

Bacteriocinas termorresistentes producidas por bacterias lácticas como conservadores naturales de alimentos

Ángeles-Vega, L.S.¹, García-Barrientos, R.² y Minor-Pérez.H.^{1*}

¹Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Av. Tecnológico s/n Esq. Carlos Hank González (Av. Central), Col. Valle de Anáhuac. Ecatepec de Morelos. Estado de México. C.P. 55210.

²Universidad Politécnica de Tlaxcala, México

Resumen

Durante la última década ha crecido el interés por las bacteriocinas producidas por bacterias lácticas debido a su potencial de aplicación en la bioconservación de alimentos. Las bacteriocinas son un grupo relativamente heterogéneo de pequeños péptidos sintetizados en los ribosomas. Las bacteriocinas del grupo IIa presentan la característica de tolerancia al calor. La mayoría de las bacteriocinas termorresistentes toleran tratamientos superiores a los 60°C a diferentes tiempos de calentamiento, y algunas como las bacteriocinas producidas por *Carnobacterium piscicola*, *Pediococcus acidilactici* y *Pediococcus pentosaceus* toleran tratamientos de 100°C a tiempos de 10-60 min. En este artículo, se analizarán y discutirán algunos conocimientos sobre el estudio de bacteriocinas producidas por bacterias lácticas con resistencia al calor. Además, se hará mención a su empleo en alimentos y algunas perspectivas de investigación.

Abstract

Over the last decade, interest in bacteriocins produced by lactic acid bacteria has grown due to their potential for application in food bioconservation. Bacteriocins are a relatively heterogeneous group of small peptides synthesized in ribosomes. Group IIa bacteriocins exhibit the characteristic of heat tolerance. Most of the heat resistant bacteriocins tolerate treatments above 60°C at different heating times, and some such as the bacteriocins produced by *Carnobacterium piscicola*, *Pediococcus acidilactici* and *Pediococcus pentosaceus* tolerate treatments of 100°C at times of 10-60 min. In this work, some knowledge about the study of bacteriocins produced by lactic acid bacteria with heat resistance will be analyzed and discussed. In addition, mention will be made of their use in food and some research perspectives.

Palabras claves: Bacteriocinas termorresistentes, bioconservación de alimentos, bacterias lácticas, *Listeria monocytogenes*, pasteurización.

Keywords: Heat-resistant bacteriocins, food bioconservation, lactic acid bacteria, *Listeria monocytogenes*, pasteurization.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las tendencias en consumo de alimentos dan una mayor importancia al estudio de productos mínimamente procesados, conservados en la forma más natural posible y que tengan una alta calidad nutricional lo más cercana posible con el producto original. Las bacterias lácticas son empleadas tradicionalmente en la elaboración de alimentos fermentados como el yogurt, los quesos y algunos productos cárnicos. Producen una serie de metabolitos con distintas funciones biológicas, e.g. el diacetilo es el responsable del sabor y aroma a mantequilla (Hugenholtz, 1993), los ácidos láctico y acético, el peróxido de hidrógeno y el dióxido de carbono presentan actividad antimicrobiana. Otro de los compuestos biológicos con actividad antimicrobiana, producidos por algunas bacterias lácticas son las bacteriocinas. Varios estudios (Haelander y col. 1997; Caplice y Fitzgerald 1999; Ennahar y col. 2000) mencionan la formación de poros en la membrana y la pérdida de compuestos de bajo peso molecular, como un mecanismo bioquímico de inhibición microbiana de estos compuestos.

Las altas temperaturas han sido empleadas desde hace años, como una tecnología de conservación de alimentos. Ésta ha tenido una gran importancia en la evolución de la alimentación en los seres humanos. Los tratamientos térmicos actualmente utilizan la combinación de variables como temperatura y tiempo controladas para optimizar/mejorar procesos de conservación como la pasteurización o la esterilización.

La pasteurización de alimentos, e.g. leche se realiza con la combinación de baja temperatura/tiempo largo (LTLT, 63°C/30 min) o alta temperatura/tiempo corto (HTST, 72°C/15 s) (Jay y col. 2005). Sin embargo, pueden emplearse temperaturas de subpasteurización (TSP) en combinación con conservadores naturales, como la nisina que tiene termorresistencia. Estas temperaturas (TSP), e.g. de 55°C pueden contribuir a reducir algunos efectos indeseables en las propiedades nutricionales o sensoriales de los alimentos. Las bacteriocinas, como nisina tienen una estructura molecular peptídica y varias tienen capacidad/actividad antimicrobiana.

