



Evaluación in vitro de la actividad antagonista de bacterias ácido lácticas aisladas de alimentos fermentados sobre Penicillium sp. y Aspergillus sp. de granos de quinua

In vitro evaluation of the antagonistic activity of lactic acid bacteria isolated from fermented foods against Penicillium sp. and Aspergillus sp. of quinoa grains

Avaliação in vitro da atividade antagonista de bactérias lácticas isoladas de alimentos fermentados sobre Penicillium sp. e Aspergillus sp. de grãos de quinua

Janneth María Gallegos-Núñez ^I
jgallegos@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1550-8494>

Liseth Verónica Andino-Gualpa ^{II}
lisandino33@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8084-3363>

Fausto René Guasgua-Mipaz ^{III}
fausto93guasgua@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9203-3042>

Ana Rafaela Pacurucu-Reyes ^{IV}
apacurucu@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3539-9632>

Correspondencia: jgallegos@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de diciembre de 2022 * **Aceptado:** 22 de enero de 2023 * **Publicado:** 01 de febrero de 2023

- I. Seguridad Alimentaria Grupo de Investigación y Desarrollo SAGID, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Investigador Independiente, Ecuador.
- III. Investigador Independiente, Ecuador.
- IV. Seguridad Alimentaria Grupo de Investigación y Desarrollo SAGID, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Existen estudios que han demostrado el potencial antifúngico de ciertas cepas de bacterias ácido lácticas (BAL) y su eficiente aplicación para el control de estos contaminantes durante la producción y almacenamiento de alimentos. En consecuencia, el objetivo de este trabajo ha sido evaluar la actividad antagonista de BAL sobre *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., hongos contaminantes aislados de granos de quinua *Chenopodium quinua* Willdenow. Se aislaron 40 cepas de bacterias ácido lácticas de alimentos fermentados de elaboración artesanal (pickles, chicha, suero lácteo y queso con cultivo lácteo) y de productos de marcas registradas con contenido de cepas probióticas (kumis, cápsulas de probióticos y fermento láctico) en agar Man, Rogosa y Sharpe (MRS). A partir de granos de quinua provenientes de diferentes zonas de la provincia de Chimborazo-Ecuador se obtuvieron 11 aislados de *Penicillium* y 4 de *Aspergillus*; una cepa del hongo *Penicillium* y una cepa del hongo *Aspergillus* participaron en el ensayo de superposición de placas en agar Malta frente a 40 aislados de bacterias ácido lácticas con potencial antifúngico. El 22,5% de las bacterias ácido lácticas aisladas demostraron una supresión media sobre *Penicillium* sp., mientras que el 15% de las BAL evidenciaron una supresión media sobre *Aspergillus* sp. Las bacterias ácido lácticas aisladas a partir de pickles y suero lácteo mostraron una actividad antifúngica superior, capacidad que podría atribuirse a la producción de metabolitos activos y a las características de la matriz donde se desarrollan.

Palabras clave: Bacterias ácido lácticas; Antagonismo; *Aspergillus* sp.; *Penicillium* sp.; *Chenopodium quinua* Willdenow; Alimentos fermentados.

Abstract

There are studies that have demonstrated the antifungal potential of certain strains of lactic acid bacteria (LAB) and their efficient application to control these contaminants during food production and storage. Consequently, the objective of this work has been to evaluate the antagonistic activity of BAL on *Penicillium* sp. and *Aspergillus* sp., contaminating fungi isolated from quinoa grains *Chenopodium quinua* Willdenow. Forty strains of lactic acid bacteria were isolated from artisanal fermented foods (pickles, chicha, whey, and cheese with dairy culture) and from trademarked products containing probiotic strains (kumis, probiotic capsules, and lactic ferment) on agar. Man, Rogosa and Sharpe (MRS). From quinoa grains from different areas of the province of

Chimborazo-Ecuador, 11 isolates of *Penicillium* and 4 of *Aspergillus* were obtained; one strain of *Penicillium* fungus and one strain of *Aspergillus* fungus participated in the Malta agar overlay plate assay against 40 lactic acid bacteria isolates with antifungal potential. 22.5% of the isolated lactic acid bacteria showed a medium suppression on *Penicillium* sp., while 15% of the LABs showed a medium suppression on *Aspergillus* sp. Lactic acid bacteria isolated from pickles and whey showed superior antifungal activity, a capacity that could be attributed to the production of active metabolites and the characteristics of the matrix where they develop.

Keywords: Lactic acid bacteria; Antagonism; *Aspergillus* sp.; *Penicillium* sp.; *Chenopodium* quinoa Willdenow; fermented foods.

