

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS

***“MOZZARELLA: EL QUESO DE PASTA HILADA CON MAYOR TASA
DE CRECIMIENTO EN EL CONSUMO MUNDIAL.”***

Autor: Ing. Guillermo A. George

**TRABAJO FINAL INTEGRADOR PRESENTADO COMO PARTE DE LOS REQUISITOS DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO
DE ESPECIALISTA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS.**

Tutor: Ing. Carlos Meinardi

Instituto de Lactología Industrial (UNL-CONICET)

Santa Fe, Agosto de 2022

Dedicatoria

A mi familia, Evangelina, Andrés y Sofía.

Agradecimientos

Agradezco a todos los que me acompañaron en este tramo de mi camino de aprendizaje. A los que me transmitieron su pasión por la ciencia y el trabajo metódico de investigación. A los que al lado de la tina quesera me enseñaron compartiendo su experiencia. A los que me abrieron las puertas que me permitieron realizar este trabajo y seguir adelante.

Agradezco especialmente a mis compañeros de trabajo, a mi familia y amigos que con su afecto y apoyo me abastecen del combustible necesario para seguir cumpliendo objetivos.

Índice

Capítulo 1. Introducción	6
Mercado	8
Quesos de pasta hilada: Mozzarella	14
Capítulo 2. Capacitación realizada en Italia	18
Pasantía en el <i>caseificio</i> (Elaboración de quesos de pasta hilada)	19
<i>Mozzarella da Tavola (Fiordilatte o Fior di latte)</i>	21
<i>Mozzarella para pizza</i>	31
<i>Scamorza</i>	35
Visita a plantas elaboradoras de quesos y fermentos	36
<i>Planta elaboradora de quesos de Galbani en Casale Cremasco</i>	36
<i>Planta de fermentos y cuajo de Clerici-Sacco en Cadorago</i>	39
Capítulo 3. Tecnología de elaboración del queso Mozzarella	41
Principios	42
Factores que influyen en la calidad del producto	48
<i>Calidad de la leche y tipo de leche</i>	48
<i>Starters utilizados</i>	49
<i>Coagulante</i>	50
<i>Temperatura de coagulación</i>	51
<i>Trabajo en tina</i>	52
<i>Acidificación de la cuajada</i>	52
<i>pH de hilado</i>	53
<i>Temperatura y trabajo de hilado</i>	54
<i>Salado</i>	55
Almacenamiento y conservabilidad	55
Maduración	56
Características sensoriales, reología y estructura	59
Rendimiento	60
Tecnología alternativa mediante acidificación directa	62
Mozzarella para pizza argentina	63

Capítulo 4. Experiencia adquirida en el diseño, ajuste y uso del equipamiento de planta piloto para el hilado y formado de hormas a pequeña escala	65
Trabajos previos realizados en el INLAIN	66
Tecnologías disponibles para el hilado mecanizado de la cuajada	69
Incorporación de la hiladora escala piloto en el INLAIN	73
Capítulo 5. Un queso de pasta hilada con probióticos	81
Bibliografía	91

INTRODUCCIÓN

Introducción

En el presente trabajo nos adentramos en el mundo de la Mozzarella, describiendo su historia y diferentes tipologías, detallando la tecnología de elaboración y mostrando en parte la maquinaria utilizada para tal fin y su funcionamiento.

