

**ESNEA2. Oportunidades y limitaciones para la
transición hacia la producción de leche A2 en
vacuno lechero**

Esneki Zentroa – Leartiker & Neiker

Markina-Xemein, 31 de enero de 2024

ESNEA2 ha sido un proyecto financiado por la convocatoria Berriker 2022 del Gobierno Vasco de una duración de 13 meses que ha liderado Leartiker SCOOP con Neiker como socios de proyecto. El objetivo principal del proyecto era adquirir y difundir al sector vacuno lechero nuevos conocimientos sobre las oportunidades y limitaciones de producir y transformar lácteos A2 con respecto a lácteos A1.

Resultados del proyecto ESNEA2

Para lograrlo, se propusieron dos Acciones técnicas principales, la primera de ellas liderada por Neiker y llamada *EVALUACIÓN DE LA TRANSICIÓN DE A1 A A2 EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL*. Esta acción estuvo dividida a su vez en 3 tareas que dieron lugar a los siguientes resultados:

Tarea 2.1. Evaluar diferencias de producción de leche A1 vs A2.

Partiendo de los datos de control lechero de la CAPV desde enero de 2017 hasta junio de 2023, se valoró el efecto del genotipo de la proteína láctea β -caseína (A1 vs A2) sobre la producción de leche. En total se han considerado 174.405 datos del día de control (habiendo 3976 datos en 2017 y 38114 en 2022) de 8.985 animales distribuidos por 78 ganaderías, con una media de 117 animales por ganadería. Se ha observado un incremento en el nº de animales A2A2 con el paso del tiempo en comparación al genotipo A1A2 y A1A1, el cual está disminuyendo progresivamente. Es decir, la cabaña ganadera de Euskadi se está transformando en productora de leche A2.



Figura 1: Evolución del porcentaje de animales nacidos para cada genotipo de β -caseína de animales en control lechero entre 2017 y 2023.

La producción media de leche en las fechas analizadas fue de 34,3 kg al día (mínima de 4 y máxima de 84 kg/día).

Los resultados estadísticos de los datos mostraron que la producción de leche (kg/día) así como el % de grasa y proteína total en la leche no está determinada por el genotipo para la proteína láctea β -caseína. Por lo tanto, ninguno de los genotipos para β -caseína está asociado a animales más o menos productores (en kg/día de leche, ni en % de proteína total o de grasa total). En cuanto al efecto de las otras proteínas lácteas, el genotipo para κ -caseína y beta-lactoglobulina tampoco fueron biológicamente relevantes en la producción láctea ni en la composición de macronutrientes de la leche.

Sin embargo, la producción de leche resulta ser mayor en función de la edad y el número de parto del animal (ED-NP), siendo un 10 % mayor la producción en vacas de dos años y dos partos en comparación con las de dos años y un parto (categoría 2 vs 3); mientras que las vacas de más de tres años producen un 24 % más que las vacas de un año (categoría 1 vs 5). Como efecto de los días en leche (DIM), a lo largo de los primeros 160 días no se aprecian diferencias, mientras que la producción se reduce un 9 % hasta los 250 días y un 24 % a partir de ahí.

