875	0,0000	0,3125	A-42	70,2617	12,4239	17,3144
A-18	99,6391	0,0000	0,3609	A-43	86,5044	13,2305	0,2651
A-19	99,5795	0,0000	0,4205	A-44	65,1615	14,9210	19,9176
A-20	99,4743	0,0000	0,5257	A-45	81,9674	15,1279	2,9047
A-21	99,2653	0,0000	0,7347	A-46	76,4803	16,4758	7,0440
A-22	99,0419	0,0000	0,9581	A-47	70,2843	20,5133	9,2023
A-23	98,9022	0,0000	1,0978	A-48	89,8303	4,2589	5,9108
A-24	98,6726	0,0000	1,3274	A-49	85,7456	9,4469	4,8075
A-25	98,2445	0,0000	1,7555	A-50	93,5144	5,8826	0,6030

Note. Own work.

Experimental Design

To develop analysis establishing the considered Design Experiments of Mixture Ternaries (DEMT). Next, the NIR spectra were obtained to create the data matrix; build the multivariate calibration models and external validation of the built models. Finally, the application of the model made to commercial

samples is carried out. This is performed to reduce correlation effects between the variables and achieve multivariate models including variability allowing wider range calibration and the simulation of conditions of adulteration in samples commercialized.

For the case, the concentration of the Aguardiente samples was carried out with different contents of methanol and water to generate adulteration (ternary mixtures

of Liquor/methanol/ water, L/M/A). This condition was achieved by applying the design of ternary mixtures with the restriction design approach using the statistical software JMP 13 64-bit *free trial* version. For the investigation,

50 mixtures were established in the range from 0 to 100% for liquor, from 0 to 20% for methanol and water, expressed in % v/v, Figure 1.

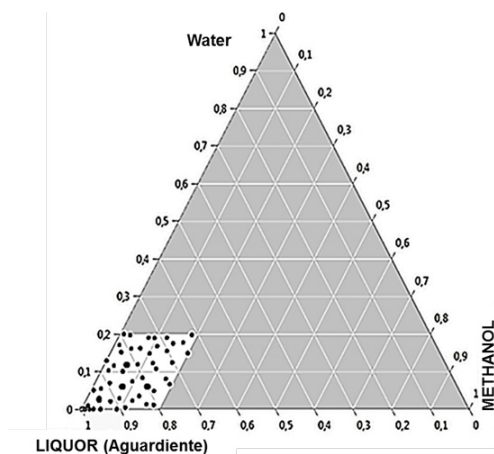


Figure 1

Ternary diagram of the design of mixtures by restrictions

Note. Own work.

Sample Analysis

The NIR readings mixtures and study samples are performed in one Spectrophotometer Ocean Optics NIRQuest 256–2.5, using the accessory liquid samples CUV Cuvette Holder. Where an external VIS–NIR light source with tungsten halogen lighting type is used. The detector is of InGaAs with size Slit 025 microns, the spectral range of 900 to 2500 nm (4000 to 11500 cm^{-1}), integration time 1 ms to 400 ms. Using OceanView® 1.6 .5 software and it calibrated, the transmittances were performed, in wave number (cm^{-1}), with 4 boxcart and an average of 50 scans per spectrum. The NIR reading of the samples were made using 2 mL quartz cuvettes and were acquired in a time of 5 seconds. The spectrums of the sample are get triplicate.

For the development of the calibration models, the prepared samples were randomly classified into two sets: a calibration set (70% of the samples–70 samples), and a validation

or prediction set (30% of the samples–30 samples) used in external validation. This random classification was made by simple random sampling using the MS Excel 2010 platform. Different mathematical pretreatments were applied to the NIR spectra obtained, in order to increase the signal/noise ratio. The applied pretreatment methods were: baseline correction using *baseline offset* and *linear baseline correction*, derivation with Savitzky–Golay filter with second-order polynomial, orthogonal signal correction (OSC) and SNV.

The construction of the multivariate calibration models was done using the samples of the calibration set, applying the PLS algorithm and using the method of internal cross-validation with 20 random segments. The qualitative analysis of spectra was done by applying the PCA, which allows reducing the dimensionality of the data to a small number of main components, making it possible to pool samples to determine whether

they are adulterated with methanol or not. The validation of the multivariate models was done by external validation, using the data set not included in the calibration (validation set).

Statistical Analysis

The statistical parameters used to evaluate quality models in calibration sets and external validation, were the correlation coefficient (R^2) and the mean error standard Quadratic, RMSE (Root Mean Square Calibration, RMSEC; Quadratic Prediction Error (RMSEP) (Martens & Naes, 1992). The RMSE is a measure of the prediction error expressed in units of the original measurement. The calculations of the corresponding statistical parameters and graphs were performed with the 30-day trial version of The Unscrambler X 10.4 Chemometric software (free trial version-30 days).

Results and discussion

The NIR spectra for the certified Aguardiente sample and the mixtures are presented in Figure 2. where methanol is used as an adulterating agent in alcoholic beverages. Spectral curves show the spectral difference between methanol, ethanol, water, and brandy.

Between methanol and ethanol given spectral difference very small between 5000 cm^{-1} and 5800 cm^{-1} , being very similar to the nature of the alcohol compound ($-\text{OH}$). Furthermore, the structure of an alcohol is similar to that of water since an alcohol comes from the substitution of one of the hydrogens in the water for an alkyl group. Water has a spectrum very similar to that of brandy, differing from these in the region of 7200 cm^{-1} to 10000 cm^{-1} .

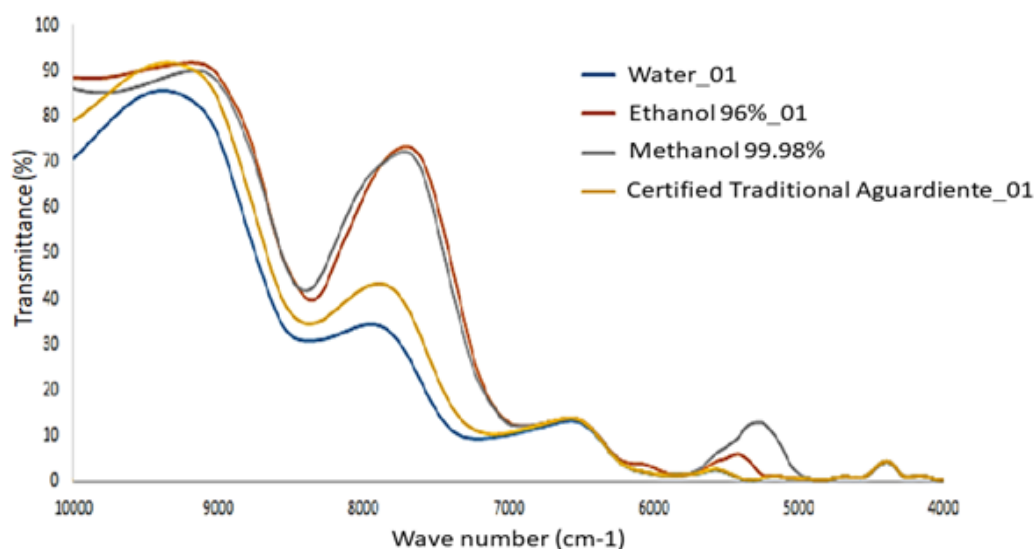


Figure 2

NIR spectra of the pure components of the mixtures

Note. Own work.

The overlays of the spectra of the evaluated samples show similarity in their path, where the region with the greatest variation is achieved between 7000 cm^{-1} and 8500 cm^{-1} , Figure 3.

In this case there is no significant variation between methanol and ethanol indicating that the value is not given by changes in the concentration of the two compounds.

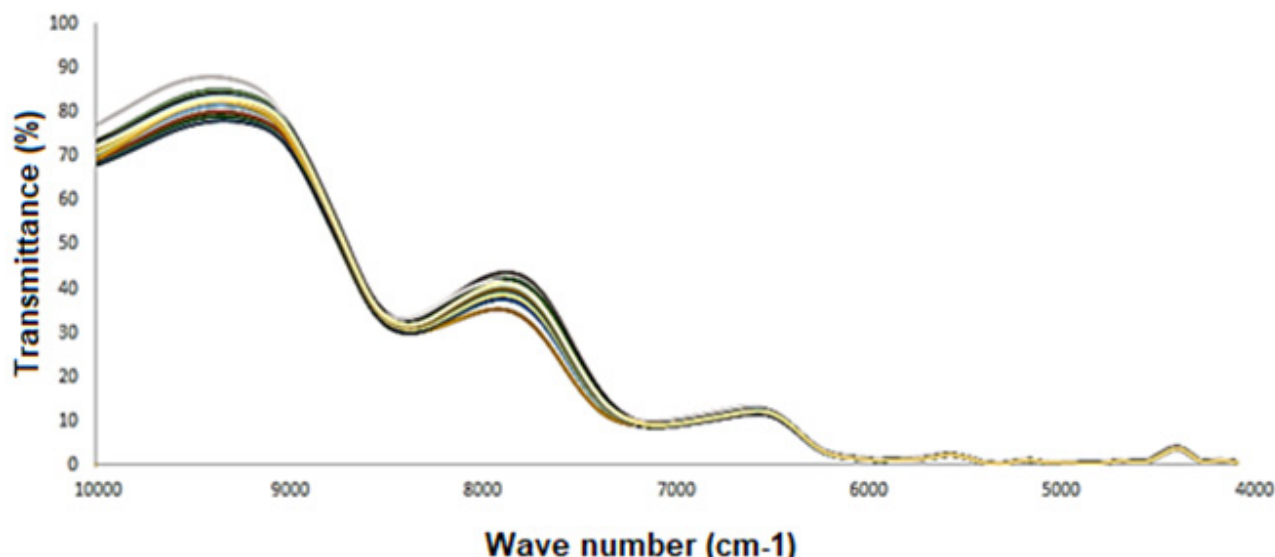


Figure 3

Superimposed NIR spectra of the prepared mixtures

Note. Own work.

With the intention of increasing the signal-to-noise ratio, the first order Savitzky-Golay derivative and baseline correction pretreatments were applied. The first derivative is used for the exact determination of the absorption maximum, especially when

dealing with wide peaks. Figure 4 shows the NIR spectra of the mixtures after applying the first derivative. It was observed that in the range between 7500 cm^{-1} and 9000 cm^{-1} is given the greatest variation, showing one minimum displacement spectra derivatives along the horizontal axis.

