
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO (ALC) POR BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS (BAL) Y SU EFECTO BENÉFICO PARA LA SALUD

JESÚS SOSA-CASTAÑEDA, ADRIÁN HERNÁNDEZ-MENDOZA,
AARÓN FERNANDO GONZÁLEZ-CÓRDOVA,
y BELINDA VALLEJO-CORDOBA

RESUMEN

El ácido linoléico conjugado (ALC) es un lípido bioactivo que se encuentra de forma natural principalmente en alimentos derivados de rumiantes. Se ha demostrado que la suplementación con ALC ejerce efectos positivos en la salud en una amplia variedad de modelos in vivo; sin embargo, éste no se encuentra en cantidades suficientes en los alimentos. En base a lo anterior se han propuesto estrategias para incrementar la disponibilidad de ALC en el organismo por medio de procesos biotecnológicos. Una de estas estrategias ha

sido el empleo en los alimentos con bacterias ácido lácticas (BAL) productoras de ALC (BAL-ALC). Otra ha sido la ingesta de BAL que, por sus características particulares, una vez implantadas en el intestino, producen ALC. Se presenta una revisión de las investigaciones realizadas sobre la producción endógena de ALC a nivel intestinal en organismos monogástricos, y exógena en alimentos lácteos fermentados. Además, se presenta el potencial del ALC para promover efectos benéficos en la salud humana.

El ácido linoléico conjugado (ALC) es un grupo de ácidos grasos poliinsaturados que se encuentra de manera natural en una amplia variedad de alimentos como isómeros geométricos y posicionales del ácido linoleico (AL). Los principales organismos productores de ALC son los rumiantes, debido principalmente a la bioisomerización del AL por la compleja microflora que poseen en su sistema digestivo. Es por ello que el ALC se puede encontrar de forma natural en la carne de

res y cordero, así como en productos lácteos derivados de la leche de estos animales (Park y Pariza, 2007; Baddini Feitoza *et al.*, 2009; Andrade *et al.*, 2012).

Diversos estudios, principalmente realizados en modelos animales, han demostrado que el ALC posee efectos benéficos para el organismo. Dichos efectos incluyen: disminución del riesgo de padecer cáncer, prevención de enfermedades cardiovasculares, disminución del tejido graso y aumento del tejido muscular y masa ósea, aumento de la producción de

anticuerpos e interferones, y disminución de los procesos inflamatorios a través de la regulación de citocinas pro-inflamatorias y prostaglandinas (O'Shea *et al.*, 2004; Changhua *et al.*, 2005; Bhattacharya *et al.*, 2006). Tales efectos biológicos le han sido atribuidos (Obregón y Valenzuela, 2009; Soto-Rodríguez *et al.*, 2011) principalmente a los isómeros *cis-9*, *trans-12* (*c9*, *t11*) y *trans-10*, *cis-12* (*t10*, *c12*). Sin embargo, estudios realizados sobre el consumo de ALC en los alimentos sugieren que la ingesta diaria está por debajo de la dosis

PALABRAS CLAVE: Ácido Linoleico Conjugado / Alimentos Lácteos Fermentados / Bacterias Ácido Lácticas / Efectos Benéficos en la Salud / Probióticos /

Recibido: 30/07/2013. Modificado: 23/06/2014. Aceptado: 01/07/2014.

Jesús Sosa-Castañeda. Ingeniero Agrónomo Zootecnista, Universidad de Sonora, México. Doctorando, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), México.

Adrián Hernández-Mendoza. Doctor en Ciencias de los Alimentos, Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER), México. Investigador, CIAD, México.

Aarón Fernando González-Córdova. Ingeniero Bioquímico en Alimentos. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. Maestría en Ciencias, CIAD, México. Doctor en Ciencias de los Alimentos, ITVER, México. Dirección: Laboratorio de Química y Biotecnología de Productos Lácteos, Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal, CIAD. Carretera a La Victoria Km 0.6, Apartado 1735. Hermosillo, Sonora, 83304. e-mail: aaronglz@ciad.mx

Belinda Vallejo-Cordoba. Química, Universidad Iberoamericana, México. Maestría y Doctorado en Ciencias de los Alimentos, University of British Columbia, Canadá. Investigadora, CIAD, México. Dirección: Laboratorio de Química y Biotecnología de Productos Lácteos, Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal, CIAD. Carretera a La Victoria Km 0.6, Apartado 1735. Hermosillo, Sonora, 83304. México. e-mail: vallejo@ciad.mx

necesaria para ejercer sus efectos benéficos (Ritzenthaler *et al.*, 2001).

Dado que el contenido de ALC presente en los alimentos no provee la cantidad suficiente para cubrir los requerimientos necesarios para inducir dichos beneficios y que en organismos monogástricos tales como el humano no se generan cantidades importantes de ALC, se han buscado diferentes alternativas que ayuden a cubrir dichos requerimientos. Aunque la isomerización alcalina del AL es un método industrial comúnmente usado para preparar ALC para consumo humano, el mismo presenta desventajas tales como presencia de residuos tóxicos y baja proporción de los isómeros biológicamente activos (Gaullier *et al.*, 2002; Rocha-Uribe y Hernández, 2004; Hernández-Mendoza *et al.*, 2009; Blasi *et al.*, 2012).

En años recientes, algunas investigaciones han demostrado que las bacterias ácido lácticas (BAL), principalmente probióticas, han mostrado capacidad de sintetizar ALC *in vitro*, generando altas proporciones de los isómeros biológicamente más activos (Ogawa *et al.*, 2005; Andrade *et al.*, 2012). Esto ofrece interesantes posibilidades para la elaboración de productos lácteos fermentados con BAL-ALC. Además, el uso de BAL-ALC probióticas posibilita el hecho de aumentar los niveles de ALC en el organismo a través de la ingesta directa de estas bacterias. El objetivo de esta revisión es presentar una actualización de la información sobre las BAL-ALC disponibles bien sea a través de síntesis endógena (implantación a nivel intestinal) o exógenamente por su producción en la leche como matriz alimentaria. Además, se analiza el potencial de estos métodos para incrementar la disponibilidad de ALC en el organismo para promover efectos benéficos en la salud.

El Ácido Linoleico Conjugado (ALC)

El ALC es una mezcla de isómeros geométricos (*cis/trans*) y posicionales (localización de los dobles enlaces) del ácido linoleico (AL) o ácido 9, 12-otadecadienoico, el cual se puede encontrar en alimentos tanto lácteos como cárnicos.

El isómero de mayor abundancia en los alimentos es el *c9, t11* (ácido ruménico), el cual representa más del 80% del total de ALC, y su concentración depende de la fuente y del procesamiento del alimento (Chin *et al.*, 1992; Gagliostro, 2005; Bhattacharya *et al.*, 2006).