Resumo

Existem estudos que têm demonstrado o potencial antifúngico de certas cepas de bactérias lácticas (BAL) e sua aplicação eficiente no controle desses contaminantes durante a produção e armazenamento de alimentos. Conseqüentemente, o objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade antagonista do BAL sobre *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp., fungos contaminantes isolados de grãos de quinua *Chenopodium quinoa* Willdenow. Quarenta cepas de bactérias lácticas foram isoladas de alimentos fermentados artesanais (picles, chicha, soro de leite e queijo com cultura láctea) e de produtos de marca registrada contendo cepas probióticas (kumis, cápsulas probióticas e fermento láctico) em ágar. Man, Rogosa e Sharpe (SRA). A partir de grãos de quinua de diferentes áreas da província de Chimborazo-Ecuador, foram obtidos 11 isolados de *Penicillium* e 4 de *Aspergillus*; uma cepa do fungo *Penicillium* e uma cepa do fungo *Aspergillus* participaram do ensaio em placa de sobreposição de ágar Malta contra 40 isolados de bactérias lácticas com potencial antifúngico. 22,5% das bactérias lácticas isoladas apresentaram supressão média em *Penicillium* sp., enquanto 15% das LABs apresentaram supressão média em *Aspergillus* sp. Bactérias lácticas isoladas de picles e soro de leite apresentaram atividade antifúngica superior, capacidade que pode ser atribuída à produção de metabólitos ativos e às características da matriz onde se desenvolvem.

Palavras-chave: Bactérias lácticas; Antagonismo; *Aspergillus* sp.; *Penicillium* sp.; *Chenopodium* quinoa Willdenow; alimentos fermentados.

Introducción

Los hongos son actualmente un problema para la industria alimentaria debido a su capacidad para degradar los alimentos y producir micotoxinas (Saladino et al., 2016). La contaminación por hongos puede ocurrir en varias etapas durante el cultivo, la recolección, el transporte, el almacenamiento y el procesamiento, lo que genera pérdidas económicas para el sector agrícola y posibles problemas de salud en el ganado y los seres humanos. El uso de antifúngicos sintéticos ha sido la forma más común de combatir a estos agentes contaminantes, pero su uso está relacionado con el desarrollo de resistencia a este tipo de plaguicidas, problemas ambientales debido a su alta estabilidad, y efectos negativos sobre la salud humana por su toxicidad (Luz et al., 2020). Por otro lado, los consumidores demandan cada vez más la reducción del uso de pesticidas sintéticos, motivando la búsqueda de nuevos métodos de control del deterioro de los alimentos que puedan garantizar la seguridad alimentaria (Dallagnol et al., 2018).

Diferentes estudios han demostrado que muchas cepas de bacterias ácido lácticas (BAL) tienen el potencial para combatir la proliferación de hongos en alimentos y materiales para piensos (Luz et al., 2017). Las bacterias ácido lácticas incluyen un grupo muy heterogéneo de microorganismos cuya característica principal es la producción de ácido láctico como producto final mayoritario de la fermentación de una variedad de azúcares (Rodríguez et al., 2016). La Agencia Alimentaria Americana (FDA) considera a las BAL como organismos GRAS (generalmente reconocidos como seguros) y muchas especies poseen también el estatus de QPS (presunción de seguridad calificada) dado por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) (Brodmann et al., 2017). Estas características y propiedades convierten a las bacterias ácido lácticas en microorganismos con un gran potencial para su uso en la bioconservación.

Las bacterias del ácido láctico son las procariontas más poderosas en lo que respecta a potencial antifúngico; De Melo Pereira et al. (2015) indica que pueden producir una variedad de compuestos con actividad antimicrobiana siendo la producción de ácidos orgánicos la principal característica que utilizan para competir con los organismos de deterioro, aunque se han demostrado varios otros mecanismos (Siedler et al., 2019).

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow) es un pseudocereal de alto valor nutricional cultivado tradicionalmente por las culturas andinas (Alandia et al., 2020), cuya producción y consumo se ha incrementado a nivel mundial en las últimas décadas (Gamboa et al., 2020). En este contexto, el control de contaminantes a nivel de su producción y almacenamiento resulta clave para promover

un mejor nivel competitivo de los productores artesanales y/o microempresarios y garantizar la seguridad alimentaria. Investigaciones como las realizadas por Pappier et al. (2008), Guarniz-Benites & Valdez-Arana. (2019) y El Hazzam et al. (2020), han demostrado que *Penicillium* y *Aspergillus* son los contaminantes más frecuentes, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la actividad antagonista *in vitro* de las bacterias ácido lácticas aisladas de alimentos fermentados elaborados artesanalmente sobre *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. contaminantes de granos de quinua.

Material y métodos

Recolección de muestras

El estudio se realizó a partir de muestras de alimentos fermentados de elaboración artesanal, productos de marcas registradas con contenido de cepas probióticas, y muestras de granos de quinua tomadas en la provincia de Chimborazo - Ecuador.

Quinua

Se recolectaron 3 diferentes muestras (9H14 Cp, 101 Cl, 286 Gm), de 500 gramos de granos de quinua de las instalaciones de “Fundación Maquita” ubicada en la parroquia Calpi de la ciudad de Riobamba.