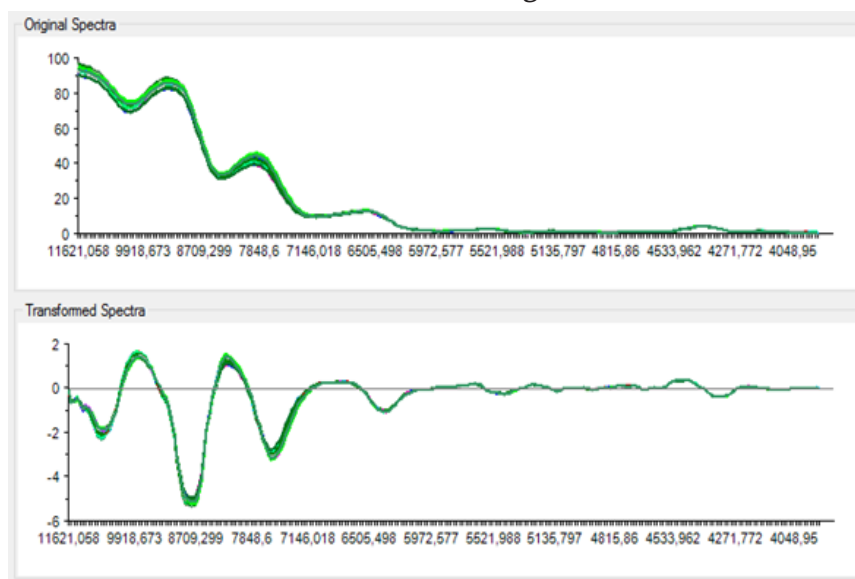


Figure 4

Transformation of the spectra with the first derivative of Savitzky-Golay, 7 window points and 2nd polynomial order

Note. Own work.

For development of the multivariate model, one initially performed Principal Component Analysis (PCA), which indicated by *g* to FICO score the relationship between the study samples and by graphic loading the spectral region which presents the greatest variation, Figure 5. The score indicates the main source

of variability with respect to the first two main components; marked according to their methanol content. The first factor shows 80% of the total variability and the second factor contains 16%. The variation that these two factors present has no relation to the methanol content in the study samples.

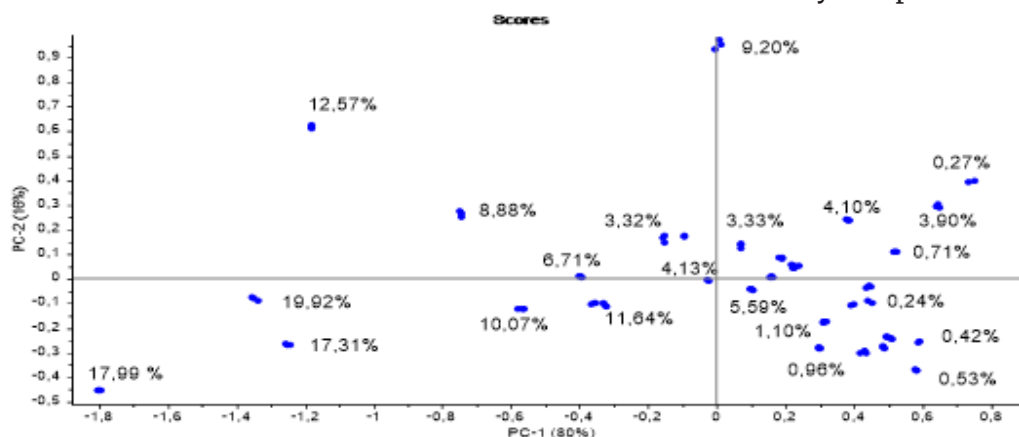


Figure 5

A CP score graph of the first two factors with the samples marked according to their methanol content

Note. Own work.

Figure 6 shows the *loading* graph of the first factor. Spectral region that shows the greatest variation is between 7000 cm^{-1} and 8500 cm^{-1} . Coinciding what reported in the visual analysis of NIR spectra of Figure 3.

The construction of the calibration models was performed using the Partial Least Squares algorithm (PLS algorithm) where the spectral ranges and the factors studied were considered.

The perishability of the built models was tested against brandy samples added with methanol and water in different proportions of known composition (validation set). Table 2. shows the values of the Minimum Cross-Validation Quadratic Value. (MCVQV) (Obtained in the internal validation), the Mean Square Error of Prediction (MSEP) (obtained in the external validation) and R^2 obtained for each of the models constructed.

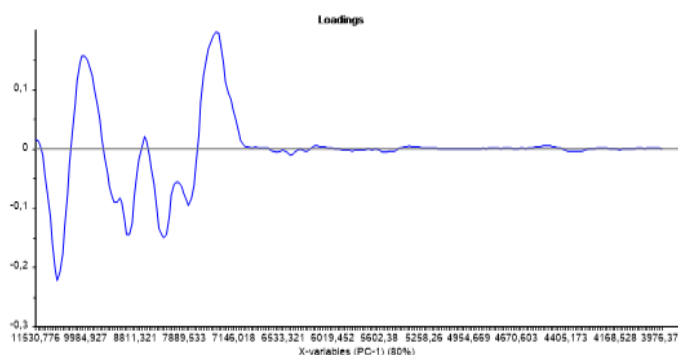


Figure 6

Graphic loading of PCA loading graph of the first factor

Note. Own work.

Table 2

RMSECV, RMSEP and R^2 values obtained in the multivariate models constructed

Spectral ranges [1/cm]	Parameters	Pre treatments		
		1° Derivada ⁽¹⁾	BC ⁽²⁾	BC/1°Derivada
4000–11600	F*	5	5	5
	R ²	0,9808	0,9794	0,9804
	MCVQV	0,7792	0,8038	0,7624
	MSEP	1,0786	7,3837	1,0786
	F*	3	3	3
	R ²	0,9697	0,9535	0,9684
7000–1000	MCVQV	0,9790	1,1995	0,9802
	MSEP	2,5190	3,7073	2,5190
	F*	4	4	4
	R ²	0,9740	0,9716	0,9741
7000–8500	MCVQV	0,8940	0,9328	0,8930
	MSEP	0,7766	1,5743	0,7767

Note. * F: Factors. ⁽¹⁾ 1st Der: first derivative with Savitzky–Golay filter and 3 window points. ⁽²⁾ BC: Baseline Offset Correction. Own work.

When applying the Baseline Offset Correction pretreatment followed by the first derivative, the results are very similar to those obtained only with the first derivative, that is, the BC does not contribute significantly to the prediction error. These models present an RMSEP value of 0.776 and an R^2 correlation of 0.974, Table 2. Therefore, it is established as

the multivariate model with the best predictive capacity, the one in which it was applied as the first derivative pretreatment, using the spectral range of 7000 cm^{-1} to 8500 cm^{-1} and 4 factors. Figures 7 and 8 show the calibration curve and the reference graph against the preset value for the model.

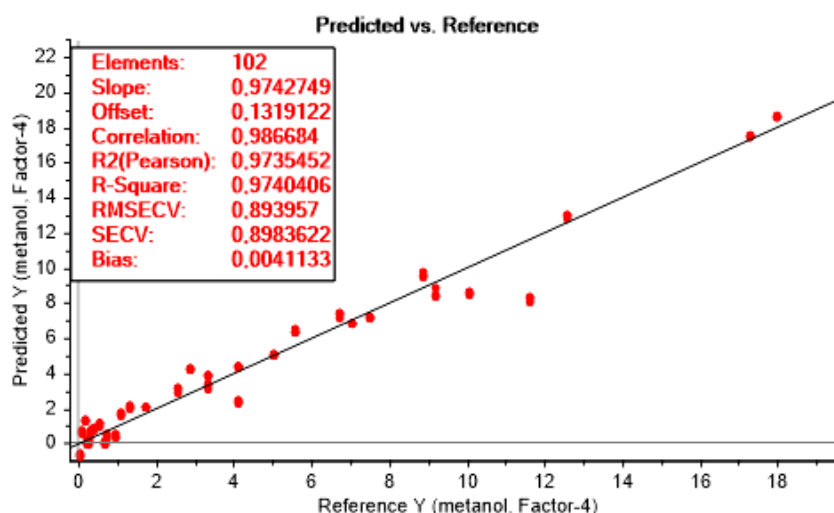


Figure 7

Calibration curve of the multivariate model with better predictability

Note. Own work.

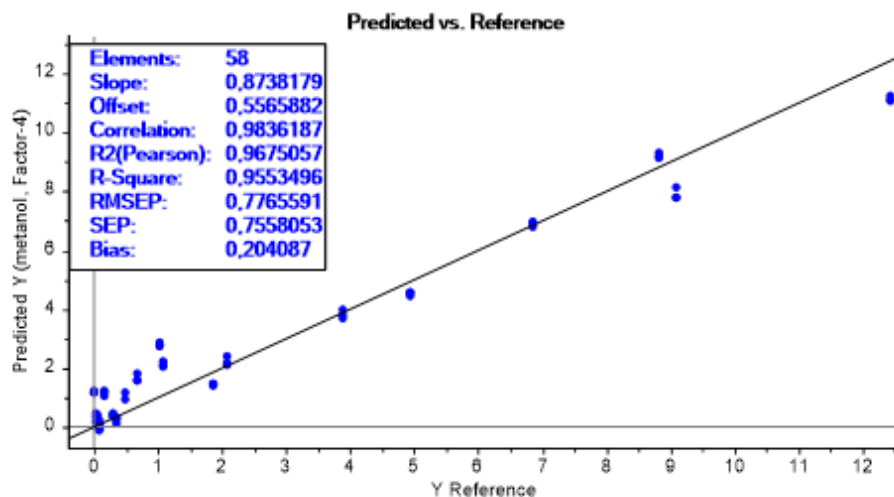


Figure 8

Graph Reference opposite to the preset value established of the multivariate model with improving prediction

Note. Own work.

Figure 9 shows the comparison of the values of methanol in Aguardiente pre-established

by NIR model and the reference values for the samples used in the validation of the model.

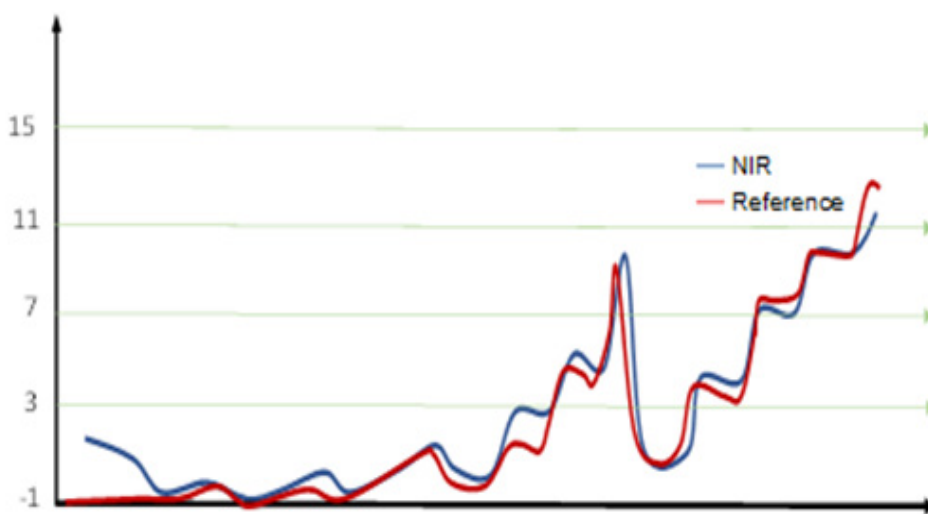


Figure 9

Curve comparison between the values pre-established by NIR model and the reference values for methanol Aguardiente

Note. Own work.

The results obtained show the correlation between the reference values and the NIR measurements in the ranges of methanol studied. Although the region between 7000

cm^{-1} and 8500 cm^{-1} is a region where methanol and ethanol are very similar; the multivariate model allows finding predictive values with low levels of uncertainty.