Estudios previos, realizados con ratas, ratones, cerdos y conejos, han demostrado que el ALC posee una amplia variedad de propiedades benéficas para el organismo cuando es incluido en la dieta como suplemento (Bhattacharya *et al.*, 2006; Churruca *et al.*, 2009; Park, 2009). Gracias a avances tecnológicos recientes, se ha venido estudiando el efecto de los isómeros de ALC por separado, principalmente los isómeros *c9, t11* y *t10, c12*, evidenciando que los efectos benéficos son inducidos y/o potenciados por algún isómero en particular (Tabla I). Sin embargo, la mayoría de estos estudios han sido realizados utilizando ALC producido por síntesis química (Park, 2009), por lo que la biogeneración de ALC por medio de BAL, ya sea de manera endógena en el intestino de monogástricos o exógena en el alimento, o en ambos, constituye una alternativa para incrementar la disponibilidad de ALC en el organismo.

Síntesis de ALC

Para propósito de esta revisión se consideró a la síntesis endógena como toda aquella biosíntesis de ALC que ocurre de forma fisiológica en el intestino de monogástricos por acción de las BAL. En algunos estudios se ha visto que la flora bacteriana intestinal de humanos tiene la capacidad de sintetizar ALC *in vitro* (Alonso *et al.*, 2003; Coakley *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2003; Conte-Junior *et al.*, 2007; McIntosh *et al.*, 2009; Gorissen *et al.*, 2010). Por ello, y con la finalidad de potenciar la producción de ALC a nivel intestinal, se ha estudiado el efecto de la inoculación de animales monogástricos con BAL. En un estudio *in vivo* se detectó el isómero *t10, c12* en suero de ratones sometidos a una dieta alta en grasa, después de la inoculación por tres semanas de una cepa específica de *Lactobacillus rhamnosus* PL60 (Lee *et al.*, 2006a). En

otro estudio, se detectó el isómero *c9, t11* en tejido de ratones y cerdos inoculados con *Bifidobacterium breve* NCIMB 702258 y suplementados con AL y aceite de girasol (Wall *et al.*, 2009). De manera similar, se detectaron los isómeros *c9, t11; t9, c11* y *t10, c12* en tejido de ratones inoculados con *Butyrivibrio fibrisolvens* y alimentados con una dieta rica en AL (Fukuda *et al.*, 2006).

Por otro lado, para incrementar aún más la concentración de ALC en el organismo, se inocularon cepas recombinantes de *Lactobacillus* que expresaban altas cantidades de linoleato-isomerasa, en ratones con dieta suplementada con AL. Se observó cuatro veces más cantidad del isómero *t10, c12* en tejido que cuando se utilizó una cepa no productora (Rosberg-Cody *et al.*, 2011). En estudios con humanos se detectó *Lactobacillus rhamnosus* PL60 (productor de ALC *in vitro* e *in vivo*) en heces después de una semana de ingesta y los isómeros *c9, t11* y *t10, c12* en suero después de 21 días de administración (Lee y Lee, 2009). En base a lo anterior, es evidente que es posible aumentar la disponibilidad de ALC en el organismo y, en particular, proporcionar los isómeros biológicamente más activos a través de la implantación de BAL específicas a nivel intestinal. Sin embargo, debido a que tanto la producción de ALC como la capacidad de implantación en el intestino son dependientes de la cepa, la búsqueda de nuevas cepas de BAL-ALC continúa siendo un área de estudio con gran potencial.

Se considera a la síntesis exógena como todos aquellos cambios o incrementos en el contenido de ALC que no ocurren a nivel fisiológico y que son producidos por las BAL en un medio de cultivo o en un alimento. Además, para fines de esta revisión se consideró a los isómeros *c9, t11* y *t10, c12* como los principales isómeros de AL sintetizados por las BAL. Se ha encontrado que BAL aisladas de distintos orígenes son capaces de sintetizar ALC bajo diferentes condiciones de fermentación (Owaga *et al.*, 2001; Ham *et al.*, 2002; Coakley *et al.*, 2003; Alonso *et al.*, 2003; Gorissen *et al.*, 2010). Sin embargo, también se ha

TABLA I
EFECTOS BIOLÓGICOS BENÉFICOS EN LA SALUD DE LOS ISÓMEROS DE ALC*

Efecto biológico	<i>c9, t11</i>	<i>t10, c12</i>	Referencias
Anti-cancerígeno	+	+	Bhattacharya <i>et al.</i> (2006), Park (2009), Churruca <i>et al.</i> (2009)
Disminución de la masa grasa	-	+	Bhattacharya <i>et al.</i> (2006), Park y Pariza (2007), Park (2009)
Anti-aterogénico	-	+	Kritchevsky <i>et al.</i> (2004), Park (2009)
Anti-diabetogénico	+	+	Ryder <i>et al.</i> (2001), Henriksen <i>et al.</i> (2003), Churruca <i>et al.</i> (2009)
Modulación del sistema inmune	+	+	Yamasaki <i>et al.</i> (2003), Bassaganya-Riera <i>et al.</i> (2003), O'Shea (2004)
Anti-inflamatorio	+	+	Changhua <i>et al.</i> (2005), Lai <i>et al.</i> (2005)

* Efecto significativo (+), sin efecto significativo (-).

TABLA II
PRODUCCIÓN DE ALC POR BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN MEDIO DE CULTIVO
FORTIFICADO CON UNA FUENTE DE AL

Género	Cantidad de ALC (mg·ml ⁻¹)	Referencias
<i>Propionibacterium</i>	1600	Rainio <i>et al.</i> (2001)
<i>Enterococcus, Pediococcus, Propionibacterium, Lactobacillus</i>	70-3410	Kishino <i>et al.</i> (2002)
<i>Lactobacillus</i>	300	Lee <i>et al.</i> (2003a)
<i>Lactobacillus</i>	175	Lee <i>et al.</i> (2003b)
<i>Bifidobacterium</i>	1-242,1	Coakley <i>et al.</i> (2003)
<i>Lactobacillus, Streptococcus, Pediococcus, Leuconostoc</i>	105,7-1135	Ando <i>et al.</i> (2003)
<i>Bifidobacterium</i>	577	Song <i>et al.</i> (2005)
<i>Propionibacterium</i>	78,8	Wang <i>et al.</i> (2007)
<i>Streptococcus, Lactobacillus, Bifidobacterium</i>	17-35,9	Nieuwenhove <i>et al.</i> (2007a)
<i>Lactobacillus</i>	17,4	Roman-Nunez <i>et al.</i> (2007)
<i>Lactobacillus</i>	623	Zeng <i>et al.</i> (2009)
<i>Lactobacillus</i>	108	Hernández-Mendoza <i>et al.</i> (2009)
<i>Bifidobacterium</i>	40,7-53,5	Gorissen <i>et al.</i> (2010)
<i>Lactobacillus</i>	141,8	Lui <i>et al.</i> (2011)
<i>Lactococcus, Bifidobacterium, Lactobacillus</i>	3,89-8,57	Rodríguez-Alcalá <i>et al.</i> (2011)
<i>Lactobacillus, Bifidobacterium, Streptococcus, Propionibacterium</i>	8-300	Hennessy <i>et al.</i> (2012)

reportado que no todas las BAL poseen esa capacidad, aunque pertenezcan al mismo género y especie, y que la producción de ALC es dependiente de la cepa (Kishino *et al.*, 2002).