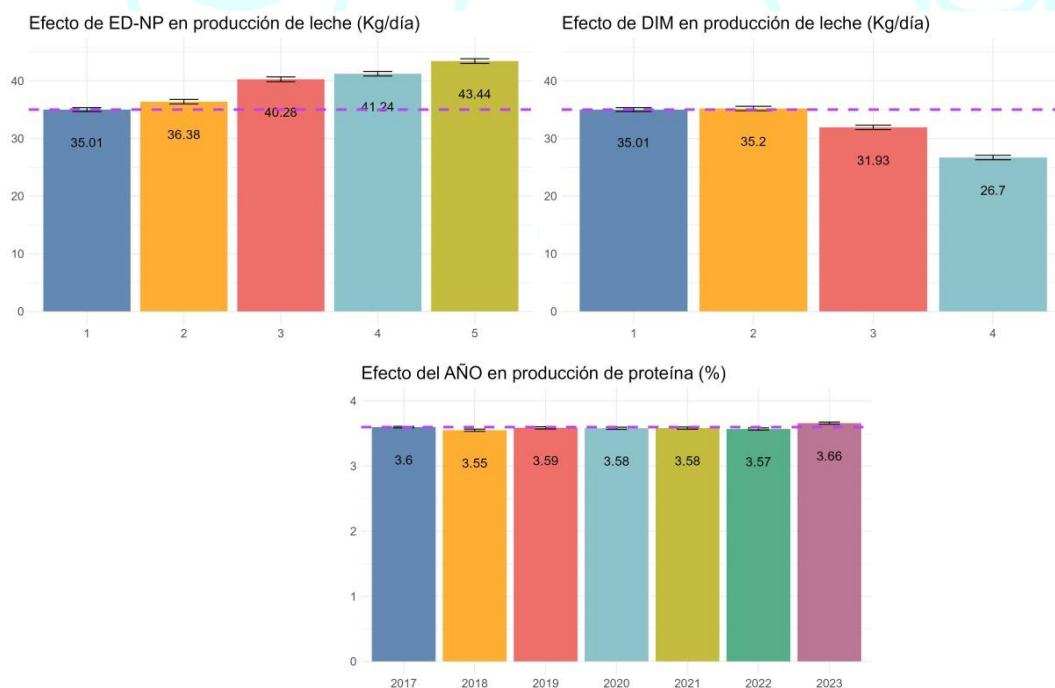


Figura 2: Efecto estimado sobre la producción de leche (kg/día) de la variable edad-número de parto (ED-NP, categoría 1: 1 año y 1 parto, categoría 2: 2 años y 1 parto, categoría 3: 2 años y 2 parto, categoría 4: 3 años y 2 partos, categoría 5: 3/+ años y 3/+ partos); días en leche (DIM, categoría 1: 5-81 días, categoría 2: 81-163 días, categoría 3: 163+-254 días, categoría 4: 254-1234 días); y año de control.

Llevando estos resultados a la práctica, se valoraron los resultados de cuatro explotaciones que han tomado parte en el proyecto ESNEA2 donde se vieron replicados los resultados anteriores. Estas explotaciones tienen un número de animales y formato de comercialización diferente, lo cual hace que sus objetivos y estrategias de selección de animales sean diferentes como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de las ganaderías participantes en el proyecto.

	#1	#2	#3	#4
Nº animales	665	88	18 (14 ¹)	53
Producto (%)	Leche (100 %)	Leche (90%) Yogur y leche pasteurizada (10%)	Leche (20%) Yogur, queso, helado (80%)	Leche pasteurizada (100 %)
Comercialización:				
· Venta a central	100 %	90 %	20%	
· Venta directa		10 %	80%	100 %
Genotipado	Sí	Sí	No	Sí

1. Número de vacas mestizas.

De las 4 explotaciones, únicamente 3 tienen genotipados sus rebaños, viéndose un incremento en los animales A2A2 con respecto a los A1A2 y A1A1 en los últimos 6 años. Actualmente, entre los animales vivos en cada explotación el mayor porcentaje corresponde al genotipo A2A2 (75 % en #1, 53 % en #2 y 61 % en #3). Como se puede ver en la tabla 2, no hay novillas A1A1 y entre los animales jóvenes el genotipo A2A2 es más frecuente que entre las vacas.

Tabla 2: Porcentaje por genotipo de animales presentes en las explotaciones piloto.

Explotación		%		
		A1A1	A1A2	A2A2
#1	Novillas		14,6	85,4
	Vacas	2,6	29,7	67,7
#2	Novillas		36,7	63,3
	Vacas	12,2	42,7	45,1
#3	Novillas		30,4	69,6
	Vacas	5,0	42,5	52,5

Tarea 2.2. Establecimiento de protocolo para la transición de A1 a A2 en condiciones piloto

En el proyecto se han llevado a cabo unas encuestas a los ganaderos de las explotaciones participantes que permitieron conocer cuáles eran sus intereses y objetivos con respecto a la leche A2. Los resultados fueron:

- Hace más de cinco años que se conoce la leche A2 y se viene trabajando para que los animales presentes en la explotación tengan el genotipo A2A2.
- La principal herramienta de la transformación ganadera es el uso de toros A2A2 de raza Holstein en las inseminaciones.
- Esta estrategia está siendo efectiva en orientar la selección hacia un mayor número de animales A2A2.
- Se manifestó interés en orientar la reposición en esta dirección como un valor añadido de su producto, siendo además una estrategia a futuro en el caso de que hubiera demanda de leche A2 en el mercado.
- Como se trata de un objetivo sin un plazo establecido y carente de una demanda clara y estudios de mercado, la selección no está siendo suficientemente intensa como para tener única y exclusivamente animales A2A2, de modo que se mantienen en producción animales A1A2 o incluso en algún caso A1A1 por diferentes motivos (nivel de producción, longevidad o tipo, entre otros).