Las clasificadas en el grupo IIa presentan la característica de tolerancia al calor (Klaenhammer, 1993). Esta propiedad ha sido poco estudiada aun cuando puede tener un alto potencial de aplicación en alimentos sometidos a tratamientos térmicos; tanto para procesos de conservación o para la elaboración de productos que requieran calor para su procesamiento (e.g. para productos tipo Surimi que es sometido a calentamiento gradual para obtener un gel usando las proteínas de productos marinos). La mayoría de las bacteriocinas termorresistentes toleran tratamientos superiores a los 60°C a diferentes tiempos de calentamiento, y algunas como las bacteriocinas producidas por *Carnobacterium piscicola*, *Pediococcus acidilactici* y *Pediococcus pentosaceus* toleran tratamientos de 100°C a tiempos de 10-60 min (Cleveland y col. 2001).

En este artículo, se analizarán y discutirán algunos conocimientos sobre el estudio de bacteriocinas producidas por bacterias lácticas con resistencia al calor. Además, se hará mención a su empleo en alimentos y algunas perspectivas de investigación.

BACTERIOCINAS

Las bacteriocinas producidas por bacterias lácticas son un grupo relativamente heterogéneo de péptidos sintetizados en los ribosomas (Cleveland y col. 2001). Presentan actividad antimicrobiana sobre microorganismos relacionados taxonómicamente con el microorganismo productor (Klaenhammer, 1993) y algunas tienen actividad antimicrobiana sobre bacterias patógenas como *Listeria monocytogenes* o *Clostridium botulinum* (O’Sullivan y col. 2002). Varios estudios (Requena y Peláez, 1995; Schillinguer y col. 1996; Stiles, 1996; Ennahar y col. 2000; O’Sullivan y col. 2002) destacan el potencial de aplicación de éstas, en la conservación de los alimentos. En la Tabla 1 se muestran estudios sobre la aplicación en alimentos de bacteriocinas producidas por bacterias lácticas, así como los microorganismos sensibles.

Tabla 1. Bacteriocinas comunes empleadas en la conservación de alimentos

Bacteriocina	Sistema alimentario	Micoorganismo sensible	Referencia
Pediocina PA-1 Pediocina AcH	Leche y productos lácteos Quesos Cheedar y Munster	<i>Listeria monocytogenes</i>	Buyong y col. 1998
Pediocina 5 Enterocina	Leche Queso Manchego y Taleggio	<i>Listeria monocytogenes</i> <i>Listeria innocua</i> , <i>Listeria monocytogenes</i>	Ennahar y col. 1998 Huang y cl. 1994 Giraffa y col. 1993
Nisina Lacticina 3147	Quart dessert Queso Cottage	Esporas <i>Listeria monocytogenes</i>	Nuñez y col. 1997 Plockova y col. 1998
	Carne y productos cárnicos		

Pediocina	Embutidos de pavo, pollo y cerdo	<i>Listeria monocytogenes</i>	Berry y col. 1991 Luchansky y col. 1992 Foegeding y col. 1992 Baccus-Taylor y col. 1993
Leucocina A Lactocin 705 Sakacina A Nisina	Carne de res fresca Carne de res picada fresca Carne de cerdo fresca Embutidos de cerdo	<i>Lactobacillus sake</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Satphylococcus aureus</i>	Leisner y col. 1996 Vignolo y col. 1996 Schillinger y col. 1991 Caserio y col. 1979 Rayman y col. 1983 Chung y col. 1989
Pediocina Sakacina	Ensalada de pollo Jamón cocido	<i>Clostridium botulinum</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Listeria inocua</i>	Hutton y col. 1991 Hugas y col. 1995
Nisina Z	Vegetales Ensalada fresca Ensalada Cesar	<i>Listeria monocytogenes</i>	Cai y col. 1997
Nisina	Vegetales refrigerados Col agria	<i>Enterococcus</i> n/r	Vescovo y col. 1995 Harris y col. 1992

n/r : no reportado

La clasificación de estos compuestos biológicos se basa en su estructura y características moleculares. Por ejemplo, Klaenhammer (1993) y Cleveland y col. (2001) sugieren una división en varios grupos, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación y características bioquímicas de bacteriocinas (adaptación de Klaenhammer 1993 y Cleveland y col. 2001)