Diferentes estudios han evaluado la capacidad productora de ALC de ciertas BAL en medio de cultivo suplementado con una fuente de AL como sustrato, bajo diferentes condiciones de temperatura, tiempos de incubación y pH (Tabla II; Lin *et al.*, 2003; Alonso *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2003 a, b; Song *et al.*, 2005; Roman-Núñez *et al.*, 2007; Hernández-Mendoza *et al.*, 2009; Lui *et al.*, 2011; Dubey *et al.*, 2012). Las BAL-ALC son más susceptibles o disminuyen su crecimiento celular por efecto del AL, lo que sustenta la hipótesis de que la isomerización del AL es un mecanismo de desintoxicación (Jenkins y Courtney, 2003).

Otros investigadores han reportado la capacidad de cepas de BAL para sintetizar ALC utilizando como medio de cultivo leche descremada suplementada con una fuente de AL (Tabla III).

En algunos estudios previamente reportados se ha fortificado leche con diferentes concentraciones de AL (Nieuwenhove *et al.*, 2007a; Pandit *et al.*, 2012), aceite de girasol (Kim y Lui, 2002; Puniya *et al.*, 2008, 2009; Salamon *et al.*, 2009; Rodríguez-Alcalá *et al.*, 2011) y aceites hidrolizados (Xu *et al.*, 2004; El-Salam *et al.*, 2010; Dubey *et al.*, 2012; Ye *et al.*, 2013). Se ha demostrado que la producción de ALC es mayor cuando el aceite es hidrolizado y que la grasa de leche produce mayor concentración de ALC que el aceite de soya (Xu *et al.*, 2004). Además, la suplementación con aceite hidrolizado favorece la concentración celular (El-Salam *et al.*, 2010).

Con la finalidad de incrementar la concentración de ALC se ha explorado el uso de co-cultivos y prebióticos en la leche. Una mezcla de microorganismos puede incrementar la producción de ALC en relación al uso de cultivos puros (Ye *et al.*, 2013). También, el uso de prebióticos con co-cultivos incrementa la producción de ALC (Oliveira *et al.*, 2009) y con cultivos puros mejora

significativamente la bioconversión de AL a ALC (Hennessy *et al.*, 2009). El uso de suplementos tales como extracto de levadura o caseína hidrolizada puede mejorar la bioconversión de AL a ALC en leche (Hennessy *et al.*, 2009), aunque el uso de aditivos como la sucrosa, lactosa, fructosa y cloruro de sodio pueden disminuir la concentración de ALC (Lin *et al.*, 2000).

La concentración de ALC en los productos lácteos fermentados está influenciada por la cantidad inicial de ALC en la leche, el tipo de procesamiento, las BAL utilizadas en la fermentación y los prebióticos (Prandini *et al.*, 2007; do Espírito Santo *et al.*, 2012). La variabilidad en la actividad enzimática de los cultivos iniciadores en los productos lácteos fermentados ha sido identificada como un factor que puede contribuir a las diferencias en el contenido de ALC (Sieber *et al.*, 2004) y se ha visto que cepas específicas pueden incrementar la producción en estos alimentos (Akalín *et al.*, 2007). Por lo anterior, los estudios se han enfocado en la búsqueda de nuevas cepas de BAL capaces de incrementar el contenido

TABLA III
PRODUCCIÓN DE ALC POR BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN LECHE CON ADICIÓN DE UN SUSTRATO DE AL

Género	Sustrato*	Concentración de ALC	Referencia
<i>Lactobacillus, Streptococcus, Leuconostoc</i>	LA	63-105,5mg·l ⁻¹	Lin <i>et al.</i> (1999)
<i>Lactobacillus</i>	LA	54,31-116,53mg·l ⁻¹	Alonso <i>et al.</i> (2003)
<i>Lactobacillus, Streptococcus, Bifidobacterium</i>	LA	90-198,6mg·l ⁻¹	Nieuwenhove <i>et al.</i> (2007a)
<i>Lactobacillus</i>	AG	2,73-11mg·l ⁻¹	Puniya <i>et al.</i> (2009)
<i>Lactobacillus, Propionibacterium, Leuconostoc</i>	ASL	4,52-21,6mg·l ⁻¹	El-Salam <i>et al.</i> (2010)
<i>Lactobacillus, Lactococcus, Bifidobacterium</i>	LA, AG	8,01-41,62mg·l ⁻¹	Rodríguez-Alcalá <i>et al.</i> (2011)
<i>Lactobacillus</i>	AG	5,67-10,53mg/g de grasa	Puniya <i>et al.</i> (2008)
<i>Lactobacillus</i>	AG	142,22-188,64mg/100g de grasa	Salamon <i>et al.</i> (2009)
<i>Lactobacillus, Propionibacterium, Enterococcus</i>	AS, ASH	0,42-1,64g/100g de ac. grasos	Xu <i>et al.</i> (2004)
<i>Pediococcus, Bifidobacterium, Lactobacillus, Lactococcus</i>	SN	0,43-0,87g/100g de ac. grasos	Pandit <i>et al.</i> (2012)

* AL: ácido linoleico, AG: aceite de girasol, ASL: aceite de sésamo lipolizado, AS: aceite de soya, ASH: aceite de soya hidrolizado, SN: sin sustrato.

de ALC en los productos lácteos fermentados (Tabla IV). Por el contrario, otro estudio reportó que el contenido de ALC en leche fermentada con cultivos iniciadores y probióticos no mostró cambios (Gorissen *et al.*, 2012), lo cual podría deberse a que la producción de ALC es dependiente de la cepa utilizada.

La fortificación con aceites (girasol y sésamo) y la fermentación con cultivos iniciadores y probióticos influyó la concentración de ALC en quesos (Nieuwenhove *et al.*, 2007b; El-Salam *et al.*, 2011; Lima Alves *et al.*, 2011). También se ha estudiado el efecto de diferentes aceites sobre la producción del ALC en crema fermentada con cultivos iniciadores y probióticos (Ekinci *et al.*, 2008; Domagala *et al.*, 2009). Sin embargo, cabe señalar que la síntesis de ALC a partir de aceites puede estar influenciada por la cantidad de AL que aporta y por la capacidad de las bacterias para sintetizar esterasas que hidrolizan el aceite y liberen al AL del triglicérido y dejarlo en su forma libre. Este último hecho implica un paso adicional en la síntesis de ALC por enzimas microbianas (Holland *et al.*, 2005; Rodríguez-Alcalá *et al.*, 2011).