Conclusions

The application of NIR spectroscopy and chemometry is a rapid analytical method suitable for determining the methanol content of spirits. The design of ternary mixtures used in preparing samples Aguardiente additivated with methanol and water, permit and develop multivariate models with good predictive capability of the methanol content in brandy multivariate model with better predictability was where applied first derived as pretreatment. Generating a quick alternative to determine the alterations of these liqueurs in our country.

References

- Chen, H., Tan, C., Wu, T., Wang, L. & Zhu, W. (2014). Discrimination between authentic and adulterated liquors by near-infrared spectroscopy and ensemble classification. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 130, 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.03.091>
- Ding, X., Wu, C., Huang, J. & Zhou, R. (2016). Characterization of interphase volatile compounds in Chinese Luzhou-flavor liquor fermentation cellar analyzed by head space-solid phase micro extraction coupled with gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME / GC / MS). *LWT - Food Science and Technology*, 66, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.024>
- Dong, D., Zheng, W., Wang, W., Zhao, X., Jiao, L. & Zhao, C. (2014). A new volatiles-based differentiation method of Chinese spirits using longpath gas-phase infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 155, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.025>
- EH (09 de febrero de 2015). Alcohol ilegal y contrabando, un negocio redondo en América Latina. *El Heraldó*. <https://www.elheraldo.co/economia/alcohol-ilegal-y-contrabando-un-negocio-redondo-en-america-latina-183583>
- Flórez, B. R.A. (2009). Sugar cane and brandy in the sovereign state of Bolívar, 1857–1886. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 6, (63). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-14502009000200003
- Ghasemi-Varnamkhasti, M. & Forina, M. (2014). NIR spectroscopy coupled with multivariate computational tools for qualitative characterization of the aging of beer. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.001>
- Hu, L., Yin, C., Ma, S. & Liu, Z. (2018). Rapid detection of three quality parameters and classification of wine based on Vis-NIR spectroscopy with wavelength selection by ACO and CARS algorithms. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 205, 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.07.054>
- Martens, H. & Naes, T. (1992). *Multivariate calibration*. John Wiley & Sons.
- Yu, H., Ying, Y., Fu, X., & Lu, H. (2005). PLS-NIR determination of five parameters in different types of Chinese rice wine. *Optical Sensors and Sensing Systems for Natural Resources and Food Safety and Quality*, 5996. <https://doi.org/10.1117/12.630574>
- Zuleta L. A. & Jaramillo L. (2000). *The liquor industry in Colombia*. FEDESARROLLO. https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/986/Repor_Octubre_2000_Zuleta_y_Jaramillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cambios *post mortem* en la calidad de carne de peces amazónicos de las especies *Piaractus brachypomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer* y *Colossoma macropomum*. Revisión bibliográfica

Postmortem changes in the meat quality of Amazonian fish of the species *Piaractus brachypomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer*, *Colossoma macropomum*. Bibliographic review

Miguel Angel Enriquez Estrella¹ 

¹Universidad Estatal Amazónica, Riobamba–Ecuador ✉ menriquez@uea.edu.ec

Recibido: 03/03/2022 Aceptado: 30/03/2022

Resumen Este trabajo se realizó a partir de la revisión bibliográfica de documentos publicados, sobre la influencia de los cambios *post mortem* de cinco especies de peces amazónicos, *Piaractus brachypomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer* y *Colossoma macropomum* en la calidad de la carne. El objetivo se centró en revisar aquellos artículos que presentan información sobre los cambios físicos, químicos y microbiológicos que suceden en la carne y algunos métodos de conservación que existen. Se seleccionó un total de 33 artículos, de los cuales 18 son en inglés, 5 en portugués y 10 en español. Los resultados obtenidos destacan la importancia del frío en la conservación de las especies, así como el manejo de atmósferas modificadas que regulan la degradación que se genera por el cambio *post mortem*. En conclusión, el sacrificio, el manejo y la conservación tienen mucho efecto en la calidad del producto.

Palabras clave: métodos de conservación, zonas tropicales, biodiversidad, peces, Amazonas.

Abstract This work is based on a bibliographic postmortem changes of 5 species of Amazonian fish, *Piaractus brachypomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer* and *Colossoma macropomum* and how these influence the quality of the meat. The objective has focused on those articles that present information on the physical, chemical and microbiological changes that occur in meat and some existing conservation methods. A total of 33 articles have been selected, of which 18 are in English, 5 in Portuguese and 10 in Spanish. The results obtained highlight the importance of the cold in the conservation of the species, as well as the management of modified atmospheres that regulate the degradation that is generated by the postmortem change, in conclusion, the slaughter, handling and preservation have a great effect on the quality of the product.

Keywords: conservation methods, tropical zones, biodiversity, fish, Amazonas.

Introducción

El caudal del Amazonas proviene de tres unidades básicas: La Cordillera de los Andes, el Escudo Brasileiro y el Escudo Guayanés. Las aguas que drenan cada una de estas unidades poseen características físicas y químicas muy distintivas, y han sido clasificadas en tres categorías por Sioli (1975): blancas, claras y negras. La cuenca amazónica es mucho más que el río Amazonas: es un complejo mosaico de aguas de diferentes características que recorren ríos, quebradas, várzeas y bosques inundados en íntima relación con el sistema terrestre; definido por Junk (1997) como Zona de Transición Acuática–Terrestre (ATTZ). En este sentido, las planicies de inundación del Amazonas pueden considerarse como una extensión geoquímica de los Andes y de su piedemonte dentro de un medio de características muy diferentes: la tierra firme (Sioli, 1984).

La cantidad de especies de peces de la cuenca amazónica es aún desconocida. Un cálculo conservador estima su número en unas 1.200 ± 200 (Géry, 1990), y otro demasiado optimista en 7.000 (Val y Almeida, 1995). Las especies de la cuenca no se distribuyen de manera homogénea como tiende a pensarse *a priori*, sino que lo hacen de acuerdo con los tipos de aguas descritos. De esta manera, puede hablarse de una ictiofauna típica de aguas negras (Goulding *et al.*, 1988), otra de claras y otra de blancas (Lowe-McConnell, 1987).

En la Amazonia existe una marcada preferencia a estudiar los grandes cauces y las especies de gran tamaño (Rodríguez, 1991; Barthem & Goulding, 1997; Araujo & Goulding, 1997), pero muy poco se conoce de los cauces pequeños selváticos y sus especies.

El río Amazonas, como sus lagunas asociadas y los ríos y arroyos selváticos que vierten allí directa o indirectamente, conforma un mosaico de ecosistemas acuáticos muy variado, intercomunicados entre sí y con al menos tres tipos diferentes de aguas: blancas en el propio río y sus lagunas, negras y mixtas en los arroyos selváticos (Duque *et al.*, 1997). La distribución espacial de los peces responde, en esencia, a las características limnológicas regionales y a la disponibilidad de alimento.

Se ha encontrado una alta riqueza de especies en los arroyos selváticos, pero con una marcada tendencia hacia el predominio de aquellas de tamaños menores a 10 cm de longitud, y que parecen depender del abastecimiento de alimento alóctono (Arbeláez, 2000; Prieto, 2000; Castellanos, 2002; Gutiérrez, 2003). Por el contrario, aunque también el río Amazonas y su plano de inundación mantienen una elevada riqueza de especies, parece existir allí un predominio de las que presentan tallas superiores a los 15 cm de longitud y con una alta dependencia de alimento de origen autóctono (Vejarano, 2000; Santos, 2000; Arce y Sánchez, 2002).

Los siguientes autores determinan los diferentes resultados de investigaciones de peces de agua dulce amazónicos: Arbeláez (2000), Prieto (2000), Vejarano (2000), Santos (2000), Arce y Sánchez (2002), Castellanos (2002), Gutiérrez (2003) y Arroyave (2005). En menor proporción, corresponde a las colecciones depositadas por Ramírez (1986) provenientes del Parque Nacional Natural Amacayacu.

La Etnozoología, como rama de la Etnobiología, estudia el conocimiento local que las comunidades humanas tienen sobre la fauna de su entorno, incluye sus sistemas

de nomenclatura y clasificación (Santos-Fita *et al.*, 2009). Actualmente, las clasificaciones etnotaxonómicas han cobrado mayor relevancia para la conservación biológica, al revelar el conocimiento mediante el cual las sociedades indígenas organizan y manejan la biodiversidad (Retana, 2004). Además, son una rica fuente de información pormenorizada sobre la biología, ecología y etología de la fauna silvestre (Mourão *et al.*, 2006). Particularmente, han sido los pueblos indígenas asentados a orillas de los grandes tributarios amazónicos, por su marcada dependencia hacia los recursos hidrobiológicos, quienes han generado a través del tiempo un amplio conocimiento sobre estos aspectos.

Este conocimiento etnobiológico de clasificación de la ictiofauna se transforma, entonces, en un recurso importante, equivalente al conocimiento académico de sistemática, que incluye familias, géneros y, especie morfológica. Esta, es entendida como un conjunto de individuos morfológicamente similares asociados entre sí por una distribución geográfica definida y separados de otros conjuntos por discontinuidades morfológicas (Llorente y Michán, 2000) y especie biológica, como la unidad básica de clasificación de individuos que pueden reproducirse entre sí y dar una descendencia fértil.

Lo anterior, es usado y enriquecido a diario por los pescadores en sus actividades y debería ser más incorporado en la planificación, manejo y la conservación de la ictiofauna y de las pesquerías (Costa y Marques, 2000; Seixas y Begossi, 2001; Silvano y Begossi, 2002). Este es el caso del Pueblo Ancestral kichwa de Pastaza, ubicado en la Amazonía central ecuatoriana, cuya vida está estrechamente ligada a la fauna lacustre, donde los peces

son la principal fuente para su subsistencia familiar y economía (Sirén, 2011; Guarderas y Jácome-Negrete, 2013). Para estas familias, especialmente las lagunas remanentes, adquieren trascendental importancia por su alta riqueza hidrobiológica como soporte de la subsistencia familiar, y por su condición de santuarios ancestrales sagrados, desde la concepción local (Jácome, 2005).

Los ríos tropicales de Sudamérica, caracterizados por su selva tropical húmeda y densa, con sus sistemas hídricos afluentes al río Amazonas, el más largo y caudaloso del planeta, que posee los bosques más ricos en biodiversidad conocidos por la humanidad y albergan peces que se constituyen como una oportunidad comercial para los pueblos amazónicos. Se estima que a nivel amazónico existen entre 2500 a 3000 especies de peces según Salas y Barriga (2004) y Barriga (2011) establecen que la región Oriental incluye la Alta Amazonía, con cuatro zonas y 125 especies. La Baja Amazonía se divide en dos zonas, con 680 especies.

La primera lista de peces del Ecuador se debe a Ovchynnyck (1967), quien publicó registros de 295 especies. La segunda publicada por el mismo autor, reúne 306. Estas, se basaron en las colecciones de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y el autor contó con la orientación del Profesor Gustavo Orcés y la tercera fue elaborada por Barriga (1991), se basó en los estudios de la sistemática y ecología distribucional de los peces de las principales cuencas hidrográficas del Ecuador, registrándose 706. Este trabajo incrementó 400 registros al listado de la ictiofauna conocida para el Ecuador; incluye principalmente los resultados de los estudios del nororiente y noroccidente del país.