Alimentos fermentados de elaboración artesanal

De manera aséptica se realizó el muestreo de alimentos fermentados elaborados artesanalmente en sitios tradicionales de la provincia de Chimborazo: se tomó una muestra de 500 g de pickles elaborados en un bar cafetería (PK), 5 muestras de 100 mL de chicha tomadas de un restaurante (CH), 5 muestras de 500 g de queso producido con cultivo láctico y comercializado en un supermercado (QF), y 5 muestras de 100 mL suero lácteo procedente de una quesería (SL).

Las muestras fueron recolectadas en recipientes estériles y transportadas en cadena de frío hasta su procesamiento en el laboratorio dentro de las 24 horas posteriores a la toma.

Productos de marcas registradas conteniendo cepas probióticas

De forma aleatoria se seleccionaron 3 tipos de productos comerciales con etiquetado que señala el contenido de probióticos: kumis (KU), cápsulas de probióticos (SP) y fermento láctico (FL), que se emplearon a modo de estándares prácticos o controles positivos.

Aislamiento de BAL

Se trabajó con diluciones seriadas de base diez de las muestras de alimentos artesanales y de los productos probióticos comerciales ($10^{-1} - 10^{-6}$), empleando agua de peptona al 0,1% como diluyente. A continuación, se realizaron las siembras en superficie en placas de agar Man Rogosa Sharpe (MRS) suplementado con cicloheximida, que se incubaron durante 48 horas a 37°C en condiciones de capnófilia.

Las colonias con propiedades morfológicas macroscópicas típicas de BAL fueron caracterizadas mediante tinción Gram y pruebas de oxidasa y catalasa. Tras la confirmación, las colonias representativas se inocularon en Caldo Man Rogosa Sharpe (MRS) e incubaron durante 8 horas a 37 °C, y posteriormente fueron subcultivadas en MRS agar, hasta su purificación (Chen et al., 2021).

Aislamiento de hongos

Aspergillus sp. y *Penicillium* sp. fueron aislados a partir de las muestras de quinua mediante diluciones seriadas en base diez ($10^{-1} - 10^{-5}$), utilizando agua de peptona al 0,1% como diluyente. A continuación, se realizaron las siembras en superficie en placas de Agar Papa Dextrosa (PDA) suplementado con tetraciclina y se incubaron a 25°C durante 7 días.

La caracterización de los aislados fúngicos con rasgos típicos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* se realizó a través del análisis de la morfología macroscópica y observación microscópica previa tinción con azul de lactofenol, para la posterior purificación de las cepas seleccionadas por el método de punción en medio PDA (Solairaj et al., 2020).

Cinética de crecimiento de hongos y conteo de esporas

Se tomaron muestras de 6 mm de diámetro de cada cultivo fúngico purificado y se transfirieron hacia los pozos centrales de placas estériles de agar PDA que fueron incubadas a 25°C. Se

monitoreó el crecimiento de los hongos midiendo el diámetro de las colonias durante 7 días consecutivos cada 24 horas.

A partir de cultivos de 5 días obtenidos mediante siembra en agar inclinado se formaron suspensiones de esporas con solución salina con Tween 80 al 0,1%, que fueron diluidas (1:100) y analizadas en la cámara de Neubauer hasta obtener una concentración alrededor de 10^5 cel/mL (García Torres et al., 2019).

Ensayo de antagonismo in vitro de las BAL

Se transfirió 1 mL del cultivo obtenido por suspensión de una asada de cada BAL purificada en 100 mL de caldo MRS estéril. Utilizando este inóculo se trazaron con asa de 10 μ L 2 líneas paralelas, separadas 2 cm en la superficie del medio MRS y, transcurrido el tiempo de incubación de las BAL, se depositaron 10 mL de agar semisólido compuesto por bacto agar 0.7%) y extracto de malta, con una concentración de 10^4 esporas de hongos/ mL, habiéndose incubado en aerobiosis por 48 horas a 25 °C. Se utilizó tebuconazol como control positivo en una concentración de 1mg/mL (Ben Taheur et al., 2019).

La actividad antifúngica se midió relacionando el área del crecimiento inhibido por las estrías de inoculación al área total de la placa Petri (Magnusson et al., 2003; Rouxel et al., 2020).

Los resultados del ensayo de antagonismo fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza para determinar las diferencias significativas de los porcentajes de inhibición obtenidos entre muestras.

Resultados

Características de las bacterias ácido lácticas aisladas a partir de alimentos fermentados de elaboración artesanal y productos de marcas registradas conteniendo cepas probióticas

Se recuperaron un total de cuarenta aislados de BAL a partir de los productos de marcas registradas con contenido de cepas próbóticas y de alimentos fermentados de elaboración artesanal, 5 aislados procedentes de pickles, 7 de chicha, 12 de queso fresco con cultivo láctico, 6 de suero de leche y 10 de productos de marcas registradas con contenido de cepas probióticas. Las BAL se caracterizaron macroscópicamente como colonias de color blanco de aspecto cremoso brillante,

consistencia suave, superficie lisa con forma elevada convexa, de tamaño variable y halo lenticular, resultados que corresponden a las características morfológicas típicas de BAL aisladas a partir de leche de vaca reportadas en los trabajos de Devi et al. (2013) e Ismail et al. (2018).