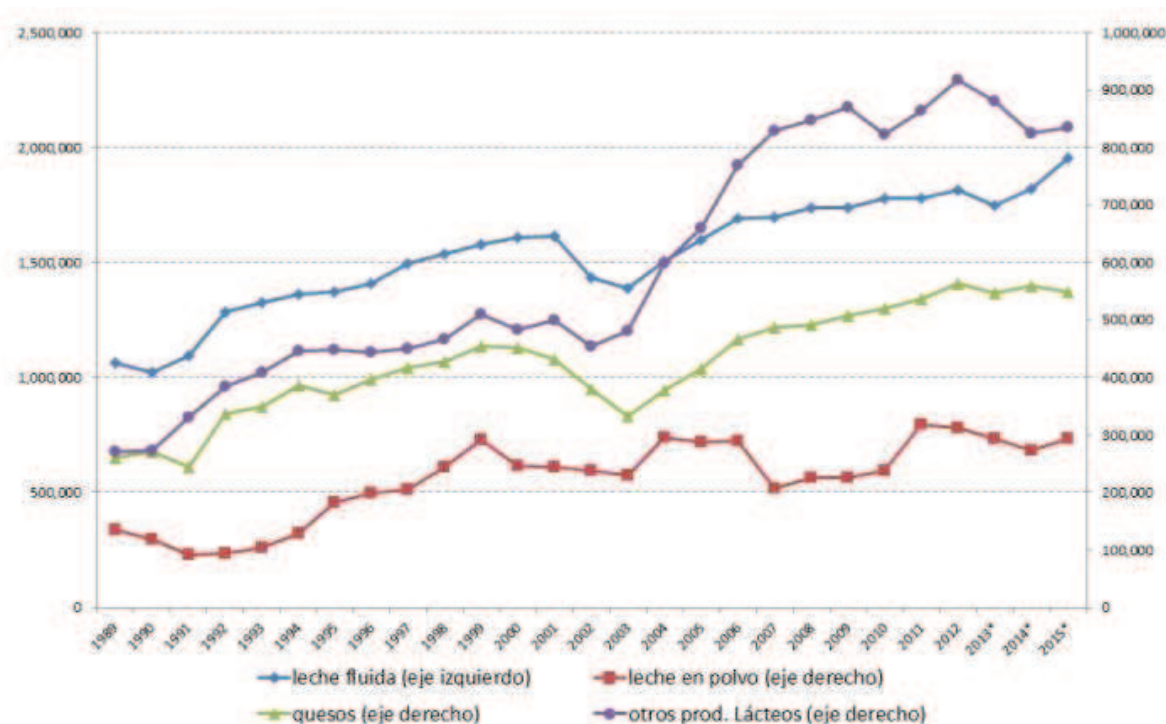
Se pretende con este Trabajo Final Integrador relatar la experiencia del INLAIN con este tipo de quesos, vertiendo lo aprendido tras una exhaustiva revisión bibliográfica, una pasantía en Italia y la participación en un trabajo de investigación que dejó como fruto: una patente, tres Papers, dos capítulos de libro y la adquisición de equipamiento para elaborar quesos de pasta hilada en la planta piloto.

Objetivos Específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica acerca de las tecnologías de elaboración de quesos de pasta hilada en general y Mozzarella en particular, empleadas actualmente en el mundo y principalmente en nuestro país.
- Describir las actividades y la experiencia adquirida en la pasantía realizada en una pyme italiana, realizada en el marco de la estadía del Ing. Guillermo George en el Istituto Lattiero Casseario de Lodi (Italia).
- Documentar la experiencia adquirida en el diseño, ajuste y uso del equipamiento de planta piloto para el hilado y formado de hormas a pequeña escala, conjuntamente con los resultados obtenidos en todos ensayos realizados antes y después de la incorporación del equipamiento mecánico.
- Generar un documento para ser usado en el ámbito del INLAIN.

Mercado

De acuerdo al relevamiento realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), publicado como “*Quesos Argentinos*”, se infiere que prácticamente la mitad de la leche producida en la Argentina es destinada a la elaboración de quesos (Figura 1.1). Se trata de unas 500 mil toneladas/año, de las cuales, se emplea un 50% para fabricar quesos blandos, 35% para semiduros y 15% para duros. De estos volúmenes entre el 70 y el 75% se comercializa en el mercado interno. En base a ello, nuestro país se convierte en el séptimo productor mundial de quesos, abasteciendo a un mercado relativamente estable, en el que se estima un consumo de 12 Kg anuales per cápita. En el resto de Latinoamérica la demanda de quesos es mucho menor; por ejemplo, para Chile y Venezuela se calcula una tasa de 4 Kg anuales per cápita, Brasil y México 2 Kg y Colombia cerca de 1 Kg anual per cápita. No obstante, el mercado argentino de quesos se encuentra lejos del de aquellos países con mayor consumo anual per cápita de quesos, como Grecia (27 Kg), Francia y Dinamarca (25 Kg cada una), Italia (23 Kg), Alemania (23 Kg) y Estados Unidos (15 Kg).