<p>Grupo I</p> <p>Lantibióticos. Este grupo esta integrado por péptidos pequeños que contienen deshidroaminoácidos y tioéter aminoácidos (lantionina y metilantionina). En función de la forma de su estructura molecular se pueden dividir en:</p> <p>Tipo A. Moléculas antipáticas, en forma de toroide (2.1 a 3.5 kDa). Contienen de 2 a 7 cargas positivas. Nisina</p> <p>Tipo B. Moléculas globulares (de alrededor de 2 kDa). Tienen carga negativa o neutra. Mersacidina</p> <p>Grupo II</p> <p>Péptidos pequeños (<10 kDa) relativamente termoestables. No contienen lantionina. Se dividen en:</p> <p>Clase IIa. Péptidos activos contra <i>Listeria monocytogenes</i> con la secuencia consenso N-terminal Tyr-Gly-Asn-Gly-Val-Gly-Val-Xaa-Cys. Pediocina PA-1, Sakacinas A y P, leucocina A</p> <p>Clase IIb. Los que necesitan dos péptidos para formar un complejo de poración. Lactacina F</p> <p>Clase IIc. Péptidos con grupos tiol (-SH) activos que requieren cisteína reducida para activarse</p> <p>Grupo III</p> <p>Moléculas grandes (>30 kDa), termosensibles. Se incluyen enzimas extracelulares bacteriolíticas. Helveticina J y V-1829, acidofilicina A</p>
--

Cleveland y col. (2001) mencionan diversas investigaciones sobre el conocimiento en la síntesis de bacteriocinas, los procesos bioquímicos de inmunidad, modificaciones post-traslacionales para obtener bacteriocinas activas, la dinámica del transporte a través de la membrana de la célula, así como los mecanismos de resistencia entre otros. Así mismo, destacan que todavía no se tiene evidencia de efectos tóxicos de las bacteriocinas en humanos. Indican, e.g. que cuando se realiza una patente para bacteriocinas nuevas, frecuentemente no se reportan datos toxicológicos. Otro aspecto de interés, por la relevancia que tiene la inhibición de bacterias patógenas y de descomposición en los alimentos, es el mecanismo bioquímico de inhibición microbiana,

Klaenhammer (1988) refiere que las bacteriocinas son péptidos con actividad antimicrobiana contra especies microbianas relacionadas taxonómicamente. La elucidación de los mecanismos que gobiernan la especificidad de los péptidos y la susceptibilidad de las células sensibles es uno de los mayores retos de la investigación en este campo, por la importancia que tendría la aplicación como agentes antimicrobianos en los alimentos.

La composición lipídica de la membrana celular atacada es un factor importante que determina la susceptibilidad de esta. Fimland y col. (1996) estudiando bacteriocinas híbridas construidas por ellos, pusieron de manifiesto que la región C-terminal es determinante de los sitios sensibles de la célula para bacteriocinas del tipo de las pediocinas. Esta región es la que interactúa con la membrana cambiando la perforación de esta (Chikindas y col., 1993). En el grupo II también se incluye bacteriocinas no modificadas distintas del tipo de las pediocinas, por ejemplo, la lactococina A, péptido catiónico de 55 residuos que permea a la membrana (Holo y col., 1991; Van Belkum y col., 1991).

Las bacteriocinas de dos péptidos, como su nombre lo indica, consisten en dos péptidos catiónicos diferentes entre sí, de 25-40 residuos cada uno. Para desarrollar su actividad antibacteriana se requiere la presencia de ambos en forma simultánea, la actividad antimicrobiana óptima se obtiene cuando los dos péptidos están presentes en cantidades equivalentes. La lactococina G fue la primera bacteriocina de este tipo que se aisló y caracterizó (Nissen-Meyer y col., 1992). Estas bacteriocinas forman canales selectivos para potasio en la membrana de la célula sensible (Moll y col., 1996b). Los dos péptidos contienen regiones que les confieren carácter anfífilo al adquirir una estructura helicoidal. Los estudios de dicroísmo circular han mostrado que estas regiones adoptan la estructura helicoidal cuando los dos péptidos interactúan entre sí en presencia de micelas de las membranas del tipo de las células sensibles (Nissen-Meyer y Nes, 1997).

RESISTENCIA AL CALOR DE BACTERIOCINAS PRODUCIDAS POR BACTERIAS LÁCTICAS

La mayoría de las bacteriocinas con potencial de aplicación en la conservación de alimentos son las que pertenecen al Grupo Ila debido principalmente a características bioquímicas como la resistencia al calor y la capacidad de inhibir a microorganismos patógenos de interés en la industria de los alimentos, como *Listeria monocytogenes*. Esta primera propiedad ha sido poco explorada, tanto para explicar el origen de la resistencia térmica y su estabilidad, así como las posibles aplicaciones en productos sometidos a procesos térmicos.