La caracterización fenotípica de los aislados de BAL, arrojó un total de 14 cocos, 22 bacilos cortos y 4 bacilos largos Gram positivos, catalasa y oxidasa negativos, lo que indica que las BAL son tolerantes y adaptables al medio de cultivo ácido y carece de estas enzimas y citocromos dependientes del grupo hemo (Feng & Wang, 2020).

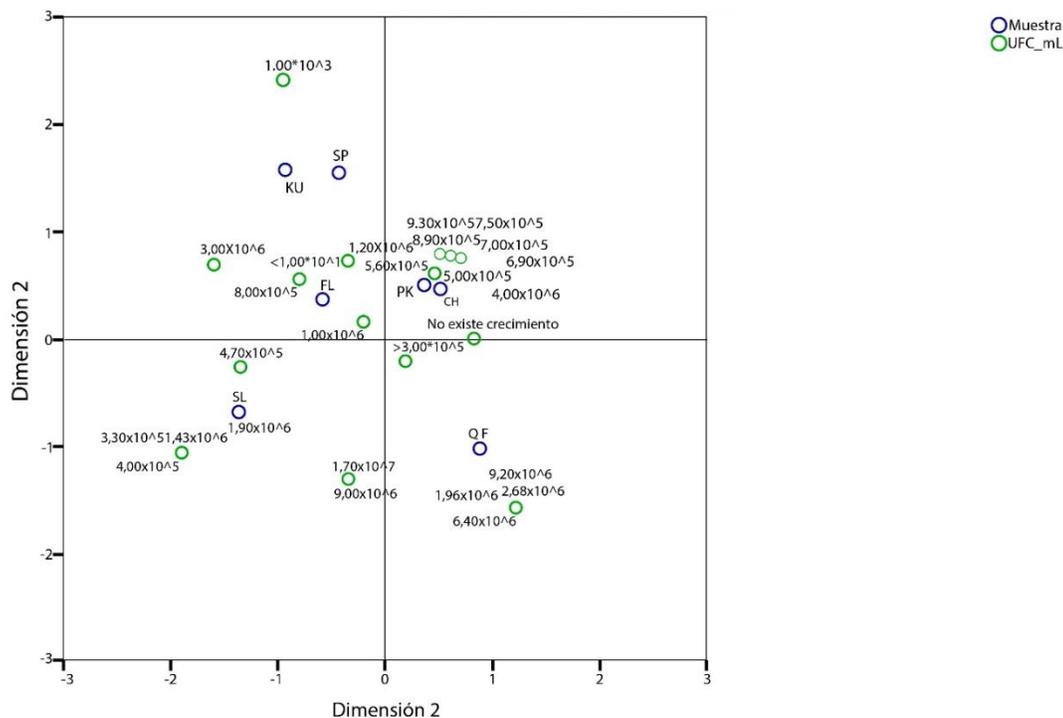
Morfología y cinética de crecimiento de los hongos contaminantes

A partir de los granos de quinua se aislaron como hongos contaminantes *Aspergillus* y *Penicillium*. Fueron identificados cuatro aislados de *Aspergillus* sp, que presentaron un micelio amarillo con colonias de bordes blancos, reverso verde, de apariencia algodonosa, sin presencia de exudación, con hifas hialinas ramificadas en forma de pincel y producción de conidios esféricos, cuyas características concuerdan con lo descrito por Samson et al. (2014) y Mirabile et al. (2019) al aislar hongos de alimentos para ganado. Once aislados correspondieron al género *Penicillium*, fueron identificadas fenotípicamente por su micelio verde, de aspecto pulverulento, colonias con bordes blancos, presencia de exudación y un reverso amarillo, además de conidióforos monoverticilado asimétrico, métula, fiálide, conidios lisos y globosos (Visagie et al., 2014).

La cinética de crecimiento fúngica alcanzó la fase exponencial al tercer día, obteniéndose una variación del tamaño de la colonia, de 0,9 cm a 4,3 cm de diámetro en el caso de *Penicillium* sp, y 0,95 cm a 2,65 cm de diámetro para *Aspergillus* sp. Las mediciones permitieron verificar el crecimiento de la biomasa y una mayor esporulación de los hongos al séptimo día, cuya relación se evidencia en el aumento ordenado de los componentes celulares en condiciones óptimas (Coton et al., 2020) (Oliveira et al., 2019).

Población de bacterias ácido lácticas aisladas según su origen

El análisis de correspondencia que se presenta en la Figura 1 asocia las concentraciones de BAL (UFC/mL o UFC/g) y su procedencia, evidenciando que los pickles y chicha fueron los alimentos fermentados que representan una mayor carga microbiana de BAL, lo que se atribuye a la naturaleza de su matriz, constituida por varias verduras y maíz respectivamente. (Manini et al., 2016).