En los últimos años, se han realizado descripciones de especies nuevas y revisiones de varios géneros de los peces neotropicales, en los que se incluyen las que habitan en el Ecuador (Vari, 1989; Vari *et al.*, 2005; Albert y Crampton, 2003; Armbruster, 2003a, 2003b; Lasso *et al.*, 2003; Reis *et al.* 2003; Bockmann y Guazzelli 2003; Maldonado-Ocampo *et al.*, 2008; Lujan *et al.*, 2010; Ortega *et al.*, 2011).

Según Burgos (2018), el recurso pesquero de la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno (RPF Cuyabeno), destaca una altísima biodiversidad íctica con 273 registros en el río Aguarico y 307 en el Lagartococha, ambos dentro de la cuenca del Napo, siendo la mayor riqueza acuática del corredor Trinacional La Paya–Cuyabeno–Güepí.

Así, entre estos dos lugares está aproximadamente el 48% de la diversidad piscícola del Ecuador, con 951 especies continentales documentadas para el 2012 a nivel nacional; estos datos se sustentan el incremento de los esfuerzos de investigación, para el uso, manejo y conservación de esta concentración inusual de ictiofauna. Entre la información recabada, se reportan capturas de *Arapaima gigas* (paiche o pirarucú), especie de gran importancia en la cuenca amazónica.

La producción pesquera ha aumentado en los últimos años, principalmente aquella proveniente de la acuicultura, por lo que existe una búsqueda constante para mejorar el aprovechamiento y manejo de especies, con el fin de minimizar las mermas propiciadas por la pérdida de calidad de los productos. Aunado al hecho de que hay un incremento en la demanda de estos, sobre todo de pescado como filetes (Hernández *et al.*, 2009; Hong *et al.*, 2012). Por lo que se hace necesario garantizar su frescura, por tanto, lleva a la industria a la

búsqueda del mejoramiento de las condiciones del proceso para su obtención con alta calidad y con un grado de frescura aceptable para el consumidor, que asegure la estabilidad de los compuestos funcionales y biofuncionales (Judge *et al.*, 2007; Tahergorabi *et al.*, 2012).

Aunque los peces no son el único recurso hidrobiológico aprovechado a nivel mundial, son los más importantes a nivel socioeconómico y alimentario en las zonas rurales de las regiones costaneras y ríos amazónicos, esta cuenca es la más extensa del continente sudamericano, con 7 millones de kilómetros cuadrados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

Los peces son un grupo importante por su abundancia y diversidad, también, son fuente de proteína para las poblaciones. Según los antecedentes y crónicas de la época de la colonización española, los indígenas entrenaban a sus hijos desde edades tempranas en el arte de la pesca, para transferir el conocimiento sobre el comportamiento de las diferentes especies y las épocas de migración, esta actividad la realizaban con arpones, flechas y también por envenenamiento de las aguas por medio del barbasco y otros elementos vegetales, especies como la *Gamitana colossoma*, *macropomum*, el *paco* *Piaractus brachypomus* y el *Arapaima gigas*, eran las preferidas en el intercambio de productos, que eran despachados hacia Europa, vía marítima (San Román, 1994).

En 2018, la acuicultura continental produjo 51,3 millones de toneladas de animales acuáticos, lo que equivale al 62,5% de la producción mundial de pescado comestible cultivado, en comparación con el 57,9% en 2000. La maricultura y la acuicultura costera

produjeron en conjunto 30,8 millones de toneladas en 2018. A pesar de los avances tecnológicos en la acuicultura de peces de aleta marinos, la acuicultura marina y costera produce actualmente muchos más moluscos que peces de aleta y crustáceos (FAO, 2018). La Amazonía se destaca primero en la producción extractiva de agua dulce, con el 28,0% del total producido en Brasil, pero la contribución a la acuicultura es pequeña, en 2000 se producen 837 toneladas (Ministerio del Medio Ambiente del Brasil *et al.*, 2003).

La participación del tambaquí (*Colossoma macropomum*) en la producción total de pescado ha disminuido a lo largo de los años, del 10,8% en 1994 al 6,3% en 1997, a pesar de ser una especie autóctona, que despierta la preferencia de los consumidores y alcanza un excelente valor de mercado. El tambaquí es una de las especies que más despierta el interés para la piscicultura en Brasil (Graef, 1995).

El *Piaractus brachipomus*, también conocido como paco o cachama blanca, en Colombia y Venezuela, en Bolivia como tambaquí y en Brasil como pirapitinga, es una especie de cuerpo profundo y comprimido, aletas adiposas usualmente ausentes en los adultos, en edades medias su color es plateado con una mancha en el centro del cuerpo, son omnívoros, con una tendencia herbívora.

El *Arapaima gigas*, conocido como paiche en Perú, Ecuador y Colombia, pirarucú en Brasil y arapaima en Guyana. Es un pez de gran tamaño, su longitud puede llegar hasta los 3 metros y su peso máximo 250 kg, su estructura es alargada y cilíndrica, con la cabeza achatada en relación con su cuerpo. Habita en ecosistemas lénticos, preferencialmente en aguas negras, esta especie no realiza migraciones durante el periodo de aguas altas

hasta el bosque inundado.

El *Brycon amazonicus*, sábalo de cola roja en Perú, sabaleta en Colombia, jatuarana en Brasil, y yaturana matrinchán en Bolivia, es un pez robusto de coloración plateada con la región dorsal más oscura, y rojizo en la parte superior de la cabeza, omnívoro, que se alimenta básicamente de semillas, frutos y artrópodos.

El *Pseudoplatystoma punctifer*, conocido como doncella en Perú, pintadillo rayado en Colombia, surubí en Bolivia y bagre pintado en Brasil, es un pez con cuerpo alargado, cabeza deprimida, con coloración gris en el dorso y blanco en el vientre, la mandíbula superior se proyecta levemente sobre la inferior. Es una especie piscívora, consume principalmente carácidos de tallas menores, realizan 2 periodos migratorios, en verano para alimentarse y en invierno para reproducirse.

El *Colossoma macropomum*, gamitana en Perú, tambaquí en Brasil, cachama negra en Colombia y Venezuela pacú en Bolivia y paco en Ecuador, es un pez de cuerpo romboidal, cabeza grande, robusto y de gran tamaño, con aletas adiposas cortas y radios osificados, son omnívoros se alimentan de larvas y zooplancton también consumen frutos, semillas y hojas, son una especie común en bosques inundables.

Ahora bien, el deterioro de la carne de pescado tiene 4 etapas: *rigor mortis*, resolución de rigor, autólisis (pérdida de frescura) y el deterioro bacteriano. Estas, dependen de la conservación de la especie después del faenamiento de acuerdo con factores como el estado fisiológico, la contaminación microbiana y la temperatura (Alasalvar *et al.*,

2001, 2002). Los procesos autolíticos, se llevan a cabo mediante enzimas endógenas presentes en el músculo mientras se deteriora, causado por el crecimiento bacteriano. Otro factor predominante son las condiciones de manipulación y procesamiento (Ocaño *et al.*, 2006). Para extender la vida útil de estas especies, se utilizan métodos de conservación como el ahumado, salado y congelación que permiten mantener la calidad del producto y darle un valor agregado (Enríquez, 2018).

El objetivo de esta revisión bibliográfica es documentar los cambios *post mortem* en la calidad de los peces amazónicos de 5 especies, *Piaractus brachipomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer* y *Colossoma macropomum*.

Metodología

Esta revisión bibliográfica presenta un enfoque documental no experimental, y se ajusta a la recopilación de información a través de la lectura analítica de documentos y materiales bibliográficos relacionados a los cambios *post mortem* en la calidad de carne de los peces amazónicos. La investigación es cualitativa con un alcance descriptivo, ya que detalla los parámetros requeridos en los productos (peces).

El método empleado es de tipo exploratorio de orden secundario, ya que se realizó una búsqueda minuciosa de información bibliográfica de documentos obtenidos en bases científicas como: Scopus, Springer, Scielo, Google Scholar, Researchgate y tesis de pregrado, maestría y doctorado. Para cumplir con los objetivos de la investigación, se desarrolló una lectura crítica de los principales

documentos bibliográficos seleccionados, los cuales, posteriormente, se clasificaron y separaron de acuerdo con la información que sustente el trabajo.

Resultados y discusión

La firmeza es un factor muy importante para evaluar la calidad de la carne de pescado, fundamental al momento de comercializarla. Algunos estudios demuestran que, con cierta frecuencia, la carne de pescado se ablanda después de 24 horas de almacenamiento en frío (Toyohara & Shimizu, 1988; Mochizuki y Sato, 1996). Demuestran que los cambios ocurridos en relación con las propiedades físicas de la carne de los peces, conocidos generalmente como ablandamiento de la carne durante el almacenamiento, son más causados por cambios en las estructuras del tejido muscular que en los componentes de las proteínas (Hatae *et al.*, 1985).

El deterioro del pescado es un proceso complejo que involucra mecanismos tanto químicos y físicos, como microbiológicos (Hong *et al.*, 2012), de manera que, es necesario evaluar el impacto de cada uno de estos en el filete de pescado durante su refrigeración mediante hielo. Una vez que el organismo muere, se presentan las siguientes fases: pre-rigor, *rigor mortis*, finalización del rigor, autólisis y desarrollo bacteriano.

Cambios bioquímicos del músculo

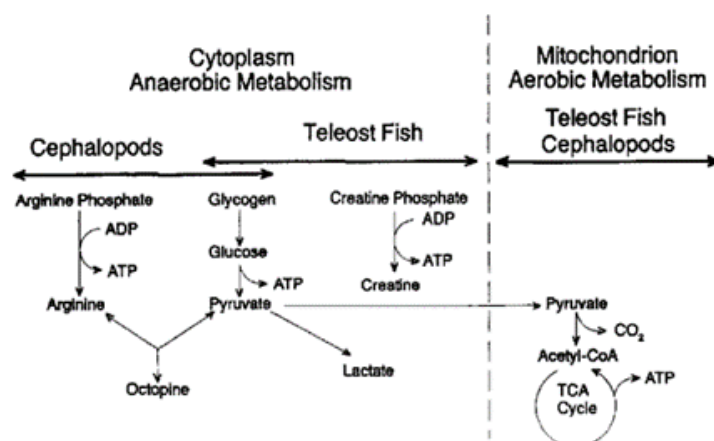
Cambios en fosfatos orgánicos: podemos observar los procesos del ciclo de Krebs.

- La ATP proporciona energía química a diversos procesos celulares.

- Se genera la síntesis de ATP: glucólisis y fosforilación oxidativa (solo si hay aporte de O_2).
- Se genera el consumo de ATP, contrayendo el musculo (ATPasa Miosina) y la Ca-ATPasa de la membrana responsable de la relajación muscular.