Efectos Benéficos de BAL Productoras de ALC

Los efectos benéficos del ALC se han demostrado cuando éste se usa como suplemento obtenido químicamente y cuando es producido por BAL probióticas en el intestino de monogástricos. Entre los diferentes efectos benéficos de BAL-ALC probióticas en modelos animales se encuentran el efecto antiobesogénico (Lee *et al.*, 2006a, 2007; Lee y Lee, 2009) y el antiinflamatorio (Wall *et al.*, 2009). Se ha demostrado que ratones tratados por ocho semanas con una dieta alta en grasa (45%) e inoculados con *Lactobacillus rhamnosus* PL60, productor *in vitro* de los isómeros *c9*, *t11* y *t10*, disminuyeron su peso corporal sin disminuir la ingesta, lo que causó una disminución significativa del tejido

adiposo con respecto a los ratones alimentados solo con la dieta alta en grasa. Además, fue detectada la presencia del isómero *t10*, *c12* ($1,906\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) en suero en los ratones tratados con la BAL-ALC, lo que sugiere la participación del ALC como el principal mecanismo de acción (Lee *et al.*, 2006a).

Utilizando la misma cepa de BAL-ALC anteriormente enunciada, en un estudio con cuatro voluntarios que fueron alimentados con dieta habitual suplementada con 1g de liofilizado del microorganismo (10^{12} UFC/ml) por 21 días, pudo observarse que los niveles séricos de leptina disminuyeron, en comparación con el estado basal. Además, los niveles séricos del isómero *9c*, *t11* se encontraron en un intervalo de $1,69$ a $10,19\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ en estado basal, incrementando a niveles de $1,76$ - $23,31\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ después de los 21 días de tratamiento. Los niveles séricos del isómero *t10*, *c12* se presentaron en un intervalo de 0 a $2,68\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ e incrementaron a valores de $0,71$ a $3,42\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ después de 21 días de tratamiento, sugiriendo que tal efecto fue debido al ALC (Lee y Lee, 2009).

Por otro lado, *Lactobacillus plantarum* PL62, productor *in vitro* de los isómeros *c9*, *t11* y *t10*, *c12*, en combinación con una dieta alta en grasa (45%), disminuyó los niveles de glucosa total en sangre y triglicéridos, así como de tejido adiposo blanco epididimal, inguinal, mesentérico, perirenal y el peso de ratones bajo estudio, en comparación con los ratones alimentados solo con la dieta alta en grasa. Aunque en ese estudio no se evaluó la presencia de ALC, se asume que el efecto fue debido al ALC microbiano (Lee *et al.*, 2007).

Wall *et al.* (2009) reportaron para ratones inmunodeficientes, con colitis inducida, tratados por 10 semanas con AL y *Bifidobacterium breve* NCIMB 702258, productora del isómero *c9*, *t11*, que los niveles de TNF- α , IL-6 e interferón gamma (INF- γ) en esplenocitos de bazo no disminuyeron con respecto a los tratados con AL. Sin embargo,

encontraron 2,4 veces más cantidad del isómero *c9*, *t11* en tejido hepático y dos veces más cantidad en tejido del intestino grueso. Cabe señalar que los autores reportaron 2,4 veces más cantidad de ALC en heces en los ratones tratados con la BAL-ALC y AL con respecto a los tratados con solo AL. Lo anterior sugiere que posiblemente el efecto benéfico no se presentó debido a que el ALC no fue eficientemente absorbido. Por lo tanto es de suma importancia tomar en cuenta el lugar en donde se implantará la BAL-ALC, siendo deseable que se implante en el intestino delgado y no en el grueso.

Por otra parte, para cerdos tratados con esta misma bacteria y suplementados con aceite de girasol por 21 días, se encontró que los niveles de las citocinas IL-1 β , IL-8 e IL-12 disminuyeron, mientras que los niveles de IL-10 aumentaron y los niveles de INF- γ no presentaron cambios. Por lo anterior, los autores concluyeron que esta bacteria probiótica presentó un efecto antiinflamatorio. Además se detectó la incorporación del isómero *c9*, *t11* en los fosfolípidos de células de hígado en esos mismos cerdos, lo cual sugiere la participación del ALC como posible mecanismo de acción (Wall *et al.*, 2009).

También se han demostrado diferentes efectos benéficos de las BAL-ALC en líneas celulares, tales como el efecto anticarcinogénico (Kim *et al.*, 2002, Ochoa *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2006b; Rosberg-Cody *et al.*, 2007) y el antiinflamatorio (Ewaschuk *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2008; Hwang *et al.*, 2012).

Aunque algunos autores han demostrado que los cultivos iniciadores y bacterias probióticas pueden contribuir a incrementar el contenido de ALC en alimentos lácteos fermentados (Akalin *et al.*, 2007; Yadav *et al.*, 2007; Florence *et al.*, 2009), no se han reportado estudios en modelos *in vivo* que evalúen el efecto benéfico del ALC biogenerado por BAL a través de la ingesta de leche fermentada. Algunas investigaciones han mostrado que el consumo de leches fermentadas puede disminuir los niveles de colesterol LDL y aumentar el colesterol HDL, así como promover la actividad antioxidante en sangre, la cual está relacionada con un efecto protector contra el cáncer (Ebringer *et al.*, 2008). También se han demostrado los beneficios de las leches fermentadas tales como el efecto antimutagénico en líneas celulares (Guzel-Seymid *et al.*, 2006), la capacidad para inhibir el crecimiento de ciertos tipos de tumores en modelos animales (Perdigon

TABLA IV
PRODUCCIÓN DE ALC POR CO-CULTIVOS* ESPECÍFICOS
EN PRODUCTOS LÁCTEOS FERMENTADOS

Producto	Sustrato**	Aditivos	Concentración de ALC	Referencia
Dahi	SN		10,5mg/g de grasa	Yadav <i>et al.</i> (2007)
Yogurt	SN	Prebióticos	2,07-6,01mg/g de grasa	Akalin <i>et al.</i> (2007)
Yogurt	SN		1,18-1,85g/100g de grasa	Florence <i>et al.</i> (2009)
Yogurt	SN	Fibra	0,5-1,1g/100g de grasa	do Espíritu Santo <i>et al.</i> (2012)
Crema	SN		3,81-4,13mg/g de grasa	Domagala <i>et al.</i> (2009)
Queso	AG		4,9-6,9mg/g de grasa	Nieuwenhove <i>et al.</i> (2007b)
Queso	AS		0,76-0,86% del total de ác. grasos	El-Salam <i>et al.</i> (2011)

* Los co-cultivos son mezclas de bacterias que incluyen un cultivo iniciador y un probiótico.