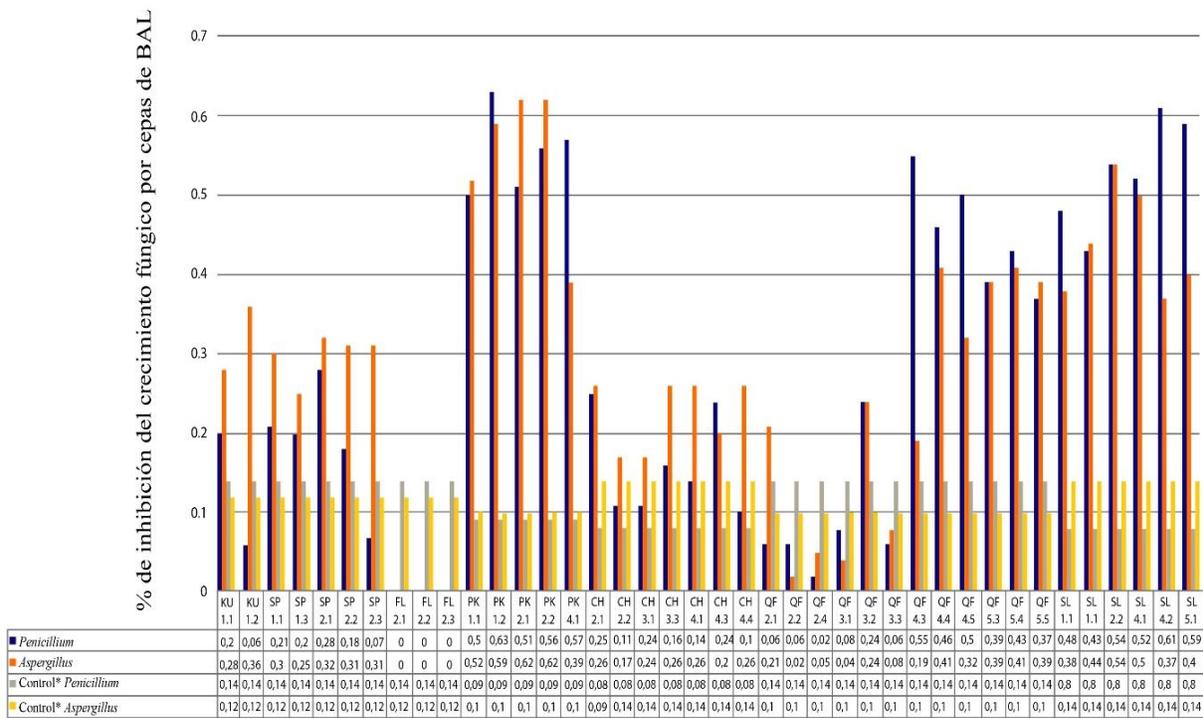


PK, pickles; CH, chicha; QF, queso con cultivo láctico; SL, suero lácteo; KU, kumis; SP, probióticos en polvo para suspensión; FL, fermento láctico.

Figura 1: Análisis de correspondencia de las bacterias ácido lácticas aisladas según su origen

Antagonismo de las bacterias ácido lácticas aisladas sobre los hongos contaminantes de la quinua

La Figura 2 relaciona los porcentajes de inhibición del crecimiento fúngico por los aislados BAL, con datos provenientes del ensayo de antagonismo *in vitro*, evidenciándose notoriamente un mayor porcentaje de inhibición por las BAL aisladas de pickles y suero lácteo.



PK, pickles; CH, chicha; QF, queso con cultivo láctico; SL, suero lácteo; KU, kumis; SP, probióticos en polvo para suspensión; FL, fermento láctico. * Se empleó tebuconazol como control positivo.

Figura 2: Inhibición del crecimiento fúngico por aislados de BAL

Tomando como referencia una escala de inhibición de tres niveles: supresión fuerte, mayor o igual al 75% (+++), supresión media, del 50 al 74% (++), y supresión débil, menor al 50% (+), el gráfico 2 muestra la capacidad de inhibición de las diferentes cepas de BAL aisladas frente a *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., destacando la supresión media obtenida por 9 de las 40 cepas BAL aisladas (22,5%) sobre *Penicillium* sp. y 6 de las 40 cepas BAL aisladas (15%) sobre *Aspergillus* sp.

La Tabla 1 determina la localización central y dispersión de los porcentajes de inhibición, donde se muestra que el promedio de inhibición de las BAL fue mayor (29.37%) con relación al control positivo en su concentración mínima inhibitoria, indicando que las BAL se sobreponen en 48 y 49 unidades para *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp., respectivamente.

Figura 3: Análisis univariante de los porcentajes de inhibición sobre *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp.

MEDIDA	%	%	CONTROL	CONTROL
	INHIBICIÓN <i>Penicillium</i>	INHIBICIÓN <i>Aspergillus</i>	POSITIVO DE TEBUCONAZOL PARA <i>Penicillium</i> sp.	POSITIVO DE TEBUCONAZO L PARA <i>Aspergillus</i> sp.
MÍNIMO	0,00	0,00	8,00	10,00
1ER CUARTIL	9,50	20,75	8,00	10,00
MEDIA	24,00	30,50	14,00	12,00
MEDIA	29,00	29,75	11,43	11,80
3ER CUARTIL	50,00	39,25	14,00	14,00
MÁXIMO	63,00	62,00	14,00	14,00

Mediante el tratamiento estadístico de los datos obtenidos a través de la prueba de Kolmogorov Smirnov, se determinaron los porcentajes de inhibición para *Penicillium* y *Aspergillus* siguen una distribución normal, donde el valor p (0.143 y 0.200) fue mayor al nivel de significancia (0.05) y se concluye que se rechaza la hipótesis nula.