De esta forma, manteniendo estas medidas se obtiene un aumento gradual de los animales con genotipo A2A2, proceso que se podría acelerar tomando todas o algunas de las siguientes medidas:

- Genotipar toda la reposición es imprescindible para tomar decisiones de selección más informadas.
- Utilizar en las inseminaciones dosis de machos con genotipo A2A2, como ya se viene haciendo.
- Únicamente dejar reposición de los animales A2A2, que al inseminar con toros A2A2 en el 100 % de los casos el producto será A2A2.
- En el caso de vacas A1A2 para β -caseína, si su genotipo para κ -caseína es EE, aunque el toro sea A2A2 es muy probable que el producto sea A1A2. Por lo que no se recomienda dejar reposición de estos animales.

- Adelantar el desvieje del resto de genotipos en el caso de querer acelerar la producción de leche A2.

En cuanto a la disponibilidad de machos para inseminación de raza Holstein con genotipo A2A2 se ha podido comprobar que las diferentes empresas que comercializan dosis tienen una amplia oferta de estos animales. En concreto, ABEREKIN dispone de 131 machos A2A2 entre las opciones que oferta, de entre 216 animales (el 61 % del total). Se describe la disponibilidad de estos animales en base al catálogo de diferentes empresas nacionales e internacionales en la tabla 3, donde se puede ver que el porcentaje de machos A2A2 va desde el 50 al 90 %. Por tanto, no habría dificultades en utilizar únicamente animales con este genotipo sean cuales sean los otros criterios de selección de la explotación, sin detrimento del nivel de consanguinidad de la explotación.

Tabla 3: Disponibilidad de machos A2A2 en base a catálogo de diferentes empresas.

Empresa	Origen	Toros A2A2 (%)
1	España	89
2	España	68
3	España	48
4	Países Bajos	96
5	Estados Unidos	66
6	Canadá	51
7	Australia	68

Además, se ha podido confirmar que el genotipo de los machos A2A2 está relacionado con valores genéticos similares o mejores para caracteres de producción (Jiménez-Montenegro et al., 2023, Proc. EAAP). Por lo tanto, la selección del genotipo A2A2 no tendría futuras implicaciones negativas sobre los parámetros relacionados con la producción de leche en las explotaciones, ni iría en detrimento del progreso genético de la población.

Tarea 2.3. Marco regulatorio y licencias para la comercialización de leche A2

No existe la obligación de asumir el pago de ninguna patente o licencia para poder comercializar leche o derivados lácteos diferenciados A2.

La Certificación AENOR “Leche Beta Caseína A2” y de productos “Elaborados con Leche Beta Caseína A2” ha sido publicado en 2023 para dar respuesta a las necesidades del sector

agroalimentario y garantizar que el producto ha sido obtenido de forma natural en la granja, así como su trazabilidad hasta el punto de venta a lo largo de toda la cadena de suministro. En el momento de realizar este informe solo se tiene constancia de una explotación de vacuno lechero certificada por AENOR: leche La Torre de la Granja Torre d'en Roca (Cataluña).

De forma paralela, la segunda Acción técnica para responder al objetivo del proyecto fue liderada por Leartiker y llamada VALORACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE COAGULACIÓN DE LOS DERIVADOS LÁCTEOS ELABORADOS CON LECHE A2. Esta acción estuvo dividida a su vez en 3 tareas que dieron lugar a los siguientes resultados:

Tarea 3.1. Investigación sobre el efecto del tipo de β -caseína en las propiedades de coagulación de la leche

Se evaluó el efecto de la β -caseína A1A1 o A2A2 de animales individuales de dos explotaciones lácteas (#1 y #2). Para ello se intentó que los animales “pares” (A1A1 con respecto A2A2) fuesen lo más parecidos posibles a excepción de la producción de β -caseína (edad, nº partos, genotipo de K-caseína y β -lactoglobulina). En la Tabla 4 se muestran los resultados medios de las 20 muestras de leche individuales analizadas.