Cambios en carbohidratos y fosfágenos:

- Glucólisis anaerobia, degradación del glucógeno muscular, degradación de fosfágenos y la producción de ATP mediante la actividad creatina cinasa, según se detalla en la Figura 1.



Figura

1

Metabolismo anaeróbico-anaeróbico

Nota. Elaboración propia.

Descenso del pH:

- Degradación del glucógeno.
- Por el factor del estado nutricional del recurso (pez), la baja del pH afecta de manera negativa a las cualidades del pescado e influye en la rapidez con la que se alcanza el rigor, según se detalla en la Figura 2.

Instauración del rigor (estrés):

El estrés previo a la muerte determina la rapidez con la que se alcanza el rigor o los tratamientos que prolonguen el estado de pre-rigor retardan la pérdida de calidad e incrementan la vida útil del producto.

Duración del rigor:

Es importante en la conservación del pescado. Durante esta fase se bloquea la permeabilidad de las membranas, y los procesos enzimáticos o bacterianos se ralentizan.

Índice de rigor y degradación del ATP

En el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el Índice de Rigor, las tasas más aceleradas de contracción muscular se presentaron en los pescados almacenados a $0^{\circ}C$, los cuales alcanzaron el estado de máximo rigor (100% de IR) 2 horas después del almacenamiento a esta temperatura. Por el contrario, a $10^{\circ}C$, el estado de máximo rigor se alcanzó después de 10 horas de almacenamiento, mientras que a $27 \pm 3^{\circ}C$,

el *rigor mortis* se desarrolló lentamente y el valor máximo fue de 82,7%, alcanzado después de 10 horas de almacenamiento. Los estudios morfológicos de la cachama blanca se han centrado en la descripción macro y microscópica del bazo (Herrera *et al.*, 1996), la descripción del tejido sanguíneo (Eslava *et al.*, 1995) y la organización general del sistema circulatorio (Pardo *et al.*, 1999).

En la evaluación genética aún no se ha puesto particular interés en aplicar mejoramiento genético, a pesar de que la especie ha demostrado tener condiciones zootécnicas importantes, como también limitaciones en el fileteado por EIMT. La contribución del contenido de colágeno a

las propiedades de textura en la carne de pescado ha sido estudiada por varios autores (Ando *et al.*, 1999). En este sentido, la carne de algunas especies de peces pierde textura después de algunos días de almacenamiento bajo refrigeración, y estudios histológicos muestran que el rápido ablandamiento de la carne de los peces es causado por la degradación de las fibras delgadas de colágeno (Ando, 1997, Suárez *et al.*, 2009).

Con estos antecedentes se presentan los diferentes cambios *post mortem* de las especies amazónicas.

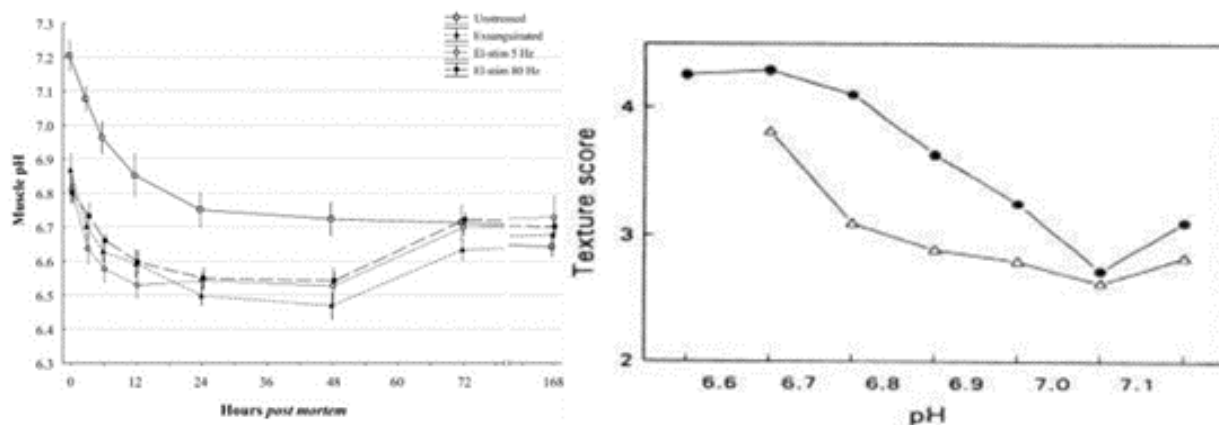


Figura 2

Cambio de pH en los cambios *post mortem*

Nota. Elaboración propia.

Piaractus brachypomus



Figura 3

Piaractus brachypomus

Nota. Elaboración propia.

Entre las especies destacadas, en la región, se encuentra la Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*), teleósteo de agua dulce, de la familia *Characidae*, originaria de la Amazonía, y de gran importancia para la piscicultura brasileña (Figura 3). Es una especie rústica de rápido crecimiento. Además de lograr un

excelente valor de mercado, despierta el interés nacional (Ribeiro *et al.*, 2016). Las branquias se encuentran en la cavidad orofaríngea, en estas se observan las laminillas primarias, por encima y por debajo del eje longitudinal de estas se ubican las secundarias.

Arapaima gigas



Figura 4

Paiche

Nota. Elaboración propia.

Arapaima gigas (Figura 4), llamado en Brasil pirarucú y paiche en Perú, es considerado uno de los peces más grandes de agua dulce. Goulding (1980) cita que es común la existencia de ejemplares de 125 kg de peso. Llega a alcanzar un peso máximo cercano a 200 kg y 2-3 metros de longitud (Saint-Paul, 1986). En el Amazonas, son capturados por la pesca comercial, individuos con peso que van de 30 a 40 kg, cuya carne tiene un ingreso promedio en alrededor del 57%. El pirarucú (*Arapaima gigas*), por su gran tamaño, es el pez más famoso y emblemático de la ictiofauna amazónica, representa un papel histórico en la pesca y el desarrollo de la situación socioeconómica de la región.

Es endémico, único en la región, que se encuentra en las aguas de zonas tranquilas del río Amazonas y sus afluentes, así como en la vasta llanura aluvial e *igapó* vinculado a ella (Bard & Imiriba, 1986; Imbiriba, 2001). Es la especie más prometedora para el desarrollo de la piscicultura intensiva en la región amazónica, ya que tiene una alta tasa de crecimiento, alcanzando de 7 a 10 kg en el primer año de vida (Imbiriba, 2001; Pereira-

Filho *et al.*, 2002; Ono *et al.*, 2004). El paiche se encuentra en toda la cuenca del Amazonas y también otros ríos desde Guyana hasta Bahía en el Brasil. En el Perú se encuentra en las cuencas bajas de los ríos Napo, Putumayo, Marañón, Pastaza y Ucayali, con abundancia en la Reserva Nacional Pacaya-Samiria (Rebaza *et al.*, 1999).

Salas y Barriga (2004), realizaron un estudio sobre los aspectos bioquímicos y cambios *post mortem* en el filete de paiche. Al evaluar la vida útil de la especie en filetes almacenados en hielo se encontraron rangos de valor K que pueden utilizarse como índices de calidad, a diferencia de las pruebas BVN y pH, que no demuestran ser indicadores adecuados. Según de Oliveira *et al.* (2014), se midió los cambios sensoriales, físico-químicos y microbiológicos que ocurrieron en muestras almacenadas a $(2 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C})$. Los resultados mostraron que la vida útil para el consumo, según la evaluación sensorial, fue de $27 \pm 0,5$ días en hielo. a 10 (UFC/g) y los índices de pH y N-BVT no presentaron valores altos durante todo el período de almacenamiento. El rendimiento promedio obtenido para el filete

de paiche, sin piel y sin escamas, fue del 41,41%, este puede ser considerado tecnológicamente idóneo. El rendimiento está de acuerdo con los datos reportados para filetes de paiche analizado por Días (1983) e Imbiriba (2001).

En relación con la homogeneidad de las muestras, se observó que el coeficiente de variación, tanto en longitud el peso promedio total, como el peso total promedio, fue menor al 10%, mostrando una baja dispersión de datos. Según Casp y Jose (2003), existen diversos

Brycon amazonicus



Figura 5

Brycon amazonicus

Nota. Elaboración propia.

Brycon amazonicus (Figura 5) pertenece al género *Brycon*, conformado por especies (más de 40) acuícolas (Howes, 1982). Es nativa y la que más se ha investigado Cruz *et al.* (2000). Sin embargo, sí la industria piscícola desea desarrollar una producción intensiva de este pez, debe afrontar varios desafíos. Sin duda alguna, el más grande es el del rápido ablandamiento de su carne cuando esta es sometida a congelación.

No se sabe con certeza, cuáles son los factores, ni cómo se dan los mecanismos (Ladrat *et al.*, 2003). Se cree que este cambio en la carne puede ser producto tanto de la degradación de las proteínas miofibrilares (15) como del tejido conectivo intramuscular (Ofstad *et al.*, 2006), debido a la acción enzimática que se presenta durante el periodo *post-mortem* (Verrez-Bagnis *et al.*, 1999; Caballero *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2011; St-Hilaire *et al.*, 1997), que puede variar su

métodos para conservar alimentos, los más comunes para el pescado son la deshidratación, el uso de agentes químicos y la congelación. Rodríguez (1991), refiere que usando el sistema AMD (Accelerated Mechanical Drying) el pescado salado tiene un valor NPU (Net Protein Utilization Standardized) de 96% cuando es secado a una temperatura máxima de 100°C, comprado con el valor NPU de 87% cuando es secado a 115°C. Cuando el pescado es medianamente secado (10.8% de NaCl) o fuertemente salado (28.9% de NaCl) el valor de NPU es de 94% o 90% respectivamente, después del secado a 12°C.

intensidad según la especie y el origen de los peces (Ang y Haard, 1983; Sigholt *et al.*, 1997), su manejo pre-sacrificio (Fletcher *et al.*, 1997), y el sistema de sacrificio.

Enríquez (2018) evaluó la adición de sorbitol al músculo del yamú, a temperaturas entre 2 y -18°C. Como resultado las propiedades fisicoquímicas evaluadas en la carne, se vieron afectadas principalmente por la interacción entre la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Las proteínas miofibrilares sufrieron una degradación parcial y se evidenciaron cambios en el tejido conectivo, relacionados con la pérdida de textura, especialmente cuando la carne no fue tratada con sorbitol a temperatura de congelación (-18 ± 2 °C). Viana *et al.* (2018) en un estudio de atmosferas modificadas para alargar el tiempo de vida útil y la calidad de la especie por debajo de 2 ± 1 °C, determinan que las muestras envasadas al vacío mostraron un mayor

crecimiento microbiano, pero mantuvieron una buena calidad durante aproximadamente 17 días de almacenamiento. Las muestras tratadas con AMI CO₂ / N₂ (60/40%) y CO₂ (100%), mostraron buena calidad durante unos 35 días.

La carne del pez Yamú, una vez sacrificado y sometido a congelación, presenta un problema al que deben enfrentarse los productores y comercializadores. Este radica en el rápido ablandamiento que sufre la carne al conservarse a bajas temperaturas. No se sabe con certeza cuales son los factores, ni cómo se dan los mecanismos que la afectan. No obstante, algunos autores sugieren que la pérdida de textura es ocasionada por la acción de proteasas sobre proteínas miofibrilares (Verrez-Bagnis *et al.*, 1999), en especial catepsinas, calpaínas y enzimas hidrolíticas como elastasas y colagenasas.