En la Tabla 3 se muestran investigaciones sobre el efecto del calor en bacteriocinas producidas por varios géneros de bacterias lácticas. En su mayoría presentaron resistencia a tratamientos térmicos superiores a los 60°C a diferentes tiempos de calentamiento. Específicamente las bacteriocinas producidas por *Carnobacterium piscicola*, *Pediococcus acidilactici* y *Pediococcus pentosaceus* toleran tratamientos de 100°C en tiempos de 10-60 min (Ruckert, 1979; Bhunia y col. 1987; González y Kunka, 1987; Richter y col. 1989; Anh y Stiles, 1990b;

Schillinguer y Holzapfel, 1990; Stoffels y col. 1992a, b; Yamazaki y col. 2004; Yamamoto y col. 2004). La información sobre los aspectos bioquímicos que determinan la diferente resistencia térmica no está totalmente esclarecida. Uno de los primeros estudios fue el realizado por Tramer (1966) quien sugiere que la estabilidad al calor de la nisina puede estar relacionada con las diferencias de solubilidad. Por ejemplo, cuando es sometida a calentamiento a ebullición en una solución diluida de ácido hidroclicórico a pH de 2.5 o menos no se presenta pérdida de actividad. La nisina permanece estable después de un calentamiento a 115.6°C a pH 2.0 y presenta una pérdida de actividad del 40% a pH 5.0 y más del 90% a pH 6.8. Aunque este autor no indica si se tiene algún efecto por el cambio de pH. Hall, (1966) menciona que la estabilidad al calor de la nisina en solución depende no solamente del pH. Indica la influencia de otros factores como el tipo de solución o el efecto protector de las proteínas. La nisina puede ser adsorbida reversiblemente por algunas proteínas. Esta adsorción probablemente ejerce un efecto protector cuando la bacteriocina se encuentra en solución y posteriormente es expuesta al calor. Con respecto a temperaturas bajas (refrigeración), autores como Motlagh y col. (1991) indican que la nisina no muestra cambios químicos o biológicos detectables después de varios meses de almacenamiento.

Tabla 3. Resistencia térmica de algunas bacteriocinas producidas por bacterias lácticas

Nombre de la bacteriocina	Microorganismo productor	Tratamiento térmico	Referencia
n/r	<i>Lactobacillus</i> <i>Lactobacillus buchneri</i> TAB6; TAB6o;TAB65	60°C, 60 min 100°C, 20 min 60°C, 60 min	Rodríguez y col. 2000
n/r	<i>Lactobacillus buchneri</i> TAB48	80°C, 120 min	Rodríguez y col. 2000
Plantaricina 35 d	<i>Lactobacillus plantarum</i>	100°C, 60 min	Messi y col. 2001
Lactacina B	<i>Lactobacillus acidophilus</i> N2	100°C, 30 min	Barefoot y Klaenhammer, 1983
n/r	<i>Lactobacillus helveticus</i> 481	100°C, 20 min	Joerger y Klaenhammer, 1986
n/r	<i>Lactobacillus buchneri</i>		Minor, 2004
n/r	<i>Lactococcus</i> <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	80°C, 60 min 100°C, 20 min	Scherwitz y col. 1983
n/r	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	100°C, 60 min	Thuault y col. 1991
Bacteriocina S50	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> var <i>diacetylactis</i>		Kojic y col. 1991
Piscicocina CS526	<i>Carnobacterium</i> <i>Carnobacterium piscicola</i> CS526	100°C, 30 min 100°C, 15 min	Yamazaki y col. 2004
n/r	<i>Carnobacterium piscicola</i> Sur620	100°C, 30 min	Yamamoto y col. 2004
n/r	<i>Carnobacterium piscicola</i> LV17	100°C, 20 min	Anh y Stiles, 1990b
n/r	<i>Carnobacterium piscicola</i> LV61	100°C, 60 min	Schillinguer y Holzapfel, 1990
n/r	<i>Carnobacterium piscicola</i> UI49		Stoffels y col. 1992a,b
n/r	<i>Pediococcus</i> <i>Pediococcus pentosaceus</i> FBB-61	100°C, 60 min 121°C, 15 min	Rueckert, 1979
Pediocina Ach	<i>Pediococcus acidilactici</i> Ach	100°C, 10 min	Bhunia y col. 1987
Pediocina PA-1	<i>Pediococcus acidilactici</i> PAC 1	121°C, 15 min	Gonzalez y Kunka, 1987
n/r	<i>Pediococcus</i> sp. JDI-23		Richter y col. 1989
Carnosina	<i>Leuconostoc</i> <i>Leuconostoc carnosum</i>	100°C, - 100°C, 30 min	Van Lack y col. 1992
Mesenterocina 5	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	60°C, 30 min	Daba y col. 1991
Leuconocina S	<i>Leuconostoc paramesenteroides</i>	60°C, 120 min	Lewus y col. 1991
Mesentericina Y105	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>		Héchar y col. 1992