Fuente: Subsecretaría de Lechería - Ministerio de Agroindustria de la Nación.

* Datos provisorios elaborados en base a la Resolución 7/2014 SAGPyA

Figura 1.1 Producción nacional de lácteos expresada en toneladas.

Por otro lado, se destaca en el mismo documento que el queso de mayor incremento en el consumo nacional fue la Mozzarella, que pasó de 1,5 Kg en 2008 a 3 Kg per cápita anuales en 2014. Indudablemente, esta tendencia es atribuible a que dicho producto, además de ser el queso que más respondió a las necesidades dietéticas y nutricionales del consumidor argentino, exhibe una elevada versatilidad, que le permite adaptarse a diferentes tipos de comidas como ensaladas, milanesas, empanadas, tartas, carnes, etc. (Súper Campo, 2014), todo lo cual se vio reforzado por la gran proliferación de pizzerías y cadenas de comidas rápidas.

Una de las principales aplicaciones que encuentra esta variedad de queso es la Mozzarella para pizza o *Pizza cheese* que, siendo la de mayor consumo a nivel mundial, se ha posicionado en un lugar preponderante dentro del mercado internacional de alimentos. Así, por ejemplo, en Estados Unidos (el mayor productor mundial de quesos), entre los años 2013 y 2018, el rubro Mozzarella experimentó un crecimiento del 15% y representa el 30% de su producción total quesera (USDA, 2018). Análogamente, la creciente incorporación de este queso a la dieta de la población china, está cambiando la matriz productiva de los grandes exportadores de leche, quienes actualmente, están destinando un considerable volumen de la materia prima, que originalmente se empleaba para la obtención de leche en polvo, a la elaboración de este producto. Nueva Zelanda, que agregó una importante capacidad de Mozzarella en 2017, continúa invirtiendo en aumentar la producción de este queso para apuntar a las oportunidades de mercado generadas por consumidores y servicios de alimentos en China, el sudeste de Asia, Corea del Sur y Japón.

China produce más de 20.000 toneladas de queso cada año, mientras que la creciente demanda ha impulsado el crecimiento de las importaciones durante 13 años consecutivos (Figura 1.2). Un total de 108.000 toneladas de queso fueron importadas en 2018. El 80% de este volumen es absorbido por restaurantes y panaderías y el 40% es Mozzarella, seguida por un 23% de queso crema y un 13% de cheddar. La cadena Pizza Hut está llegando a los 1600 locales y el consumo supera las 300 millones de pizzas al año. Sin embargo, teniendo en cuenta el tamaño de la población en China, estas cifras representan un consumo per cápita muy bajo, en torno a 0,1 kg al año, por lo que las expectativas de crecimiento son altísimas (BORD BIA, 2018).