Aunque ha sido reconocido que el efecto de las proteasas es posterior e independiente a la pérdida inicial de textura en algunos peces sometidos a refrigeración (Ladrat *et al.*, 2003; Shigemura *et al.*, 2003). El objetivo de este trabajo consistió en evaluar las variaciones en el perfil de proteínas miofibrilares de la carne de Yamú, tras haber sido almacenado en frío. Las propiedades texturales dependen de la composición química y de las propiedades estructurales, en particular de las miofibrillas y proteínas del tejido conectivo, forma una red que proporciona soporte corporal a través de la musculatura de los peces y su contenido es bajo y mejor distribuido en el músculo de los peces, comparado con animales de sangre caliente. A través de este se incrementa la firmeza a lo largo del eje anteroposterior del filete (Kiessling *et al.*, 2006).

que los efectos sobre la textura pueden considerarse como una manifestación de las propiedades funcionales y reológicas, donde la carne de pescado difiere de la carne de bovino porque contiene menos tejido conectivo y los enlaces cruzados formados entre las moléculas de colágeno son más débiles, resultando en una estructura más blanda (Ashie *et al.*, 1996).

La distribución de la fibra muscular ha sido relacionada por varios autores con la afectación de la textura en la carne de pescado. La comparación entre los cortes histológicos a lo largo del periodo de almacenamiento muestra incremento del área entre las fibras musculares mientras disminuye la firmeza en la prueba instrumental. Similares resultados también fueron reportados para carne cocinada de pescado (Hurling *et al.*, 1996). Diversos estudios muestran una disminución en la firmeza de la carne al incrementar el tamaño aparente de las fibras o la disminución óptica de las mismas (Johnston, 2000; Bugeon *et al.*, 2003).

De otra parte, algunos estudios realizados en salmón del atlántico y bacalao no concuerdan con estas observaciones, posiblemente esta discrepancia podría estar relacionada al hecho de que la textura varía como un factor sobre la localización rostro-caudal del filete (Bjørnevik *et al.*, 2003). La apariencia del color de la carne de pescado es una propiedad muy importante en la industria de alimentos. En salmónidos, el color rojo de la carne es de particular importancia y para peces de carne blanca, debe estar suavemente manifiesto. Es aceptado que percibir cambios en el color de la carne puede ser causado por una reflexión alterada, debido a cambios en las propiedades de la superficie por alteración de las fibras. Resultados de estudios difieren y no es posible verificar esta hipótesis. Espe *et al.*,

También es necesario tener en cuentaar

(2004) reportan una posible relación entre la puntuación de color y la densidad de la fibra muscular en salmón del atlántico, mientras que ninguna relación fue encontrada para otros peces (Fenema, 1993).

El colágeno es un grupo de moléculas similares, sin embargo, sus componentes aún no han sido completamente identificados (Masniyom *et al.*, 2005). En algunos casos, las cadenas de péptidos que constituyen el colágeno están unidas mediante enlaces covalentes cruzados. En los mamíferos, con el pasar de los años, los enlaces cruzados de colágeno cambian de una forma reducible a otra no reducible más estable.

Una de las especies más conocidas de bagres gigantes es la doncella *Pseudoplatystoma punctifer* (Figura 6), la cual se encuentra ampliamente distribuida en la cuenca amazónica (Goulding *et al.*, 1996). Es un bagre de hábitos piscívoros (Barbarino & Winemiller, 2003), de carne muy apreciada en los mercados

Pseudoplatystoma punctifer



Figura 6

Bagre

Nota. Elaboración propia.

Colossoma macropomum



Figura 7

Cachama

Nota. Elaboración propia.

locales de la Amazonía peruana debido a la ausencia de espinas intramusculares y por el tamaño que alcanza.

A temperatura ambiente, los cambios de composición de los gases en la atmosfera de almacenamiento del bagre afectan fuertemente a los procesos biológicos y los cambios bioquímicos, químicos y microbiológicos. El O_2 descende, consumiendo totalmente los microorganismos de la actividad metabólica microbiana, esto sucede cuando se crean ambientes donde el acceso al oxígeno es restringido.

Este resultado identificado coincide con los estudios realizados por Reddy *et al.* (1994) en filetes de tilapia, y por Fletcher *et al.* (1997) en de Salmón Rey, donde los niveles de O_2 descendieron hasta valores cercanos a cero (0%). En el espacio de cabeza de los empaques contentivos de las mezclas de gases CO_2/N_2 se observó un comportamiento similar de decrecimiento lineal en la concentración de CO_2 .

Los peces dulceacuícolas, tanto en condiciones naturales como de cultivo, son susceptibles al ataque e invasión de agentes virales, bacterianos, micóticos y parasitarios, conocidos como patógenos facultativos, que ingresan a las instalaciones de cultivo, y conviven con los peces sin ocasionarles daño, ya que son reducidos por las defensas del organismo sin presentar manifestaciones clínicas de la enfermedad. Sin embargo, si las condiciones se tornan desfavorables para los peces, pueden bajar sus defensas naturales y el organismo atacante invade desmedidamente al hospedero, comportándose como un patógeno y ocasionando altas tasas de mortalidades en las piscifactorías.

De manera general, se conoce que los pescados continentales tropicales presentan un comportamiento diferente a la mayor parte de las especies marinas, principalmente por alcanzar una rápida rigidez a temperaturas de refrigeración, fenómeno conocido como *cold shock* (Curran *et al.*, 1986; Almeida *et al.*, 2005; Batista *et al.*, 2004). Se evaluó la influencia de la temperatura sobre los cambios *post mortem* de la cachama, el desarrollo de *rigor mortis* (IR), concentración de adenosina trifosfato (ATP), adenosina difosfato (ADP), adenosina monofosfato (AMP), inosina monofosfato (IMP), inosina (HxR), hipoxantina (Hx) por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) e índice de frescura (valor K).

En los pescados almacenados a 0°C, se presentó una contracción violenta, con valores de IR máximo de 100% en 2 horas, mientras que a 10°C la máxima contracción se presentó después de 10 horas y a 27,3°C el máximo valor de IR fue de 82,97% después de 24 horas. La tasa de hidrólisis de ATP fue mayor durante las primeras 24 horas en los pescados almacenados a 10°C. El bajo contenido de grasa presentado por híbridos de cachama

cultivados, al contrario de lo observado por Ng (1983), pudo estar relacionado con su edad, ya que los ejemplares utilizados en la investigación fueron pequeños, aun cuando su talla y peso estaban dentro del tamaño comercial (300–500 g de peso corporal).

El alto contenido en proteína y bajo contenido en grasa puede clasificar a estos ejemplares como pescado de grado A, de acuerdo con la clasificación propuesta por Mendes *et al.* (2017) que realiza un estudio sobre la comparación de la calidad de los tambiquis (*Colossoma macropomum*) sacrificados por asfixia, el método tradicional y la hipotermia, donde contenido de bases nitrogenadas volátiles totales (TVB-N) y el pH eran más altos en los peces muertos por asfixia. El análisis sensorial indicó que la calidad del pescado sacrificado inmediatamente después del transporte fue menor que la del pescado al que se le permitió recuperarse del estrés previo al sacrificio. Los peces sacrificados inmediatamente después del transporte muestran menor calidad. En relación con los indicadores de estrés (cortisol plasmático, glucosa, proteínas, sodio, cloruro y potasio) y el desarrollo del *rigor mortis*.

La frescura del tanbaquí en hielo durante 30 días y el control del pescado en el almacenamiento mediante la evaluación sensorial del método índice de calidad (QIM), un método basado en la determinación de atributos característicos (piel, ojos, branquias, etc.) seleccionados para cada especie o producto en particular. La pérdida de la frescura ocurre, en una primera etapa, por la acción de enzimas endógenas presentes en las vísceras y músculos (autólisis) y posteriormente por el desarrollo de microorganismos deteriorantes (Haard, 1992; Huss, 1998). La velocidad en que proceden ambas etapas depende de la especie, del método de captura, de la manipulación

y particularmente de la conservación post-captura.

Numerosos métodos han sido propuestos para evaluar la frescura de las especies pesqueras. Dentro de estos, la evaluación sensorial es el procedimiento más utilizado en las inspecciones diarias de puertos y mercados, durante el procesamiento y por los consumidores. El Índice de Calidad (QI) genera un incremento lineal, que va desde 0 (máxima frescura) a 34 (pérdida total de frescura), con una fuerte correlación con el tiempo de almacenamiento.

Conclusiones

El rigor es un proceso no del todo comprendido, pero siempre ocasiona el reblandecimiento (relajación) posterior del tejido muscular y está relacionado con la activación de una o más enzimas musculares presentes en el pescado que digieren ciertos componentes del complejo *rigor mortis*. El reblandecimiento del músculo durante la resolución del rigor (y eventualmente el proceso de deterioro) coincidió con los cambios autolíticos. De estos, el primero en ser reconocido en las 5 especies estudiadas, que se forma más o menos después de la muerte, fue la degradación de los compuestos relacionados con el ATP.

Asimismo, la degradación de nucleótidos es sólo coincidental con los cambios percibidos en la frescura, y no está necesariamente relacionada con su deterioro, considerándose que sólo la hipoxantina tiene un efecto directo en el sabor amargo percibido en el pescado deteriorado. Uno de los factores en el manejo de la calidad de la carne de pescado es el método de conservación que se aplica a la especie. En los 5 casos estudiados, se utiliza la refrigeración

y congelación en un rango de temperatura que oscila entre los 2° hasta los -18°C. Los cambios *post mortem* también tienen mucho que ver con la forma de sacrificar a las especies.

En la actualidad, la innovación en los métodos de conservación de los recursos hidrobiológicos, brinda la posibilidad de ofertar al consumidor un producto fresco y sin alteraciones en sus estructuras fisicoquímicas y microbiológicas. El manejo de atmósferas modificadas y la selección de envases son una oportunidad de manejo de la cadena de producción y almacenamiento por más tiempo de las especies, que les permite tener un valor agregado.

Referencias

Alasalvar, C., Taylor, K., Ksue, A., Garthwaite, T., Alexis, M. & Grigorakis K. (2001). Freshness Assessment of Cultured Sea Bream (*Sparus aurata*) by Chemical, Physical and Sensory Methods. *Food Chem.* 72:3340.

Alasalvar, C., Anthony, K.D. & Shahidi, F. (2002). Comparative Quality Assessment of Cultured and Wild Sea Bream (*Sparus aurata*) Stored in Ice. *J Agri Food Chem*, 50:20392045.

Albert, J.S. & Crampton, W.G.R. (2003). Seven new species of the Neotropical electric fish *Gymnotus* (*Telesostei*, *Gymnotiformes*) with a redescription of *G. carapo* (Linnaeus). *Zootaxa* 287:1-54.

Almeida, M., Batista, G., Kodaira, M., Val, L. & Lessi, E. (2005). Determinação do índice de rigor-mortis e sua relação com a degradação dos nucleotídeos em tambaqui (*Colossoma macropomum*), de piscicultura e conservados em gelo. *Ciência Rural*, 35 (3): 698-704.