n/r : nombre de la bacteriocina no reportado

PERSPECTIVAS

Diversos estudios (Rodríguez y col. 2000; Messí y col. 2001; Barefoot y Klaenhammer, 1983; Joerger y Klenhammer, 1986; Minor, 2004; Scherwitz y col. 1983; Thuault y col. 1991; Kojic y col. 1991; Yamazaki y col. 2004; Yamamoto y col. 2004; Anh y Stiles, 1990b; Schillinguer y Holzapfel, 1990) muestran diferencias en la explicación bioquímica de la resistencia al calor de las bacteriocinas. Sin embargo, es poca la información teórica sobre los aspectos bioquímicos que determinan esta resistencia; por ejemplo, si existen determinantes genéticas específicas para las bacteriocinas que presentan una mayor termorresistencia. Si estas bacteriocinas son producidas por microorganismos que también presentan resistencia al calor, la factibilidad de mantener o incrementar la resistencia y estabilidad al calor y en qué condiciones puede lograrse este comportamiento.

Desde un punto de vista de aplicación en la conservación de alimentos, es importante realizar estudios en sistemas que sean sometidos a tratamientos térmicos, por ejemplo los embutidos, los alimentos como el Surimi donde se realiza un proceso gradual de calentamiento para formar un gel (Funami y col. 1999) o la leche que es sometida a pasteurización, Es necesario evaluar el efecto de parámetros intrínsecos de los alimentos como el tipo y concentración de proteínas, lípidos y carbohidratos sobre la estabilidad térmica de las bacteriocinas. Así como, el efecto de aspectos tecnológicos relacionados con el proceso de los alimentos, entre otros. Además de la influencia de aditivos tales como los nitritos y nitratos en los embutidos, las operaciones unitarias como mezclado o picado y las diversas condiciones de almacenamiento a temperaturas específicas.

En el ámbito microbiológico es necesario estudiar si la inhibición de microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes* puede mejorarse con el empleo conjunto de bacteriocinas termorresistentes y calor. Así como si los mecanismos bioquímicos de resistencia al calor de las bacterias tienen alguna influencia en la actividad antimicrobiana de las bacteriocinas.

CONCLUSIONES

Las bacteriocinas producidas por bacterias lácticas tienen un alto potencial de aplicación en la bioconservación de alimentos. Algunas tienen propiedades bioquímicas como la tolerancia al calor y a condiciones de alta acidez, lo que mejora su potencial de aplicación como conservadores naturales. La combinación de la nisina y tratamientos térmicos a temperaturas de subpasteurización (TSP) e.g. 55°C puede contribuir a reducir algunos efectos indeseables en las propiedades nutricionales o sensoriales de los alimentos y permitir un control significativo de bacterias de importancia en la industria de alimentos como *Listeria monocytogenes*.

AGRADECIMIENTOS

La alumna Lilian Stephanie Ángeles Vega agradece al CONACyT por la beca otorgada para realizar estudios de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica (TESE, PNPC). Los autores agradecen al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec y al TECNM por el apoyo financiero otorgado a través del proyecto “Evaluación *in vitro* de la actividad antimicrobiana de subproductos de frutos del género *Citrus* spp, y *Opuntia* spp. en combinación con el pH y temperaturas de refrigeración/congelación/calentamiento para el control de *Listeria monocytogenes*” con número de registro 7911.20-PD. Vigencia 1-01-2020 al 31-12-2020.