** AG: aceite de girasol, AS: aceite de soya, SN: sin sustrato.

et al., 2002) y la mejora del sistema inmune (Vinderola et al., 2005a, b, 2006).

Un método eficiente para incrementar la ingesta de ALC en la dieta para humanos es aumentar la concentración de ALC en productos lácteos fermentados usando BAL con potencial para producirlo. Los probióticos pueden ofrecer la ventaja de producir ALC en lácteos fermentados, así como su producción a nivel intestinal una vez que estos microorganismos son implantados (Lee et al., 2007). Hasta donde es de nuestro conocimiento, no hay estudios que demuestren los efectos benéficos en la salud de las BAL-ALC utilizando lácteos fermentados como vehículo y su efecto biológico una vez implantadas en el intestino.

Conclusiones

Aunque se ha demostrado que la suplementación con ALC ejerce efectos benéficos en la salud, éste no se encuentra en cantidades suficientes en los alimentos para ejercer dichos efectos. Sin embargo, existen estrategias para incrementar la disponibilidad de este importante compuesto en el organismo por medio de su producción a través de la fermentación por BAL. Muchos de los esfuerzos se han enfocado en la búsqueda de nuevas cepas de BAL-ALC y las diferentes condiciones que potencian su producción, ya sea de manera exógena (en medio de cultivo, leche o producto lácteo fermentado) o de manera endógena (en el intestino). Además se han estudiado los efectos benéficos que estas BAL probióticas ejercen tras su ingesta. Sin embargo, son muy pocos los estudios en los cuales se haya reportado la capacidad productora de ALC de BAL en productos lácteos fermentados, y no se encontraron estudios que evalúen el efecto benéfico de ALC en la salud utilizando un alimento lácteo fermentado como vehículo. El uso de BAL-ALC probióticas en productos lácteos fermentados podría proporcionar una doble fuente de ALC, por su producción exógena en el alimento y por su producción endógena a nivel intestinal una vez consumido el alimento. Por lo anterior, sería de importancia estudiar el efecto benéfico en la salud de productos lácteos fermentados como vehículo de BAL-ALC en modelos *in vivo*.

REFERENCIAS

- Akalın AS, Tokuşoğlu Ö, Gönc S, Aycan Ş (2007) Occurrence of conjugated linoleic acid in probiotic yoghurts supplemented with fructooligosaccharide. *Int. Dairy J.* 17: 1089-1095.
- Alonso L, Cuesta EP, Gilliland SE (2003) Production of free conjugated linoleic acid by *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* of human intestinal origin. *J. Dairy Sci.* 86: 1941-1946.
- Ando A, Ogawa J, Kishino S, Shimizu S (2003) CLA production from ricinoleic acid by lactic acid bacteria. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 80: 889-894.
- Andrade JC, Ascencao K, Gullon P, Henriques SMS, Pinto JMS, Rocha-Santos TAP, Freitas AC, Gomes AM (2012) Production of conjugated linoleic acid by food-grade bacteria: A review. *Int. J. Dairy Technol.* 65: 467-481.
- Baddini Feitoza A, Fernandes Pereira A, Ferreira da Costa N, Gonçalves Ribeiro B (2009) Conjugated linoleic acid (CLA) effect modulation of body composition and lipid profile. *Nutr. Hosp.* 24: 422-428.
- Bassaganya-Riera J, Pogranichniy RM, Jobgen SC, Halbur P G, Yoon KJ, O'Shea M, Mohede I, Hontecillas R (2003) Conjugated linoleic acid ameliorates viral infectivity in a pig model of virally induced immunosuppression. *J. Nutr.* 133: 3204-3214.
- Bhattacharya A, Banu J, Rahman M, Causey J, Fernandes G (2006) Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *J. Nutr. Biochem.* 17: 789-810.
- Blasi F, Dominici L, Moretti M, Villarini M, Maurelli S, Simonetti MS, Damiani P, Cossignani L (2012) In vitro genotoxicity/antigenotoxicity testing of some conjugated linoleic acid isomers using comet assay. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 114: 1016-1024.
- Changhua L, Jindong Y, Defa L, Lidan Z, Shiyang Q, Jianjun X (2005) Conjugated linoleic acid attenuates the production and gene expression of proinflammatory cytokines in weaned pigs challenged with lipopolysaccharide. *J. Nutr.* 135: 239-244.
- Chin SF, Liu W, Storkson JM, Ha YL, Pariza MW (1992) Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *J. Food Comp. Anal.* 5: 185-197.
- Churrua I, Fernandez-Quintela A, Portillo MP (2009) Conjugated linoleic acid isomers: differences in metabolism and biological effects. *Biofactors* 35: 105-111.
- Coakley M, Ross RP, Nordgren M, Fitzgerald G, Devery R, Stanton C (2003) Conjugated linoleic acid biosynthesis by human-derived *Bifidobacterium* species. *J. Appl. Microbiol.* 94: 138-145.
- Conte-Junior CA, Soncin S, Hierro PE, Fernández AM (2007) Estudio de la producción de ácido linoleico conjugado por cepas de *Lactobacillus* y *Enterococcus* de distintos orígenes. *RCCV I*: 482-489.
- Domagała, M. Sady, D. Najgebauer-Lejko, M. Czernicka, Wieteska (2009) The content of conjugated linoleic acid (cla) in cream fermented using different starter cultures. *Biotechnol. Anim. Husb.* 25: 745-751.
- doEspírito Santo AP, Cartolano NS, Silva TF, Soares FA, Gioielli LA, Perego P, Converti A, Oliveira MN (2012) Fibers from fruit by-products enhance probiotic viability and fatty acid profile and increase CLA content in yoghurts. *Int. J. Food Microbiol.* 154: 135-144.
- Dubey V, Ghosh AR, Mandal BK (2012) Appraisal of conjugated linoleic acid production by probiotic potential of *Pediococcus* spp. GS4. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 168: 1265-1276.
- Ebringer L, Ferencik M, Krajcovic J (2008) Beneficial health effects of milk and fermented dairy products Review. *Folia Microbiol.* 53: 378-394.
- Ekinci FY, Okur OD, Ertekin B, Guzel-Seydim Z (2008) Effects of probiotic bacteria and oils on fatty acid profiles of cultured cream. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 110: 216-224.
- El-Salam MH, El-Shafei K, Sharaf OM, Effat BA, Asem FM, El-Aasar M (2010) Screening of some potentially probiotic lactic acid bacteria for their ability to synthesize conjugated linoleic acid. *Int. J. Dairy Technol.* 63: 62-69.
- El-Salam MH, Hippen AR, Assem FM, El-Shafei K, Tawfik NF, El-Aassar M (2011) Preparation and properties of probiotic cheese high in conjugated linoleic acid content. *Int. J. Dairy Technol.* 64: 64-74.
- Ewaschuk JB, Walker JW, Diaz H, Madsen KL (2006) Bioproduction of conjugated linoleic acid by probiotic bacteria occurs *in vitro* and *in vivo* in mice. *J. Nutr.* 136: 1483-1487.
- Fukuda S, Suzuki Y, Murai M, Asanuma N, Hino T (2006) Isolation of a novel strain of *Butyrivibrio fibrisolvens* that isomerizes linoleic acid to conjugated linoleic acid without hydrogenation, and its utilization as a probiotic for animals. *J. Appl. Microbiol.* 100: 787-794.
- Florence A, Silva R, Santo A, Gioielli L, Tamime A, Oliveira M (2009) Increased CLA content in organic milk fermented by bifidobacteria or yoghurt cultures. *Dairy Sci. Technol.* 89: 541-553.
- Gagliostro GA (2005) Control nutricional del contenido de ácido linoleico conjugado (cla) en leche y su presencia en alimentos naturales funcionales. *Rev. Agr. Prod. Anim.* 24: 137-163.
- Gaullier J-M, Berven G, Blankson H, Gudmundsen O (2002) Clinical trial results support a preference for using CLA preparations enriched with two isomers rather than four isomers in human studies. *Lipids* 37: 1019-1025.
- Gorissen L, Raes K, Weckx S, Dannenberger D, Leroy F, De Vuyst L, De Smet S (2010) Production of conjugated linoleic acid and conjugated linolenic acid isomers by *Bifidobacterium* species. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 87: 2257-2266.
- Gorissen L, De Vuyst L, Raes K, De Smet S, Leroy F (2012) Conjugated linoleic and linolenic acid production kinetics by bifidobacteria differ among strains. *Int. J. Food Microbiol.* 155: 234-240.
- Guzel-Seydim ZB, Seydim AC, Greene AK, Tas T (2006) Determination of antimutagenic properties of acetone extracted fermented milks and changes in their total fatty acid profiles including conjugated linoleic acids. *Int. J. Dairy Technol.* 59: 209-215.
- Ham JS, In YM, Jeong SG, Kim JG, Lee EH, Kim HS, Yoon SK, Lee BH (2002) Screening of conjugated linoleic acid producing lactic acid bacteria from fecal samples of healthy babies. *Asian Austr. J. Anim.* 15: 1031-1035.
- Hennessy AA, Ross RP, Devery R, Stanton C (2009) Optimization of a reconstituted skim milk based medium for enhanced CLA production by bifidobacteria. *J. Appl. Microbiol.* 106: 1315-1327.
- Hennessy AA, Barrett E, Paul Ross R, Fitzgerald GF, Devery R, Stanton C (2012) The production of conjugated alpha-linolenic, gamma-linolenic and stearidonic acids by strains of