La evaluación estadística por medio de la prueba ANOVA (análisis de varianza), determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores promedio de las zonas de inhibición con un alfa de 0.05 y por lo tanto se rechaza la no existencia de actividad antifúngica de los aislados de BAL (Tabla 2). Lo anterior se concluyó comparando el valor crítico de F (2,42) y los F calculados.

Figura 4: Resultados del ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
INHIBICIÓN SOBRE <i>Penicillium</i>	Entre grupos	1,133	6	0,189	11,572	0,000
	Dentro de grupos	0,538	33	0,016		
	Total	1,671	39			
INHIBICIÓN SOBRE <i>Aspergillus</i>	Entre grupos	0,788	6	0,131	12,862	0,000
	Dentro de grupos	0,337	33			
	Total	1,125	39	0,010		

La aplicación de un análisis de varianza permitió demostrar las diferencias significativas del porcentaje de inhibición entre muestras, obteniéndose un valor p de 0.00 que indica que al menos uno de los porcentajes de inhibición entre muestras es diferente.

Discusión

Análisis de correspondencia de las bacterias ácido lácticas aisladas según el tipo de fuente

Los resultados que se muestran en la figura 1 guardan relación con el trabajo de Asurmendi et al. (2014) donde se obtuvo un alto recuento de BAL en granos de cerveza ($10^8 UFC/g$), en este contexto, Lind et al. (2005) y Pelikanova et al. (2011) señalan que estos microorganismos se desarrollan con mayor naturalidad en nichos donde no están sometidos a un tratamiento de estrés celular, permitiendo una mayor producción de metabolitos activos mediante la fermentación de sustratos como proteínas, carbohidratos, fibra, fosfolípidos, ácidos grasos esenciales, etc.

El bajo recuento de BAL aisladas a partir de productos de marcas registradas que contienen cepas probióticas, podría deberse a la perturbación causada por procesos como la liofilización y microencapsulación, lo que reduce la viabilidad y actividad microbiana (Ray, 2016), adicionalmente podría atribuirse a condiciones de almacenamiento del producto, tales como tiempo y temperatura.

Antagonismo de las bacterias ácido lácticas aisladas sobre los hongos contaminantes de la quinua

Los hongos filamentosos causan deterioro en la mayoría de cereales y pseudocereales, generando problemas durante las etapas de procesamiento por su capacidad invasiva y producción de sustancias tóxicas para el ser humano (Carillo et al., 2006).

La investigación de Siedler et al. (2019) sobre BAL aisladas de germen de trigo y productos lácteos señala que los metabolitos activos contra hongos son péptidos antifúngicos, siendo el péptido Lf (1-11) útil contra *Aspergillus fumigatus*, conjuntamente las BAL aisladas de alimentos fermentados tienen una mayor acción antimicrobiana. Se destaca que la actividad antifúngica de la cepa *L. plantarum* aislada de frutas y verduras contra géneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Geotrichum*, *Mucor* y *Trichoderma*, se debe a la capacidad de producir ácidos orgánicos tales como ácido feniláctico, 4-hidroxi-feniláctico, ácido benzoico, ácido propiónico y ácido acético (Cheong et al., 2014), cuyo mecanismo de acción es alterar la membrana fúngica con pérdida del transporte activo de nutrientes y disminución del pH a nivel citoplasmático, lo que impide las reacciones metabólicas (Oliveira et al., 2014).

De acuerdo con Crowley et al. (2013), la capacidad antifúngica y la viabilidad de las BAL están relacionadas con las características genéticas y la naturaleza de la matriz donde se desarrollan, siendo un cuenco nativo el que permite la producción de metabolitos con mayor rendimiento antifúngico, además, Mariam et al. (2014) mencionan que la capacidad antimicrobiana varía de acuerdo a la tasa de crecimiento de las BAL y a la velocidad de difusión de los metabolitos activos en el medio, lo que explicaría el mayor porcentaje de inhibición dado por las cepas BAL aisladas de pickles y productos lácteos frente a las cepas aisladas de productos de marcas registradas con contenido de cepas probióticas cuya lenta difusión de metabolitos activos se otorga a la exposición de procesos de estrés celular y pausado crecimiento.

Conclusión

Las bacterias ácido lácticas (BAL) aisladas de alimentos fermentados de elaboración artesanal y de productos de marcas registradas con contenido de cepas probióticas mostraron diferentes grados de actividad antagónica contra hongos de los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*.