Tabla 4: Datos medios de la composición química de las muestras de leche de animales individuales (n=20).

Nutriente	Media	Desviación estándar
Calcio (%)	0,122	0,105
Sal (%)	0,177	0,210
Ratio MG/MP	1,17	0,139
MG (%)	3,72	0,560
MP (%)	3,33	0,304
Lactosa (%)	4,90	0,188
ESM (%)	8,86	0,357
ES (%)	12,5	0,728
Caseína (%)	2,55	0,183
Caseína/Proteína (%)	78,1	3,33

En cuanto al efecto del genotipo de la β -caseína, la leche procedente de animales A2A2 obtuvo mayor porcentaje de proteína que la procedente de A1A1 (3,39% vs 3,28%), lo que no implicó consecuencias en otros factores de interés tecnológico en parámetros como la materia grasa o

la ratio materia gasa con respecto a la materia proteica. Esta ratio está en 1,17 (Tabla 4), que para ser leche de vaca es una ratio adecuada con respecto la ratio óptima para la elaboración de derivados lácteos (1,1-1,35).

Tabla 5: Prueba del efecto del tipo de leche por su composición genética en la β -caseína en la composición química de la leche y en las pruebas de microcoagulación.

Parámetro	Leche A1 (n=4)		Leche A2 (n=4)		p-valor	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar		
Composición química	Calcio (%)	0,114	0,00503	0,121	0,00436	0,158
	Sal (%)	0,185	0,0244	0,165	0,0217	0,341
	Ratio MG/MP	1,23	0,112	1,067	0,0404	0,081
	MG (%)	3,82	0,400	3,45	0,182	0,215
	MP (%)	3,12	0,116	3,24	0,0451	0,152
	Lactosa (%)	4,84	0,172	4,87	0,104	0,789
	ESM (%)	8,60	0,0681	8,77	0,0116	0,011
	ES (%)	12,4	0,320	12,3	0,156	0,580
	Caseína (%)	2,46	0,026	2,56	0,040	0,026
	Caseína/Proteína (%)	79,0	2,81	78,8	0,970	0,929
Microcoagulación	Grosor de la cuajada	3,33	0,577	0,00	-	-
	Torsión de la cuajada	1,00	1,00	-	-	-
	Nitidez de las pareces de la cuajada	2,00	-	-	-	-
	Transparencia del suero	3,00	-	3,00	-	-
	Sedimentación del suero	1,00	-	1,00	-	-
	Capacidad de dilución de la leche	1,33	1,16	-	-	-

-, ausencia de datos.

P-valor <0,05; diferencias estadísticamente significativas al 95% de probabilidad; P-valor <0,1, diferencias estadísticamente significativas al 90% de probabilidad.

Por último, existe un efecto combinado de múltiples factores. Esto es lógico ya que existe una relación entre todos ellos. En general, como se ha venido explicando previamente, al estar en una transición a explotaciones A2, los animales más mayores son de tipo A1A1, mientras que los

más jóvenes son A2A2, además, los de #1 son más mayores que los de #2 y, los animales A2A2 carecen de κ -caseína con alelo E. Así, la relación entre los factores explica que exista una relación entre sus efectos combinados y la concentración proteica de la leche, que no depende únicamente de un factor en concreto como era de esperar en un sistema biológico complejo.

Para la investigación sobre el efecto del tipo de β -caseína en las propiedades de coagulación de la leche de tanque se realizaron dos modelos de estudio. Por un lado, para investigar el efecto del tipo de β -caseína en la leche en la composición química de la misma y en las características de microcoagulación. Por otro lado, para investigar la influencia del mismo factor en la elaboración y rendimiento del queso fresco.