REFERENCIAS

- [1] Anh, C. y Stiles, M.E. 1990b. Plasmid-associated bacteriocin production by a strain of *Carnobacterium piscicola* from meat. *Applied and Environmental Microbiology*. 56:302-310
- [2] Baccus-Taylor, G., Glass, K.A., Luchansky, J.B., Maurer, A.J. 1993. Fate of *Listeria monocytogenes* and *pediococcal* starter cultures during the manufacture of chicken summer sausage. *Poultry Science*. 72:1772-1778
- [3] Barefoot, S.F. y Klaenhammer, T.R. 1983. Detection and activity of lactacin B, a bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus*. *Applied and Environmental Microbiology* 45:1808-1815
- [4] Berry, E.D., Hutkins, R.W., Mandigo, R.W. 1991. The use of bacteriocin-producing *Pediococcus acidilactici* to control post-processing *Listeria monocytogenes* contamination of frankfurts. *Journal of Food Protection*. 54:681-686
- [5] Bhunia, A.K., Johnson, M.C. y Ray, B. 1987a. Direct detection of an antimicrobial peptide of *Pediococcus acidilactici* in SDS-PAGE. *Journal of Industrial Microbiology*. 2:319-322
- [6] Buyong, N., Kok, J., Luchansky, J.B. 1998. Use of a genetically enhanced, pediocin-producing starter culture, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* MM217, to control *Listeria monocytogenes* in Cheddar cheese. *Applied and Environmental Microbiology* 62:4842-4845
- [7] Cai, Y., Ng, L.K., Farber, J.M. 1997. Isolation and characterization of nisin-producing *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* from bean sprouts. *Journal of Applied Microbiology*. 83:499-507
- [8] Caplice, E. y Fitzgerald, G. 1999. Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. *International Journal of Food Microbiology* 50:131-149
- [9] Caserio, G., Stecchini, M., Pastore, M. y Gennari, M. 1979. The individual and combined effects of nisin and nitrate on the spore germination of *Clostridium botulinum* in meat mixtures subjected to fermentation. *Industria Alimentaria* 18:894-898
- [10] Chikindas, M.L., García-Garcerá, M.J., Driessen, A.J.M., Ledebøer, A.M., Nissen-Meyer, J., Nes, I.F., Abee, T., Konings, W.N. y Venema, G. 1993. Pediocin PA-1 a bacteriocin from *Pediococcus acidilactici* Pe PAC1.0 forms hydrophilic pores in the cytoplasmic membranes of target cells. *Applied and Environmental Microbiology* 59:3577-3584
- [11] Chung, K., Dickson, J.S. y Crouse, J.D. 1989. Effects of nisin on growth of bacteria attached to meat. *Applied and Environmental Microbiology* 55:1320-1333
- [12] Cleveland, J., Montville, T.J., Nes, I.F., Chikindas, M.L. 2001. Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation. *International Journal of Food Microbiology* 71:1-2
- [13] Daba, H., Pandian, S., Gosselin, J.F., Simard, R.E., Huang, J. y Lacroix, C. 1991. Detection and activity of a bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides*. *Applied and Environmental Microbiology*. 57:3450-3455
- [14] Ennahar, S., Assobhel, O., Hasselman, C. 1998. Inhibitor of *Listeria monocytogenes* in a smear-surface soft cheese by *Lactobacillus plantarum* WHE 92, a pediocin ACh producer. *Journal of Food Protection*. 61:186-191
- [15] Fimland, G., Blingsmo, O.R., Sletten, K., Jung, G., Nes, I.F. y Nissen-Meyer, J. 1996. New biologically active hybrid bacteriocins constructed by combining regions from various pediocin-like bacteriocins: The C-terminal region is important for determining specificity. *Applied and Environmental Microbiology* 62:3313-3318
- [16] Foegeding, P.M., Thomas, A.B., Pilkington, D.H., Klaenhammer, T.R. 1992. Enhanced control of *Listeria monocytogenes* by in situ-produced pediocin during dry fermented sausage production. *Applied and Environmental Microbiology*. 58:884-890
- [17] Funami, T., Funami, M., Yada, H. y Nakao, Y. 1999. Gelation mechanism of curdlan by dynamic viscoelasticity measurements. *Journal of Food Science*. 64(1):129-132
- [18] Giraffa, G., Neviani, E., Tarelli, G.T. 1993. Antilisterial activity by enterococci in a model predicting the temperature evolution of Taleggio, a soft Italian cheese. *Journal of Applied Microbiology*. 83:1176-1182
- [19] Gonzalez, C.F. y Kunka, B.S. 1987. Plasmid associated bacteriocin production and sucrose fermentation in *Pediococcus pentosaceus*. *Applied and Environmental Microbiology*. 46:81-89
- [20] Haelander, I.M., von Wright, A. y Mattila-Sandholm, T.M. 1997. Potential of lactic acid bacteria and novel antimicrobials against Gram-negative bacteria. *Trends in Food Science and Technology* 8:146-150
- [21] Hall, R. 1966. Nisin and food preservation. *Process Biochemistry* 1:461-464
- [22] Harris, L.J., Flemming, H.P., Klaenhammer, T.R. 1992. Novel paired starter culture system for sauerkraut consist of a nisin resistant *Leuconostoc mesenteroides* strain and a nisin-producing *Lactococcus lactis* strain. *Applied and Environmental Microbiology*. 58:1484-1489
- [23] Héchar, Y. y Sahl, H. G. 2002. Mode of action of modified and unmodified bacteriocins from Gram-positive bacteria. *Biochimie* 84:545-557
- [24] Héchar, Y., Derijard, B., Letellier, F. y Cenatiempo, Y. 1992. Characterization and purification of mesentericin Y105, an anti-*Listeria* bacteriocin from *Leuconostoc mesenteroides*. *Journal of General Microbiology*. 138:2725-2731