Ando, M., Nishiyabu, A., Tsukamasa, Y. & Makinodan, Y. (1999). Postmortem softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding. *J Food Sci*, 64 (3): 423-428.

- Ando, M. (1997). Softening Mechanism of Fish Meat. *Suisangaku Series*. Tokyo, Japan: Kouseisha Kouseikaku.
- Ang, J.F. & Haard, N.F. (1983). Chemical composition and postmortem changes in soft textured muscle from intensely feeding atlantic cod (*Gadus morhua*, l). *Journal of Food Biochemistry*, 9 (1):49-64
- Araujo-Lima, C. & Goulding, M. (1997). *So fruitful a fish. Ecology, conservation and aquaculture of the Amazon's tambaqui*. Columbia University Press, New York, 191 p.
- Arbeláez, F. (2000). *Estudio de la ecología de los peces de un caño de aguas negras amazónicas en los alrededores de Leticia*. [Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].
- Arce, M. & Sánchez, P. (2002). *Estudio ecológico de la fauna íctica del río Amazonas en los alrededores de Leticia, Amazonia Colombiana*. [Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].
- Armbruster, J.W. (2003a). The species of the *Hypostomus cochliodon* group (Siluriformes: Loricariidae). *Zootaxa* 249: 1-60.
- Armbruster, J.W. (2003b). *Peckoltia sabaji*, a new species from the Guyana Shield (Siluriformes: Loricariidae). *Zootaxa* 344: 1-12.
- Arroyave, J. A. (2005). *Estructura de la comunidad íctica de una quebrada de aguas negras amazónicas en el Parque Nacional Natural Amacayacu, Amazonas, Colombia*. [Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].
- Ashie, N., Smith, P. & Simpson, K. (1996). Spoilage and shelf life extension of fresh fish and shell fish. *Food Sci Technol Res*, 36: 87-121.
- Barbarino, A. & Winemiller, K. O. (2003). Dietary segregation among large catfishes of the Apure and Arauca Rivers, Venezuela. *Journal of Fish Biology*, 63: 410-427
- Bard, J. & Imbiriba, E. P. (1986). *Piscicultura do pirarucu, Arapaima gigas*. Belém: Embrapa - CPATU. 17 p.
- Barriga, R. (1991). Los Peces de Agua dulce del Ecuador. *Rev. Politécnica, Biología*, XVI (3): 7-88.
- Barriga, S. (2011). Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador. Instituto de Ciencias Biológicas. *Revista Politécnica*, 30 (3): 83-119. [https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5068/4/Peces%20agua%20dulce-intermareales%20Ecuador%202012Politecnica30\(3\).pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5068/4/Peces%20agua%20dulce-intermareales%20Ecuador%202012Politecnica30(3).pdf)
- Batista, G., Lessi, E., Kodaira, M. & Falcao, P. (2004). Alterações bioquímicas post-mortem de matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) procedente da piscicultura, mantido em gelo. *Cien. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 24 (4): 573-581
- Barthem, R. & Goulding, M. (1997). *The Catfish Connection. Ecology, Migration, and Conservation of Amazon Predators*. Columbia University Press, New York
- Bjørnevik, M., Karlsen, Ø., Johnston, A., Kiessling, A. (2003). Effect of sustained exercise on white muscle structure and flesh quality in farmed cod. *Aquaculture*, 34: 55-64.
- Bockmann, F.A. & Guazzelli G.M. (2003). *Heptapteridae*. Pp. 406-431. en: Reis, R.E., Kullander, S.O. & Ferraris Jr., C.J. (Eds.), *Check list of the fresh water fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brasil.
- Bugeon, J., Jefeuvre, F. & Fauconneau, B. (2003). Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to longterm exercise. *Aquaculture Res*, 34: 1287-1295.
- Burgos, R. (2018). *Lineamientos a nivel comunitario para el uso y manejo sostenible de peces con énfasis en Arapaima gigas para la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno. Proyecto IAPA – Visión Amazónica. Unión Europea, Redparques, WWF, FAO, UICN, ONU Medio Ambiente*. Bogotá, Colombia.

Caballero, M.J., Betancor, M., Escrig, J.C., Montero, D., Espinosa, de M. A. & Castro, P. (2009). Post mortem changes produced in the muscle of sea bream (*Sparus aurata*) during ice storage. *Aquaculture*, 291(3-4):210-6.

Castellanos, C. (2002). *Distribución especial de la comunidad de peces en una quebrada de aguas negras amazónicas, Leticia, Colombia*. [Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].

Casp, A. & Jose, A. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. Editorial MundiPrensa.

Costa-Neto, E. y J. G. W. Marques. (2000). Etnoictiologías pescadores artesanais de Siribinha, municipio de Conde (Bahía): aspectos relacionados con a etologías peixes. *Acta Scientiarum*, 22 (2): 553-560.

Cruz, C., Arias, C., Vásquez, T. & Eslava, M. (2000). Cultivo de la cachama y el yamú en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista Colombiana de ciencia y tecnología*, 18 (10).

Curran, C., Poulten, R., Brueton, A., Jones, N. (1986). Cold shock reactions in iced tropical fish. *J. Food Tech*, 21: 288-299

Dias, A. F. (1983). *Salga e Secagem do Pirarucu, Arapaima gigas* (CUVIER, 1929) *Com a Aplicação de Coletores Solares*. [Dissertação (Mestrado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior)-Universidade Federal do Amazonas, Manaus].

Duque, S. R., Ruiz, J. E., Gómez J. & Roessler E. (1997). Limnología. En IGAC (Ed.). *Zonificación ambiental para el plan modelo Colombo – Brasileiro (Eje Apaporis – Tabatinga: PAT)*. Editorial Linotipia. Santafé de Bogotá: 71-134

Enríquez, M. Á. (2018). Atmósfera modificada en la conservación de carne de trucha arcoiris (*oncorhynchus mykiss*). *NOVASINERGIA. Revista Digital de Ciencia, Ingeniería y Tecnología*, 1(1).

Eslava, P.R., Hernández C.P. & Gómez LA. (1995). Hematología básica de la cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). *Rev MVZ Unillanos*, 1. 3:5.

Espe, M., Ruohonen, K., Bjørnevik, M., Frøyland, I., Nortvedt, R. & Kiessling A. (2004). Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in farmed salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture*, 204: 489-504.

Fenema, R. (1993). *Química de los alimentos*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España.

Fletcher, G.C., Hallett, I.C., Jerrett, A.R. & Holland, A.J. (1997). Changes in the Fine Structure of the Myocommata-Muscle Fibre Junction Related to Gaping in Rested and Exercised Muscle from King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *LWT - Food Science and Technology*, 30(3):246-52.

Géry, J. (1990). The fishes of Amazonia. En Sioli, H. (Ed.). *The Amazon: Limnology and landscape ecology of mighty tropical river and its basin. Monographiae Biologicae*, 56. Dr Junk Pub. Dordrecht, 763 p.

Goulding, M. (1980). *The Fishes and the Forest: explorations in Amazonian natural history*. Berkeley, University of California. 280p.

Graef, E.W. (1995). As espécies de peixes com potencial para criação no Amazonas. In: Val. A.L.; Honzary, A. (Eds) *Criando peixe na Amazônia*. Manaus: INPA: 29-43.

Guarderas, Lida e I. & Jácome-Negrete. (2013). *Curaray Causac Yacu Conocimiento y gestión territorial de los humedales del Pueblo Kichwa de la cuenca media y baja del río Curaray desde la visión del Sumac Allpa y del Sumac Causai*. Instituto Quichua de Biotecnología Sacha Supai. Dimensión Alternativa, Quito.

Gutiérrez, A. L. (2003). *Análisis de algunos aspectos tróficos y reproductivos de la comunidad de peces de un caño de aguas negras amazónicas en cercanías de Leticia (Amazonas, Colombia)*. [Tesis de pregrado, Biología Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].

Haard, N.F. (1992). Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International* 25:289-307. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(92\)90126-P](https://doi.org/10.1016/0963-9969(92)90126-P)

Hatae, K., Tamari, S., Miyana, K. & Matsumoto, J. (1985). Species Difference and Changes in the Physical

Properties of Fish Muscle as Freshness Decreases. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55. <https://doi.org/10.2331/suisan.51.1155>

Hernández, M.D., López, M.B., Álvarez, A., Ferrandini, E., García, B.G. & Garrido, M.D. (2009). Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage. *Food Chemistry*, 114(1): 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.045>

Herrera, D.C., Eslava, P.E. & Iegui, C.A. (1996). Aspectos de anatomía macro y microscópica del bazo de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). *Rev ACOVEZ*, 21.16-21.

Hong, H., Luo, Y., Zhou, Z. & Shen, H. (2012). Effects of low concentration of salt and sucrose on the quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets stored at 4°C. *Food Chemistry*, 133(1): 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.002>

Howes, G. (1982). *Review of genus brycon*. Bulletin of the British Museum (Natural History): 43:336.

Hurling, R., Rodell, B. & Hunt, D. (1996). Fiber diameter and fish texture. *J Texture Stud*, 27: 679-685.

Huss, H.H. (1998). *El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, p. 202. <http://www.fao.org/3/v7180s/v7180s00.htm>

Imbiriba, E. P. (2001). *Crescimento e produção de pirarucu, Arapaima gigas, sob diferentes densidades de estocagem em associação com búfalas leiteiras*. Belém. [Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Pará].

Jácome, I. (2005). *Sumac Yacu - Introducción al conocimiento de los ecosistemas acuáticos y la diversidad, ecología, aprovechamiento y conservación de los peces de los territorios quichuas de Yana Yacu, Nina Amarun y Lorocachi*, Pastaza. Instituto Quichua de Biotecnología Sacha Supai. Ediciones AbyaYala, Quito.

Johnston, A., Alderson, R., Sandham, C., Dingwall, A., Mitchell, D., Selkirk, C., Nickell, D., Baker, R., Robertson, B., Whyte, D., Springate, J. (2000). Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 189: 335-349.

Judge, M.P., Harel, O. & Lammi-Keefe, C.J. (2007). Maternal consumption of a docosahexaenoic acid-containing functional food during pregnancy: benefit for infant performance on problem-solving but not on recognition memory tasks at age 9 mo. *American Journal of Clinical Nutrition*, 85(6): 1572-1577. <https://academic.oup.com/ajcn/article/85/6/1572/4633030?login=false>

Junk, W. (1997). *The central amazon floodplain. Ecology of a pulsing system*. Springer, Germany.

Kiessling, A., Ruohonen, K. & Bjørnevik, M. (2006). Muscle fibre growth and quality in fish. *Arch Tierz*, 49: 137-146.

Lasso, C.A., Lew, D., Taphorn, D.C., Do Nascimento, C., Lasso-Alcala, O., Provenzano, F. & Machado, A. (2003). *Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas*. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales No.43: 105-195.

Ladrat, C., Verrez-Bagnis, V., Noël, J. & Fleurence J. (2003). In vitro proteolysis of myofibrillar and sarcoplasmic proteins of white muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects of cathepsins B, D and L. *Food Chemistry*, 81(4):517-25.