- bifidobacteria and propionibacteria. *Lipids* 47: 313-327.
- Henriksen EJ, Teachey MK, Taylor ZC, Jacob S, Ptock A, Kramer K, Hasselwander O (2003) Isomer-specific actions of conjugated linoleic acid on muscle glucose transport in the obese Zucker rat. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 285: 98-105.
- Hernandez-Mendoza A, Lopez-Hernandez A, Hill CG, Garcia HS (2009) Bioconversion of linoleic acid to conjugated linoleic acid by *Lactobacillus reuteri* under different growth conditions. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 84: 180-185.
- Holland R, Liu SQ, Crow VL, Delabre ML, Lubbers M, Bennett M, Norris G (2005) Esterases of lactic acid bacteria and cheese flavour: Milk fat hydrolysis, alcoholysis and esterification. *Int. Dairy J.* 15: 711-718.
- Hwang SW, Kim N, Kim JM, Huh CS, Ahn YT, Park SH, Shin CM, Park JH, Lee MK, Nam RH, Lee HS, Kim JS, Jung HC, Song IS (2012) Probiotic suppression of the *H. pylori*-induced responses by conjugated linoleic acids in a gastric epithelial cell line. *Prostag. Leukot. Ess.* 86: 225-231.
- Jenkins JK, Courtney PD (2003) *Lactobacillus* growth and membrane composition in the presence of linoleic or conjugated linoleic acid. *Can. J. Microbiol.* 49: 51-57.
- Kim YJ, Liu RH (2002) Increase of Conjugated Linoleic Acid Content in Milk by Fermentation with Lactic Acid Bacteria. *J. Food Sci.* 67: 1731-1737.
- Kim EJ, Holthuizen PE, Park HS, Ha YL, Jung KC, Park JH (2002) Trans-10,cis-12-conjugated linoleic acid inhibits Caco-2 colon cancer cell growth. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver. Physiol.* 283: G357-367.
- Kim JM, Kim JS, Kim YJ, Oh YK, Kim IY, Chee YJ, Han JS, Jung HC (2008) Conjugated linoleic acids produced by *Lactobacillus* dissociates IKK- γ and Hsp90 complex in *Helicobacter pylori*-infected gastric epithelial cells. *Lab. Invest.* 88: 541-552.
- Kishino S, Ogawa J, Omura Y, Matsumura K, Shimizu S (2002) Conjugated linoleic acid production from linoleic acid by lactic acid bacteria. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 79: 159-163.
- Kritchevsky D, Tepper S, Wright S, Czarnecki S, Wilson T, Nicolosi R (2004) Conjugated linoleic acid isomer effects in atherosclerosis: Growth and regression of lesions. *Lipids* 39: 611-616.
- Lai C, Yin J, Li D, Zhao L, Chen X (2005) Effects of dietary conjugated linoleic acid supplementation on performance and immune function of weaned pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 59: 41-51.
- Lee SO, Hong GW, Oh DK (2003a) Bioconversion of linoleic acid into conjugated linoleic acid by immobilized *Lactobacillus reuteri*. *Biotechnol. Prog.* 19: 1081-1084.
- Lee SO, Kim CS, Cho SK, Choi HJ, Ji GE, Oh DK (2003b) Bioconversion of linoleic acid into conjugated linoleic acid during fermentation and by washed cells of *Lactobacillus reuteri*. *Biotechnol. Lett.* 25: 935-938.
- Lee HY, Park JH, Seok SH, Baek MW, Kim DJ, Lee KE, Paek KS, Lee Y (2006a) Human originated bacteria, *Lactobacillus rhamnosus* PL60, produce conjugated linoleic acid and show anti-obesity effects in diet-induced obese mice. *Biochim. Biophys. Acta* 1761: 736-744.
- Lee SH, Yamaguchi K, Kim JS, Eling TE, Safe S, Park Y, Baek SJ (2006b) Conjugated linoleic acid stimulates an anti-tumorigenic protein NAG-1 in an isomer specific manner. *Carcinogenesis* 27: 972-981.
- Lee K, Paek K, Lee HY, Park JH, Lee Y (2007): Antiobesity effect of trans-10,cis-12-conjugated linoleic acid-producing *Lactobacillus plantarum* PL62 on diet-induced obese mice. *J. Appl. Microbiol.* 103: 1140-1146.
- Lee K, Lee Y (2009) Production of c9,t11- and t10,c12-conjugated linoleic acids in humans by *Lactobacillus rhamnosus* PL60. *J. Microbiol. Biotechnol.* 19: 1617-1619.
- Lima Alves L, Santos Richards N, Mariutti L, Nogueira G, Bragagnolo N (2011) Inulin and probiotic concentration effects on fatty and linoleic conjugated acids in cream cheeses. *Eur. Food. Res. Technol.* 233: 667-675.
- Lin TY (2000) Conjugated linoleic acid concentration as affected by lactic cultures and additives. *Food Chem.* 69: 27-31.
- Lin TY, Lin C-W, Lee C-H (1999) Conjugated linoleic acid concentration as affected by lactic cultures and added linoleic acid. *Food Chem.* 67: 1-5.
- Lin TY, Lin CW, Wang YJ (2003) Production of conjugated linoleic acid by enzyme extract of *Lactobacillus acidophilus* CCRC 14079. *Food Chem.* 83: 27-31.
- Liu P, Shen SR, Ruan H, Zhou Q, Ma LL, He GQ (2011) Production of conjugated linoleic acids by *Lactobacillus plantarum* strains isolated from naturally fermented Chinese pickles. *J. Zhejiang Univ. Sci. B12:* 923-930.
- McIntosh FM, Shingfield KJ, Devillard E, Russell WR, Wallace RJ (2009) Mechanism of conjugated linoleic acid and vaccenic acid formation in human faecal suspensions and pure cultures of intestinal bacteria. *Microbiology* 155: 285-294.
- Nieuwenhove CP, Oliszewski R, Gonzalez SN, Perez Chaia AB (2007a) Conjugated linoleic acid conversion by dairy bacteria cultured in MRS broth and buffalo milk. *Lett. Appl. Microbiol.* 44: 467-474.
- Nieuwenhove CP, Oliszewski R, González SN, Pérez Chaia AB (2007b) Influence of bacteria used as adjunct culture and sunflower oil addition on conjugated linoleic acid content in buffalo cheese. *Food Res. Int.* 40: 559-564.
- Obregón RAM, Valenzuela BA (2009) Acido linoleico conjugado (alc), metabolismo de lípidos y enfermedad cardiovascular. *Rev. Chil. Nutr.* 36: 258-268.
- Ochoa JJ, Farquharson AJ, Grant I, Moffat LE, Heys SD, Wahle KW (2004) Conjugated linoleic acids (CLAs) decrease prostate cancer cell proliferation: different molecular mechanisms for cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 isomers. *Carcinogenesis* 25: 1185-1191.
- Ogawa J, Matsumura K, Kishino S, Omura Y, Shimizu S (2001) Conjugated linoleic acid accumulation via 10-hydroxy-12-octadecanoic acid during microaerobic transformation of linoleic acid by *Lactobacillus acidophilus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 1246-1252.
- Ogawa J, Kishino S, Ando A, Sugimoto S, Mihara K, Shimizu S (2005) Production of conjugated fatty acids by lactic acid bacteria. *J. Biosci. Bioeng.* 100: 355-364.
- Oh DK, Hong GH, Lee Y, Min S, Sin HS, Cho S (2003) Production of conjugated linoleic acid by isolated Bifidobacterium strains. *World. J. Microb. Biotechnol.* 19: 907-912.
- Oliveira RP, Florence AC, Silva RC, Perego P, Converti A, Gioielli LA, Oliveira MN (2009) Effect of different prebiotics on the fermentation kinetics, probiotic survival and fatty acids profiles in nonfat symbiotic fermented milk. *Int. J. Food Microbiol.* 128: 467-472.
- O'Shea M, Bassaganya-Riera J, Mohede IC (2004) Immunomodulatory properties of conjugated linoleic acid. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 1199-1206.
- Pandit A, Anand S, Kalscheur K, Hassan A (2012) Production of conjugated linoleic acid by lactic acid bacteria in milk without any additional substrate. *Int. J. Dairy Technol.* 65: 603-608.
- Park Y (2009) Conjugated linoleic acid (CLA) Good or bad trans fat? *J. Food Comp. Anal.* 22: 4-12.
- Park Y, Pariza MW (2007) Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid (CLA). *Food Res. Int.* 40: 311-323.
- Perdigon G, de Moreno de LeBlanc A, Valdez J, Rachid M (2002) Role of yoghurt in the prevention of colon cancer. *Eur. J. Clin. Nutr.* 56: 65-68.
- Prandini A, Sigolo S, Tansini G, Brogna N, Piva G (2007) Different level of conjugated linoleic acid (CLA) in dairy products from Italy. *J. Food Comp. Anal.* 20: 472-479.
- Puniya AK, Chaitanya S, Tyagi AK, De S, Singh K (2008) Conjugated linoleic acid producing potential of lactobacilli isolated from the rumen of cattle. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35: 1223-1228.
- Puniya A, Reddy C, Kumar S, Singh K (2009) Influence of sunflower oil on conjugated linoleic acid production by *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *Ann. Microbiol.* 59: 505-507.
- Rainio A, Vahvaselka M, Suomalainen T, Laakso S (2001) Reduction of linoleic acid inhibition in production of conjugated linoleic acid by *Propionibacterium freudenreichii* ssp. *shermanii*. *Can. J. Microbiol.* 47: 735-740.
- Ritzenthaler KL, McGuire MK, Falen R, Shultz TD, Dasgupta N, McGuire MA (2001) Estimation of conjugated linoleic acid intake by written dietary assessment methodologies underestimates actual intake evaluated by food duplicate methodology. *J. Nutr.* 131: 1548-1554.
- Rocha-Urbe A, Hernández E (2004) Síntesis de ácido linoleico conjugado por isomerización alcalina usando propilenglicol como solvente. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 3: 193-200.
- Rodríguez-Alcalá LM, Braga T, Xavier Malcata F, Gomes A, Fontecha J (2011) Quantitative and qualitative determination of CLA produced by *Bifidobacterium* and lactic acid bacteria by combining spectrophotometric and Ag+-HPLC techniques. *Food Chem.* 125: 1373-1378.
- Roman-Núñez M, Cuesta-Alonso EP, Gilliland SE (2007) Influence of sodium glycocholate on production of conjugated linoleic acid by cells of *Lactobacillus reuteri* ATCC 55739. *J. Food Sci.* 72: M140-143.
- Rosberg-Cody E, Johnson MC, Fitzgerald GF, Ross PR, Stanton C (2007) Heterologous expression of linoleic acid isomerase from