- [25] Hechard, Y., Derijard, B., Letellier, F. y Cenatiempo, Y. 1992. Characterization and purification of mesentericin Y 105, an anti-*Listeria* bacteriocin from *Leuconostoc mesenteroides*. *Journal of General Microbiology* 138:2725-2731
- [26] Holo, H., Nilseen, O., y Nes, I.F. 1991. Lactococcin A, a new bacteriocin from *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*: isolation and characterization of the protein and its gene. *Journal of Bacteriology* 173:3879-3887
- [27] Huang, J., Lacroix, C., Daba, H., Simard, R.E. 1994. Growth of *Listeria monocytogenes* in milk a dits control by pediocin 5 produced by *Pediococcus acidilactici* UL5. *Journal of International Dairy*. 4:429-443
- [28] Hugas, M., Garriga, M., Aymerich, M.T. y Monfort, J.M. 1995. Inhibition of *Listeria monocytogenes* in dry fermented sausages by the bacteriocinogenic *Lactobacillus sake* CTC494. *Journal of Applied Bacteriology* 79:322-330
- [29] Hugenholtz, J. 1993. Citrate metabolism in lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Review* 12:165-178
- [30] Hutton, M.T., Chenak, P.A. y Hanlin, J.H. 1991. Inhibition of botulinum toxin production by *Pediococcus acidilactici* in temperature abuse refrigerated foods. *Journal of Food Safety* 11:225-267
- [31] Joerger, M.C. y Klaenhammer, T.R. 1986. Characterization and purification of helveticin J and evidence for a chromosomally determined bacteriocin produced by *Lactobacillus helveticus* 481. *Journal of Bacteriology* 167:439-446
- [32] Klaenhammer, T.R. 1993. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Review* 12:39-85
- [33] Kojic, M., Svircevic, J., Banina, A. y Topisirovic, L. 1991. Bacteriocin-producing strain of *Lactococcus lactis* subs. *diacetilactis* S50. *Applied and Environmental Microbiology*. 57: 1835-1837
- [34] Leisner, I.J., Greer, G.G., Stiles, M.E. 1996. Control of beef spoilage by a sulphide-producing *Lactobacillus sake* strain with bacteriocinogenic *Leuconostoc gelidum* UAL187 during anaerobic storage at 2°C. *Applied and Environmental Microbiology*. 62:261-268
- [35] Lewus, C.B., Kaiserm A. y Montville, T.J. 1991. Inhibition of food-borne bacterial pathogens by bacteriocins from lactic acid bacteria isolated from meat. *Applied and Environmental Microbiology*. 57:1683-1688
- [36] Luchansky, J.B., Glass, K.A., Harsono, K.D., Degnan, A.J., Faith, N.G., Cauvin, B., Baccus-Taylor, G., Arihara, K., Bater, B., Maurer, A.J. y Cassens, R.G. 1992. Genomic analysis of *Pediococcus* starter cultures used to control *Listeria*
- [37] Messi, P., Bondi, M., Sabia, C., Battini, R. y Manicardi, G. 2001. Detection and preliminary characterization of a bacteriocin (plantaricin 35d) produced by *Lactobacillus plantarum* strain. *International Journal of Food Microbiology* 64:193-198
- [38] Minor, P.H. 2004. Caracterización bioquímica y espectro de inhibición microbiana de las bacteriocinas producidas por *Lactobacillus buchneri* y *Lactobacillus paracasei*. Tesis de Doctorado. UAM Iztapalapa. México
- [39] Moll, G.N., Roberts, G.C.K., Konings, W.N. y Driessen, A.J.M. 1996b. Mechanism of lantibiotic-induced pore-formation. *Antonio van Leeuwenhoek* 69:185-191
- [40] Motlagh, A. M., Johnson, M.C. y Ray, B. 1991. Viability loss of foodborne pathogens by starter culture metabolites. *Journal of Food Protection* 54:873-884
- [41] Niessen-Meyer, J., Nes, I.F. 1997. Ribosomal synthesized antimicrobial peptides: their function, structure, biogenesis and mechanism of action. *Archives of Microbiology* 167:67-77
- [42] Nissen-Meyer, J., Holo, H., Havarstein, L.V., Sletten, K. y Nes, I. 1992. A novel lactococcal bacteriocin whose activity depends on the complementary action of two peptides. *Journal of Bacteriology* 174:5686-5692
- [43] Nuñez, M., Rodríguez, J.L., García, E., Gaya, P., Medina, M., 1997. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by enterocin 4 during the manufacture and ripening of Manchego cheese. *Journal of Applied Microbiology*. 83:671-677
- [44] O'Sullivan, L., Ross, R.P. y Hill, C. 2002. Potential of bacteriocin-producing lactic acid bacteria for improvements in food safety and quality. *Biochimie*. 84:593-604
- [45] Plocková, M., Riháková, Z., Svirakova, E. 1998. The efficacy of nisin and nisin-producing strain *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* in thermized quarg desserts. *Advance in Food Science*. 20:17-22
- [46] Rayman, M.K., Malik, N. y Hurts, A. 1983. Failure of nisin to inhibit outgrowth of *Clostridium botulinum* in a model meat system. *Applied and Environmental Microbiology* 46:1450-1452
- [47] Requena, T. y Peláez, C. 1995. Revisión: Actividad antimicrobiana de bacterias lácticas. Producción de bacteriocinas. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 35:19-44
- [48] Rodríguez, E., González, B., Gaya, P., Núñez, M. y Medina, M. 2000. Diversity of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from raw mill. *International Dairy Journal* 10:7-15
- [49] Rueckert, P.W. 1979. Studies on a bacteriocin-like activity produced by *Pediococcus* and effective against Gram-positive organisms. MS Thesis. Michigan State Unive. East Lansing, M.I.
- [50] Scherwitz, K. M., Baldwin, K. A. y McKay, L.L. 1983. Plasmid linkage of a bacteriocin-like substance in *Streptococcus lactis* subsp. *diacetylactis* strain WM4: transferability to *Streptococcus lactis*. *Applied and Environmental Microbiology* 45:1506-1512
- [51] Schillinger, U., Kaya, M., Lucke, F.K. 1991. Behaviour of *Listeria monocytogenes* in meat and its control by a bacteriocinogenic-producing strain of *Lactobacillus sake*. *Journal of Applied Bacteriology*. 70:473-478