El tipo de β -caseína en la leche implicó un mayor valor en % de extracto seco magro de la leche y en el % de caseína, más elevados para la leche A2 (Tabla 5). Los parámetros de microcoagulación indicaron que la leche A2 no coagulaba en los ensayos mientras que la A1 sí. Además, se observó una tendencia para la ratio materia grasa con respecto a la materia proteica tal más elevados para la leche A1, lo que encaja con los resultados observados en la microcoagulación.



Figura 3: Imágenes de la prueba de microcoagulación de la leche A1 (izquierda) y la leche A2 (derecha).

Para que exista una coagulación adecuada, se tienen que dar una combinación de factores en la composición de la leche que son, la ratio ya mencionada (1,1-1,35), el porcentaje de caseína en la proteína láctea y su tipo, así como el calcio disponible para conformar la red del coágulo y una cantidad de grasa no excesiva para que interfiera en la formación de la red. Pese a que la leche A2 ha resultado tener una mayor proporción de caseína que la A1, sin conocer la tipología, si este

porcentaje no está en equilibrio con la fracción grasa y el porcentaje de calcio, la conformación de la red para coagular la leche no será adecuada tal y como se ha visto (Figura 3).

Por último, se valoró el efecto del tipo de β -caseína en la leche de tanque en la elaboración, rendimiento y composición química del queso fresco elaborado (Figura 4).



Figura 4: Ejemplo de uno de los quesos frescos elaborados a partir de leche A1 (izquierda) y la leche A2 (derecha).

Tabla 6: Anotaciones visuales durante la elaboración de la cuajada así como resultados de la cata de los lotes de queso por el equipo de Esneki Zentroa-Leartiker.

		Queso A1 (n=4)		Queso A2 (n=4)	
Datos de la elaboración	Aspecto cuajada	Firme		Débil	
	Aspecto lira	Pegajosa		Limpia	
		Media	DS	Media	DS
Cata de los quesos (7 jueces)	Aspecto exterior	8,1	0,6	8,2	0,7
	Aspecto interior	8,5	0,5	8,4	1,1
	Olor	8,6	0,9	8,5	0,8
	Textura en boca	8,0	0,6	6,5	0,6
	Sabor (olfato-gustativo)	8,3	0,8	7,1	0,7

Durante la elaboración, a la hora de dejar trabajar el cuajo, la cuajada final proveniente de la A1 se veía más firme que la A2. Esto se reflejó, también en la lira, que se quedaba impregnada de parte de la misma, mientras que la cuajada A2 salía limpia. Esto implica que la cuajada A1 sería más fuerte, presentaría más resistencia que la A2, lo que es importante para la textura del queso

final. En cuanto a la evaluación sensorial llevado a cabo por el equipo de Esneki Zentroa-Leartiker, la textura en boca del queso A2 daba sensación de poco firme y masa seca mientras que el queso A1 se presentó como un queso tierno en boca. En un lote, el queso A2 pareció ser también más salado y en otros dos lotes dejó un retrogusto anormal con tendencia a amargo y/o metálico. Por su parte, en todos los lotes el queso A1 resultó ser un queso con gusto normal, ligeramente ácido y láctico, lo que se ve representado en la Tabla 6.

Estos resultados cuadran con lo observado en las pruebas de microcoagulación en cuando al efecto de la composición de la leche A1 y A2 en la textura de las cuajadas, si bien no explican las posibles implicaciones a nivel de gusto. Por otro lado, los resultados indicaban que los quesos A2 son más húmedos que los A1 no se ven reflejados en los resultados sensoriales. Esto podría deberse a que las diferencias fueron mínimas y que entonces, podrían no tener un efecto a nivel sensorial en la degustación de los quesos.

Tarea 3.2. Valoración experimental de estrategias para obtener en máximo rendimiento quesero a partir de leche A2

Se desarrolló un derivado lácteo con propiedades sensoriales de alta calidad que aportasen identidad a la leche A2: yogures bebibles y firmes.

Un ejemplo de los yogures obtenidos del tamaño de 500mL se pueden observar en la Figura 5.



Figura 5: Ejemplo de uno de los yogures firmes (izquierda) y bebibles (derecha) elaborados a partir de leche A2.