Las cepas de BAL aisladas a partir de pickles y suero lácteo presentaron la mayor capacidad inhibitoria, que fue evaluada como una supresión media del crecimiento fungal y podría atribuirse a la producción de metabolitos activos y a las características de la matriz donde se desarrollan, evidenciado el potencial antifúngico y la oportunidad promisoría para ser empleados como biopreservantes durante el almacenamiento de los granos de quinua.

Referencias

1. Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26(September), 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
2. Asurmendi, P., Pascual, L., Dalcerro, A., & Barberis, L. (2014). Incidence of lactic acid bacteria and *Aspergillus flavus* in brewer's grains and evaluation of potential antifungal activity of these bacteria. *Journal of Stored Products Research*, 56, 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.11.002>
3. Ben Taheur, F., Mansour, C., Kouidhi, B., & Chaieb, K. (2019). Use of lactic acid bacteria for the inhibition of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus carbonarius* growth and mycotoxin production. *Toxicon*, 166(March), 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.05.004>
4. Brodmann, T., Endo, A., Gueimonde, M., Vinderola, G., Kneifel, W., de Vos, W. M., Salminen, S., & Gómez-Gallego, C. (2017). Safety of novel microbes for human consumption: Practical examples of assessment in the European Union. *Frontiers in Microbiology*, 8(SEP), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01725>
5. Carillo, M., Ramírez, M., Martínez, J. (2006). Efecto de solutos sobre el crecimiento de hongos deteriorativos de alimentos. *Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Los Alimentos*, 5(2), 142–146.
6. Chen, H., H. J., Wang, Y., Du, G., Yan, X., & Cui, Y. (2021). Antifungal activity and mode of action of lactic acid bacteria isolated from kefir against *Penicillium expansum*. *Food Control*, 1, 130.
7. Cheong, E. Y. L., Sandhu, A., Jayabalan, J., Kieu Le, T. T., Nhiep, N. T., My Ho, H. T., Zwielehner, J., Bansal, N., & Turner, M. S. (2014). Isolation of lactic acid bacteria with antifungal activity against the common cheese spoilage mould *Penicillium commune* and their potential as biopreservatives in cheese. *Food Control*, 46, 91–97.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.011>

8. Coton, E., Coton, M., Hymery, N., Mounier, J., & Jany, J. L. (2020). *Penicillium roqueforti*: an overview of its genetics, physiology, metabolism and biotechnological applications. *Fungal Biology Reviews*, 34(2), 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2020.03.001>
9. Crowley, S., Mahony, J., & Van Sinderen, D. (2013). Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-preservatives. *Trends in Food Science and Technology*, 33(2), 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.07.004>
10. Dallagnol, A. M., Bustos, A. Y., Martos, G. I., Valdez, G. F. de, & Gerez, C. L. (2018). Antifungal and antimycotoxigenic effect of *Lactobacillus plantarum* CRL 778 at different water activity values. *Revista Argentina de Microbiología*, 51(2), 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2018.04.004>
11. De Melo Pereira, G. V., Beux, M., Pagnoncelli, M. G. B., Soccol, V. T., Rodrigues, C., & Soccol, C. R. (2015). Isolation, selection and evaluation of antagonistic yeasts and lactic acid bacteria against ochratoxigenic fungus *Aspergillus westerdijkiae* on coffee beans. *Letters in Applied Microbiology*, 62(1), 96–101. <https://doi.org/10.1111/lam.12520>
12. Devi, M., Jeyanthi Rebecca, L., & Sumathy, S. (2013). Bactericidal activity of the lactic acid bacteria *Lactobacillus delbreukii*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(2), 176–180.
13. El Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., Kacimi, K. E. L., & Yasri, A. (2020). An insight into saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A review. *Molecules*, 25(5). <https://doi.org/10.3390/molecules25051059>
14. Feng, T., & Wang, J. (2020). Oxidative stress tolerance and antioxidant capacity of lactic acid bacteria as probiotic: a systematic review. *Gut Microbes*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1801944>
15. Gamboa, C., Bojacá, C. R., Schrevens, E., & Maertens, M. (2020). Sustainability of smallholder quinoa production in the Peruvian Andes. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121657>
16. Garcia Torres, S. G., Ilyina, A., Ramos-Gonzalez, R., Hernandez, S. C., & Diaz-Jimenez, L. (2019). Interaction between Cobalt Ferrite Nanoparticles and *Aspergillus Niger* Spores. *IEEE Transactions on Nanobioscience*, 18(4), 542–548. <https://doi.org/10.1109/TNB.2019.2940354>