- [52] Schillinguer, U. y Holzapfel, W.H. 1990. Antibacterial activity of carnobacteria. *Food Microbiology*. 7:305-310
- [53] Schillinguer, U., Geisen, R. y Holzapfel, W.H. 1996. Potential of antagonistic microorganisms and bacteriocins for the biological preservation of foods. *Trends in Food Science and Technology*. 7:
- [54] Stiles, M.E. 1996. Biopreservation by lactic acid bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*. 70:235-249
- [55] Stoffels, G., Nes, I.F. y Gudmundsdottir, A. 1992a. Isolation and properties of a bacteriocin-producing *Carnobacterium piscicola* isolated from fish. *Journal of Applied Bacteriology*. 73:309-316
- [56] Stoffels, Nisse-Meyer, J., Gudmundsdottir, A., Sletten, K., Holo, H. y Nes, L.F. 1992b. Purification and characterization of a new bacteriocin isolated from a *Carnobacterium* sp. *Applied and Environmental Microbiology*. 58:1417-1422
- [57] Thuault, D., Beliard, E., Le Guern, J. y Bourgeois, C.M. 1991. Inhibition of *Clostridium tyrobutyricum* by bacteriocin-like substances produced by lactic acid bacteria. *Journal of Dairy Science*. 74:1145-1150
- [58] Tramer, J. 1966. Nisin in food preservation. *Chemistry Industrial* 11:446-450
- [59] Tramer, J. y Fowler, G.G. 1964. Estimation of nisin in foods. *Journal of Food Science and Food Agriculture* 8:522-528
- [60] Van Belkum, M.J., Kok, J., Venema, G., Holo, H., Nes, J.F., Konings, W.N. y Abee, T. 1991. The bacteriocin lactococcin A specifically increases the permeability of lactococcal cytoplasmic membranes in a voltage independent protein mediated manner. *Journal of Bacteriology* 173:7934-7941
- [61] Van Laack, R.L. J. M., Schillinger, U. y Holzapfel, W.H. 1992. Characterization and partial purification of a bacteriocin produced by *Leuconostoc carnosum* LA44A. *International Journal of Food Microbiology*. 16:183-195
- [62] Vescovo, M., Orsi, C., Scolari, G., Torriani, S. 1995. Inhibitory effects of selected lactic acid bacteria in microflora associated with ready-to-use vegetables. *Letters in Applied Microbiology*. 21:121-125
- [63] Vignolo, G., Fadda, S., Kairuz, M.N., de Ruiz Holgado, A. A., Oliver, G. 1996. Control of *Listeria monocytogenes* in ground beef by Lactocin 705, a bacteriocin produced by *Lactobacillus casei* CRL 705. *International Journal of Food Microbiology*. 29:397-402
- [64] Yamamoto, T., Yamazaki, K., Kawai, Y. y Inoue, N. Purification, and characterization of a new anti-*Listerial* peptide produced by *Carnobacterium piscicola* Sur 620. Book Abstracts. Institute of Food Technologists Annual Meeting. Las Vegas, EUA pp 73
- [65] Yamazaki, K., Suzuki, M., Kawa, Y., Inoue, N. y Montville, T. 2004. Purification and characterization of a novel anti-*Listerial* bacteriocin produced by *Carnobacterium piscicola* CS526 isolated from frozen surimi. Book of Abstracts. Institute of Food Technologists Annual Meeting. Las Vegas, EUA. pp 175-176

*Correo electrónico autor: hminor@tese.edu.mx