- Propionibacterium acnes* and anti-proliferative activity of recombinant trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid. *Microbiology* 153: 2483-2490.
- Rosberg-Cody E, Stanton C, O'Mahony L, Wall R, Shanahan F, Quigley EM, Fitzgerald GF, Ross RP (2011) Recombinant lactobacilli expressing linoleic acid isomerase can modulate the fatty acid composition of host adipose tissue in mice. *Microbiology* 157: 609-615.
- Ryder JW, Portocarrero CP, Song XM, Cui L, Yu M, Combatsiaris T, Galuska D, Bauman DE, Barbano DM, Charron MJ, Zierath JR, Houseknecht KL (2001) Isomer-specific anti-diabetic properties of conjugated linoleic acid. Improved glucose tolerance, skeletal muscle insulin action, and UCP-2 gene expression. *Diabetes* 50: 1149-1157.
- Salamon RV, Lóki K, Varga-Visi É, Mándoki Z, Csapó J (2009) Increase of conjugated linoleic acid content of dairy products by adding sunflower oil. *Acta Univ. Sapient. Alim.* 2: 287-293.
- Sieber R, Collomb M, Aeschlimann A, Jelen P, Eyer H (2004) Impact of microbial cultures on conjugated linoleic acid in dairy products - a review. *Int. Dairy J.* 14: 1-15.
- Song YS, Kang SW, Oh DK, Rho YT, Hong SI, Kim SW (2005) Bioconversion of linoleic acid to conjugated linoleic acid by *Bifidobacterium breve*. *Biotechnol. Bioproc. E.* 10: 357-361.
- Soto-Rodríguez I, Pulido-Camarillo E, Hernández-Díaz G, Alexander-Aguilera A, García HS (2011) A CLA enriched diet improves organ damage associated with the metabolic syndrome in spontaneous hypertensive rats. *Grasas Aceites* 62: 49-54.
- Vinderola CG, Duarte J, Thangavel D, Perdigon G, Farnworth E, Matar C (2005a) Immunomodulating capacity of kefir. *J. Dairy Res.* 72: 195-202.
- Vinderola CG, Duarte J, Thangavel D, Perdigon G, Farnworth E, Matar C (2005b) Distal mucosal site stimulation by kefir and duration of the immune response. *Eur. J. Rheumatol. Inflamm.* 3: 63-73.
- Vinderola CG, Perdigon G, Duarte J, Thangavel D, Farnworth E, Matar C (2006) Effects of kefir fractions on innate immunity. *Immunobiology* 211: 341-350.
- Wall R, Ross RP, Shanahan F, O'Mahony L, O'Mahony C, Coakley M, Hart O, Lawlor P, Quigley EM, Kiely B, Fitzgerald GF, Stanton C (2009) Metabolic activity of the enteric microbiota influences the fatty acid composition of murine and porcine liver and adipose tissues. *Am. J. Clin. Nutr.* 89: 1393-1401.
- Wang LM, Lv JP, Chu ZQ, Cui YY, Ren XH (2007) Production of conjugated linoleic acid by *Propionibacterium freudenreichii*. *Food Chem.* 103: 313-318.
- Xu S, Boylston T, Glatz B (2004) Effect of lipid source on probiotic bacteria and conjugated linoleic acid formation in milk model systems. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 81: 589-595.
- Yadav H, Jain S, Sinha PR (2007) Production of free fatty acids and conjugated linoleic acid in probiotic dahi containing *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* during fermentation and storage. *Int. Dairy J.* 17: 1006-1010.
- Yamasaki M, Chujo H, Hirao A, Koyanagi N, Okamoto T, Tojo N, Oishi A, Iwata T, Yamauchi-Sato Y, Yamamoto T, Tsutsumi K, Tachibana H, Yamada K (2003) Immunoglobulin and cytokine production from spleen lymphocytes is modulated in C57BL/6J mice by dietary cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid. *J. Nutr.* 133: 784-788.
- Ye S, Yu T, Yang H, Li L, Wang H, Xiao S, Wang J (2013) Optimal culture conditions for producing conjugated linoleic acid in skim-milk by co-culture of different *Lactobacillus* strains. *Ann. Microbiol.* 63: 707-717.
- Zeng Z, Lin J, Gong D (2009) Identification of lactic acid bacterial strains with high conjugated linoleic acid-producing ability from natural sauerkraut fermentations. *J. Food Sci.* 74: M154-158.