Tarea 3.3. Análisis y evaluación de la calidad y seguridad alimentaria de los derivados elaborados con leche A2

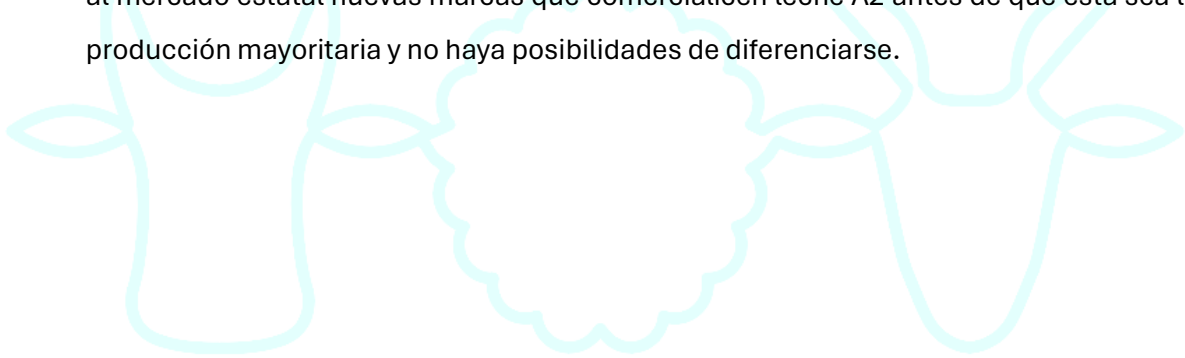
En las elaboraciones piloto de los yogures, previo al arranque experimental, se realizaron análisis mediante hisopos de la cubeta de elaboración en dos puntos críticos confirmando la seguridad de la elaboración. Los yogures también fueron evaluados mediante análisis de microbiología tradicional para confirmar su calidad higiénica y seguridad alimentaria en base al Reglamento (CE) nº 2073/2005 en su vida útil. Así, los yogures fueron elaborados el 28/11/2023, con una fecha de consumo preferente del 19/12/2023. Los resultados cumplieron la normativa vigente.

Por último, el equipo de Esneki Zentroa-Leartiker realizó un análisis sensorial de los dos productos. Los resultados mostraron que ambos productos fueron de una calidad óptima. Tanto el yogur firme como el bebible a partir de la leche A2 resultaron ser productos de alta calidad.

Conclusiones generales

- La materia proteica de la leche de animales individuales y, por tanto, de rebaños completos está directamente afectada por múltiples factores productivos y biológicos.
- El genotipo del animal para la proteína láctea β -caseína no tiene un efecto de relevancia sobre la producción de leche. Por lo tanto, orientar la selección hacia aumentar el número de individuos con el genotipo A2A2 no afectaría a la producción de leche de la explotación ni positiva ni negativamente.
- El genotipo β -caseína A2A2 tampoco perjudicaría al porcentaje de producción de grasa y proteína. De manera que la población de Holstein que forman parte del programa de mejora no se vería negativamente afectado en términos de producción por aumentar la frecuencia del genotipo A2A2 para β -caseína.
- Se han planteado una serie de estrategias que puedan orientar a aumentar la frecuencia de animales A2A2 considerando la realidad y expectativas de las explotaciones participantes.
- En cuanto a la disponibilidad de machos para inseminación de raza Holstein con genotipo A2A2, no habría dificultades en utilizar únicamente animales con este genotipo sean cuales sean los otros criterios de selección de la explotación, sin detrimento del nivel de consanguinidad de la explotación.

- La coagulación, textura y las características gustativas del queso fresco A2 parecen no cumplir con la calidad esperada de un queso fresco habitual pudiendo influir en su evolución.
- Ante un interés por transformar la leche A2 a queso, se recomienda realizar pruebas piloto previas para obtener el producto en el rendimiento y calidad esperado por el productor.
- No existe la obligación de asumir el pago de ninguna patente o licencia para poder comercializar leche o derivados lácteos diferenciados A2.
- AENOR ha puesto recientemente al servicio del sector una certificación específica para la comercialización de leche A2, si bien no es obligatoria.
- A la vista de todo ello, se considera que se dan condiciones muy interesantes para sacar al mercado estatal nuevas marcas que comercialicen leche A2 antes de que esta sea la producción mayoritaria y no haya posibilidades de diferenciarse.





Leartiker