Lowe-McConnell, R. 1987. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge University Press, Cambridge.

Lujan, N.K., Hidalgo, M. y Stewart, D.J. (2010) Revision of *Panaque* with descriptions of three new species from the Amazon Basin (*Siluriformes, Loricariidae*). *Copeia*, 4:676-704.

Llorente, J. y L. Michán. (2000). El concepto de especie y sus implicaciones para el desarrollo de inventarios y estimaciones en biodiversidad. En Piera, F., Morrone, J. y A. Melic (eds.). *Hacia un proyecto CYTED para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica*. Monografías Tercer Milenio Vol.1. SEA, Zaragoza.

Maldonado-Ocampo, J.A, Vari, R.P. & Usma, J.S. (2008) Checklist of the Freshwater Fishes of Colombia. *Biota Colombiana* 9 (2):143 -237.

Masniyom, P., Benjakul, S. & Visessanguan, W. (2005). Collagen changes in refrigerated sea bass muscle treated with pyrophosphate and stored in modified

atmosphere packaging. *Eur Food Res Technol*, 220: 322-325.

Mendes, J. M., Dairiki, J. K., Inoue, L. A., Kioshi A. & Rogério, J. (2017). Advantages of recovery from pre-slaughter stress in tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816) agroindustry in the Amazon. *Food Science and Technology*, 37(3), 383-388. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.14316>

Ministério do Meio Ambiente [Mma], Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis [Ibama] & Diretoria de Fauna e Recursos Pesqueiros-DIFAPCoordenação Geral de Gestão de Recursos Pesqueiros [CGREP]. (2003). *Estatística da Pesca - Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação, Tamandaré, Pernambuco*. 96p. <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/gestao-pesqueira/estatistica-pesqueira/2003-ibama-estatistica-da-aquicultura-e-pesca-no-brasil.pdf>

Mochizuki S. & Sato A. (1996). Effects of Various Killing Procedures on Post mortem Changes in the Muscle of Horse Mackerel. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 64. 276-279.

Mourão, J., Araujo H. & Almeida. F. (2006). Ethnotaxonomy of mastofauna as practiced by hunters of Municipality of Paulista, state of Paraíba-Brasil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2(19). 1-7. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-19>

Ng, C.S, Chin, Y.N., Lim, P.Y., Tan, C.E., Yeap, S.E., Nikkuni, S. & Bito, M. (1983). Changes in quality of white pomfret, Chinese pomfret and grouper during ice-storage. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 49 :769-775.

Ocano-Higuera, V. M., Maeda-Martínez, A. N., Lugo-Sánchez, M. E., & Pacheco Aguilar, R. (2006). Postmortem biochemical and textural changes in the adductor muscle of catarina scallop stored at 0°C. *Journal of Food Biochemistry*, 30(4), 373-389

Ofstad, R., Olsen, R.L., Taylor, R., Hannesson, K.O. (2006). Breakdown of intramuscular connective tissue in cod (*Gadus morhua* L.) and spotted wolffish (*Anarhichas minor* O.) related to gaping. *LWT-Food Science and Technology*, 39(10):1143-54.

Oliveira, P. R. de J., Souza, R. de B., Machado, G. & Lessi, E. (2014). Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17(1), 67-74. <https://doi.org/10.1590/bjft.2014.010>

Ono, E. A., Halverson, M. R. & Kubtiza (2004). F. Pirarucu, o gigante esquecido. *Revista Panorama de Aquicultura*, 14 (81): 14-25.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. <https://doi.org/CC BY-NC-SA 3.0 IGO>

Ortega, H., Hidalgo, M., Correa, E., Espino, J., Chocano, L., Trevejo, G., Cortijo, A.M. & Quishpe, R. (2011). *Lista anotada de los Peces de Aguas Continentales del Perú. Estado Actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación*. Universidad Mayor San Marcos de Lima- Ministerio del Ambiente. 37 pp.

Ovchynnyk, M. (1967). *Freshwater fishes of Ecuador*. Latin American Studies Center. Michigan State University Monograph. Series 1:1-44.

Pardo-Carrasco, S., Atencio, V. & Arias, A. (1999). Contribución al conocimiento del aparato circulatorio de la cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). *Rev Asoc Col Ict*, 3. 63:68.

Pereira-Filho, M., Caveiro, B. A. S., Roubach, R., Ituassu, D. R., Gandra, A. L. & Crecêncio, R. (2002). Resultados preliminares da engorda do pirarucu (*Arapaima gigas*) em viveiro escavado. In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Aquicultura, Goiânia- GO*. 24 a 29 de junho de 2002. 18 p.

Prieto, E. (2000). *Estudio ictiológico de un caño de aguas negras de la Amazonía Colombiana, Leticia*. [Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].

Ramírez, A. (1986). *Estudio sobre las capturas realizadas en la época seca de 1984 en la desembocadura de la quebrada Mata-Mata al río Amazonas, contemplando algunos aspectos ecológicos y taxonómicos*. [Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].

Rebaza, M., Alcántara, F. & Valdiviezo, M. (1999). *Manual de piscicultura del paiche*. Caracas, Venezuela: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), FAO, Secretaria Pro Tempore Venezuela (Eds). 35 p.

Reddy, N., Schreiber, C., Buzard, K., Skinner, G., Armstrong, D. (1994). Shelf Life of Fresh Tilapia Packaged in High Barrier Film with Modified

Atmospheres. Food Sci. 59(2):260-264.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1444-2906.2003.00696.x>

Reis, R.E., Kullander, S.O. & Ferraris, C.J. (2003). *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. Edipucrs, Porto Alegre.

Retana, O. (2004). Principios de Taxonomía Zoológica Chinanteca: Aves. *Etnobiología*, 4(1). 29-40. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5294409.pdf>

Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nordtvedt, T.S. & Seland, A. (1997) Handling Stress and Storage Temperature Affect Meat Quality of Farmed-raised Atlantic Salmon (*Salmo Salar*). *Journal of Food Science*, 62(4):898-905.

Ribeiro, F.M., Freitas, P.V.D.X., Santos, E.O., Sousa, R.M., Carvalho, T.A., Almeida, E.M., Santos, T.O. & Costa, A.C. (2016a). Alimentação e nutrição de pirapitinga (*Piaractus brachipomus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*): revisão. *Pubvet*, 10 (12). 873-882. <http://doi.org/10.22256/pubvet.v10n12.873-882>

Silvano, R. A. y Begossi. A. (2002). Ethnoicthyology and fish conservation in the Piracicaba River (Brasil). *Journal of Ethnobiology*, 22(2): 285-306.

Rodríguez, C. (1991). *Bagres malleros y cuerderos en el bajo río Caquetá. Estudios en la Amazonia Colombiana*. Tropenbos-Colombia, Bogotá

Sirén, A. (2011). *Consumo de pescado y fauna acuática en la amazonia ecuatoriana*. COPESCAL Documento Ocasional No. 12. FAO, Roma.

Salas, A. y Barriga, M. (2004). Aspectos Bioquímicos y cambios post mortem del filete de paiche (*Arapaima gigas*) almacenado en hielo. *Repositorio del Instituto Tecnológico de la Producción – ITP*. <http://repositorio.itp.gob.pe/handle/ITP/85>

Sioli, H 1975. Amazon tributaries and drainage basins. *Ecol. Stud.*, 10: 199-213.

Sioli, H. 1984. The Amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin, Dr. W.Junk Pub. Dordrecht, 763 pp.

Saint-Paul, U. (1986). Potencial for aquaculture of south American freshwater fishes; a review. *Aquaculture Amsterdam*, 54: 205-240.

St-Hilaire, S., Hill, M., Kent, M., Whitaker, D. & Ribble, C. (1997). A comparative study of muscle texture and intensity of *Kudoa* thysites infection in farm-reared Atlantic salmon *Salmo salar* on the Pacific coast of Canada. *Diseases of Aquatic Organisms*, 31(5).

San Román, J.V. (1994). *Perfiles Históricos de la Amazonía Peruana*. Rodríguez, M. & García, J. (Eds). Centro de Estudios Teológicos de la Amazonia/Centro Amazónico de Antropología y Aplicación Práctica/ Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 281 p.

Suarez, H., Pardo, C., Cortés, M., Ricaurte, C. & Rojano, B. (2009). Evaluación de nueva tecnología para mitigar las espinas intramusculares en filetes de cachama *piaractus brachipomus* (pisces: characidae). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62 (1): 4989-4997. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24894/25425>

Santos-Fita, D., Costa-Neto, E. & Cano-Contreras, E. (2009). El quehacer de la Etnozoología. En Costa-Neto, E., Santos-Fita D. y Vargas-Clavijo M. (Eds.). *Manual de Etnozoología*. Tundra Ediciones, Valencia.

Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Matak, K.E. & Jaczynski, J. (2012). Functional food products made from fish protein isolate recovered with isoelectric solubilization/ precipitation. *LWT - Food Science and Technology*, 48 (1): 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.018>

Seixas, C. & Begossi. A. (2001). Ethnozoology of fishing communities from Ilha Grande (Atlantic Forest Coast, Brazil). *Journal of Ethnobiology* 21(1): 107-135.

Toyohara, H. & Shimizu, Y. (1988). Relation of the Rigor mortis of Fish Body and the Texture of the Muscle. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 54:1795-1798.

Shigemura, Y., Ando, M., Tsukamasa, Y., Makinodan, Y. & Kawai, T. (2003). Correlation of type V collagen content with post-mortem softening of fish meat during chilled storage. *Fisheries Sci.* 69(4), 842-848.

Val, A. Y V. Almeida-Val. 1995. Fishes of the Amazon and their environment. Physiological and biochemical aspect.. Springer-Verlag, Berlin, 223 p.

Vari, R.P. (1989). *Systematics of the neotropical characiform genus Pseudocurimata* Fernández-Yépez (Pisces: Ostariophysi) *Smithsonian Contributions to Zoology* 490: 1-28.

Vari, R.P., Ferraris Jr. C.J. & de Pinna M.C.C. (2005). The neotropical whale catfishes (Siluriformes: Cetopsidae: Cetopsinae), a revisionary study. *Neotrop. Ichthyol.* 3(2):127-238.

Vejarano, S. (2000). *Ictiología de la laguna de Yahuaracaca y aspectos tróficos y reproductivos de cinco especies predominantes, Leticia, Colombia*. [Tesis de pregrado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá].

Verrez-Bagnis, V., Noel, J., Sautereau, C. & Fleurence, J. (1999). Desmin Degradation in Postmortem Fish Muscle. *Journal of Food Science*, 64(2):240-2.

Viana, A., Inhamuns, A., Oliveira, P., & Souza, L. (2016). Effect of modified atmosphere packaging on *Brycon amazonicus* conservation. *Boletim Do Instituto De Pesca*, 42(1), 17-28.

Wang, P.A., Vang, B., Pedersen, A.M., Martinez, I. & Olsen, R.L. (2011). Post-mortem degradation of myosin heavy chain in intact fish muscle: Effects of pH and enzyme inhibitors. *Food Chemistry*, 124(3):1090-5.