PRODUCTION OF CONJUGATED LINOLEIC ACID (CLA) BY LACTIC ACID BACTERIA (LAB) AND THEIR BENEFICIAL HEALTH EFFECT

Jesús Sosa-Castañeda, Adrián Hernández-Mendoza, Aarón Fernando González-Córdova and Belinda Vallejo-Cordoba

SUMMARY

The conjugated linoleic acid (CLA) is a bioactive lipid found in natural form, mainly in food derived from ruminants. It has been demonstrated that supplementing the diet with CLA leads to positive health effects in a large variety of in vivo models; however, it is not found in food in sufficient amounts. Thus, some strategies have been proposed to increase the availability of CLA in the organism through biotechnological processes. One of such strategies has been the use in food of lactic acid

bacteria (LAB) that produce CLA (CLA-LAB). Another one has been the intake of LAB that, due to their particular characteristics, produce CLA once they have been implanted in the gut. A review is presented of research carried out on the endogenous production of CLA in the gut of monogastric organisms, and on the exogenous production in fermented dairy foods. Also, the potential of CLA to promote beneficial effects on human health is presented.

PRODUÇÃO DE ÁCIDO LINOLÉICO CONJUGADO (ALC) POR BACTÉRIAS ÁCIDO-LÁCTICAS (BAL) E SEU EFEITO BENÉFICO PARA A SAÚDE

Jesús Sosa-Castañeda, Adrián Hernández-Mendoza, Aarón Fernando González-Córdova e Belinda Vallejo-Cordoba

RESUMO

O ácido linoléico conjugado (ALC) é um lipídio bioativo que se encontra de forma natural principalmente em alimentos derivados de ruminantes. Tem se demonstrado que a suplementação com ALC exerce efeitos positivos na saúde em uma ampla variedade de modelos in vivo; no entanto, este não se encontra em quantidades suficientes nos alimentos. Por isto se propõem estratégias para incrementar a disponibilidade de ALC no organismo por meio de processos biotecnológicos. Uma de estas estratégias

tem sido o emprego nos alimentos de bactérias ácido-lácticas (BAL) produtoras de ALC (BAL-ALC). Outra tem sido a ingestão de BAL que, por suas características particulares, uma vez implantadas no intestino, produzem ALC. Apresenta-se uma revisão das investigações realizadas sobre a produção endógena de ALC a nível intestinal em organismos monogástricos e, exógena em alimentos lácteos fermentados. Além disso, se apresenta o potencial do ALC para promover efeitos benéficos na saúde humana.