17. Guarniz-Benites, J., & Valdez-Arana, J. (2019). Morphological identification of mycotoxigenic fungi in accessions of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) of the Peruvian Coast and Sierra. *Scientia Agropecuaria*, *10*, 327–336.
18. Ismail, Y. S., Yulvizar, C., & Mazhitov, B. (2018). Characterization of lactic acid bacteria from local cows milk kefir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *130*(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/130/1/012019>
19. Lind, H., Jonsson, H., & Schnurer, J. (2005). Antifungal effect of dairy propionobacteria-contribution of organic acid. *International Journal of Food Microbiology*, *98*, 157–165.
20. Luz, C., D'Opazo, V., Quiles, J. M., Romano, R., Mañes, J., & Meca, G. (2020). Biopreservation of tomatoes using fermented media by lactic acid bacteria. *Lwt*, *130*, 109618. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109618>
21. Luz, C., Saladino, F., Luciano, F. B., Mañes, J., & Meca, G. (2017). In vitro antifungal activity of bioactive peptides produced by *Lactobacillus plantarum* against *Aspergillus parasiticus* and *Penicillium expansum*. *LWT - Food Science and Technology*, *81*, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.053>
22. Magnusson, J., Ström, K., Roos, S., Sjögren, J., & Schnürer, J. (2003). Broad and complex antifungal activity among environmental isolates of lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, *219*(1), 129–135. [https://doi.org/10.1016/S0378-1097\(02\)01207-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1097(02)01207-7)
23. Manini, F., Casiraghi, M. C., Poutanen, K., Brasca, M., Erba, D., & Plumed-Ferrer, C. (2016). Characterization of lactic acid bacteria isolated from wheat bran sourdough. *LWT - Food Science and Technology*, *66*, 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.045>
24. Mariam, S. H., Zegeye, N., Tariku, T., Andargie, E., Endalafer, N., & Aseffa, A. (2014). Potential of cell-free supernatants from cultures of selected lactic acid bacteria and yeast obtained from local fermented foods as inhibitors of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus*. *BMC Research Notes*, *7*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-606>
25. Mirabile, G., Bella, P., Conigliaro, G., Giambra, S., Alberto Vazquez, M., Davino, S., & Torta, L. (2019). Fungal contaminants in Sicilian livestock feeds and first studies on the enzymatic activity of *Aspergillus* isolates. *Cuban Journal of Agricultural Science*, *53*(4), 373–386.
26. Oliveira, H. R., Bassin, I. D., & Cammarota, M. C. (2019). Bioflocculation of cyanobacteria

- with pellets of *Aspergillus niger*: Effects of carbon supplementation, pellet diameter, and other factors in biomass densification. *Bioresource Technology*, 294(September), 122167. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122167>
27. Oliveira, P. M., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2014). Cereal fungal infection, mycotoxins, and lactic acid bacteria mediated bioprotection: From crop farming to cereal products. *Food Microbiology*, 37, 78–95. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.003>
28. Pappier, U., Fernández Pinto, V., Larumbe, G., & Vaamonde, G. (2008). Effect of processing for saponin removal on fungal contamination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Journal of Food Microbiology*, 125(2), 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.039>
29. Pelikanova, J., Liptakova, D., Valík, L., & Stančková, K. (2011). Evaluation of the growth of selected lactobacilli in pseudocereal substrate. *Potravinarstvo*, 4, 53–57.
30. Ray, S., U. R. y R. C. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology, . *Food Biosci*, 13, 76–83.
31. Rodríguez, Y., Rojas, A., & Rodríguez, S. (2016). Encapsulation of Probiotics for Food Applications. *Biosalud*, 15, 106–115.
32. Rouxel, M., Barthe, M., Marchand, P., Juin, C., Mondamert, L., Berges, T., Blanc, P., Verdon, J., Berjeaud, J., & Aucher, W. (2020). Characterization of antifungal compounds produced by lactobacilli in cheese-mimicking matrix: Comparison between active and inactive strains. *Food Microbiol*, 10, 1016. <https://doi.org/1016/j.ijfoodmicro.2020.108798>.
33. Saladino, F., Luz, C., Manyes, L., Fernández-Franzón, M., & Meca, G. (2016). In vitro antifungal activity of lactic acid bacteria against mycotoxigenic fungi and their application in loaf bread shelf life improvement. *Food Control*, 67, 273–277. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.012>
34. Samson, R. A., Visagie, C. M., Houbraken, J., Hong, S.-B., Hubka, V., Klaassen, C. H. W., Perrone, G., Seifert, K. A., Susca, A., Tanney, J. B., Varga, J., Kocsubé, S., Szigeti, G., Yaguchi, T., & Frisvad., J. C. (2014). Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Studios in Mycology*, 78, 141–173. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.07.004>
35. Siedler, S., Balti, R., & Neves, A. R. (2019). Bioprotective mechanisms of lactic acid

bacteria against fungal spoilage of food. *Current Opinion in Biotechnology*, 56, 138–146.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.11.015>

36. Solairaj, D., Guillaume Legrand, N., Yang, Q., & Zhang, H. (2020). Isolation of pathogenic fungi causing postharvest decay in table grapes and in vivo biocontrol activity of selected yeasts against them. *Physiol Mol Plant Pathol*, 1, 110.
37. Visagie, C. M., Houbraaken¹, J., Frisvad, J. C., Hong, S.-B., Klaassen, C. H. W., Perrone⁵, G., Seifert⁶, K. A., Varga, J., Yaguchi, T., & Samson, R. A. (2014). Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *STUDIES IN MYCOLOGY*, 78, 343–371.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.simyco.2014.09.001>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).