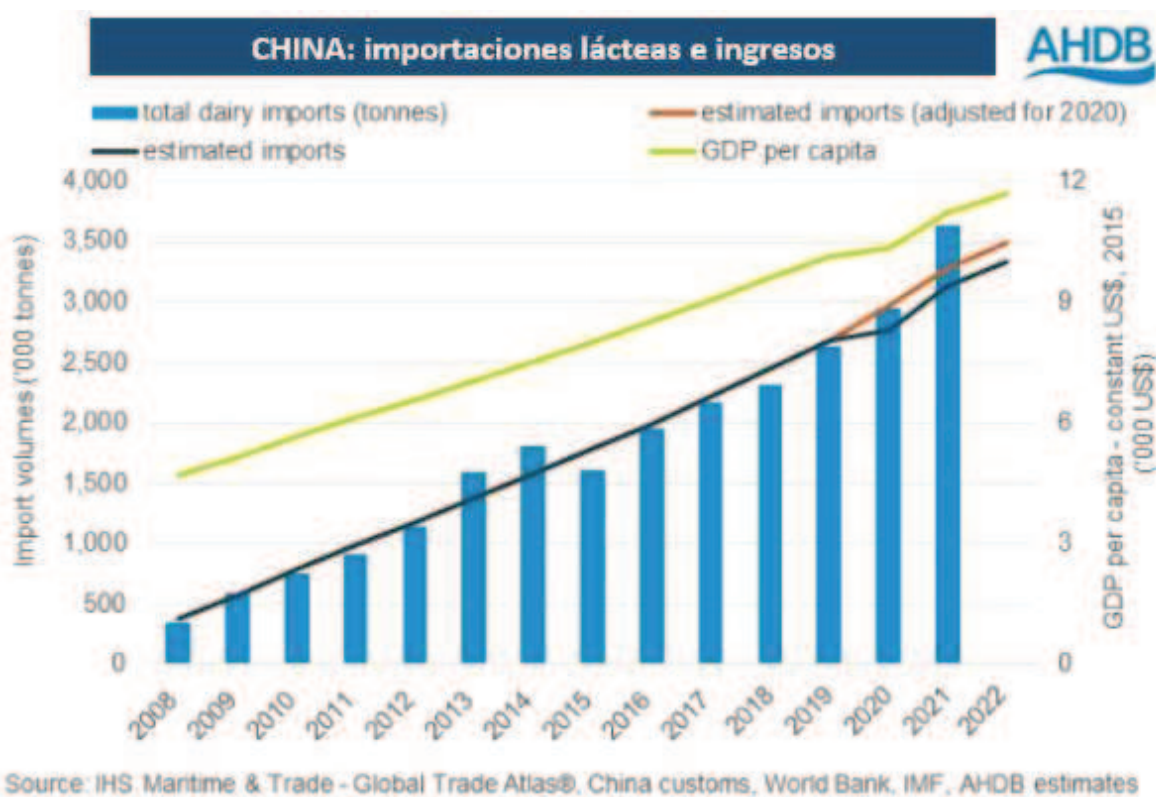


Figura 1.2 Importaciones lácteas chinas e Ingreso per cápita.

China proyecta la importación de 5 millones de toneladas de productos lácteos para el año 2027. Esta estimación se sustenta en una proyección de crecimiento del 40% en los próximos 5 años de la demanda doméstica de productos lácteos en China. El consumo per cápita de lácteos alcanzó los 36,7 kg anuales en 2017, es decir 100 gr diarios, muy por debajo de los 300 gr que recomiendan las propias guías nutricionales de China y que es un tercio de la media mundial (Declaraciones del viceministro de Agricultura y Asuntos rurales, Yu Kangzhen, 2018). El mercado chino de productos lácteos alcanzó en el año 2018 los U\$S 57.500 millones y se estima que llegaría en 2025 a U\$S 75.000 millones, ubicando a China como el mayor mercado mundial por delante de EE.UU. (Clarín Rural, 2019).

La producción china no puede abastecer esta demanda creciente debido a dos factores. El primero es una cuestión de costos, la producción de leche en China se basa mayormente en tambos estabulados, más que en sistemas pastoriles, con costos de materia prima para la industria 80% mayores que los de Nueva Zelanda y Australia y 40% mayores que los sistemas mixtos de Europa y EE.UU. El segundo factor es la pérdida de confianza en los

productos locales que generaron los incidentes producidos debido a la adulteración de leche en polvo con melamina en el año 2008 y a una nueva detección de producto adulterado en el año 2010.

En Europa el consumo local de Mozzarella para pizza también se ha incrementado, uno de los principales productores, ARLA, proyectó un aumento del mercado europeo de 650.000 tn a 720.000 tn entre los años 2017 y 2022 (OCLA noticias, 2019).

La Mozzarella para pizza es un queso cuya producción está en aumento también en la Argentina, la demanda en alza y las posibilidades de exportación son los motores de ese crecimiento (Figura 1.3). Surgieron empresas que se han especializado en su producción para la exportación, como es el caso de Pampa Cheese en Santa Fe, provincia que lidera la exportación de este producto (Figura 1.4), y la mayoría de las grandes empresas de lácteos la han incorporado a su oferta (Tabla 1.1).

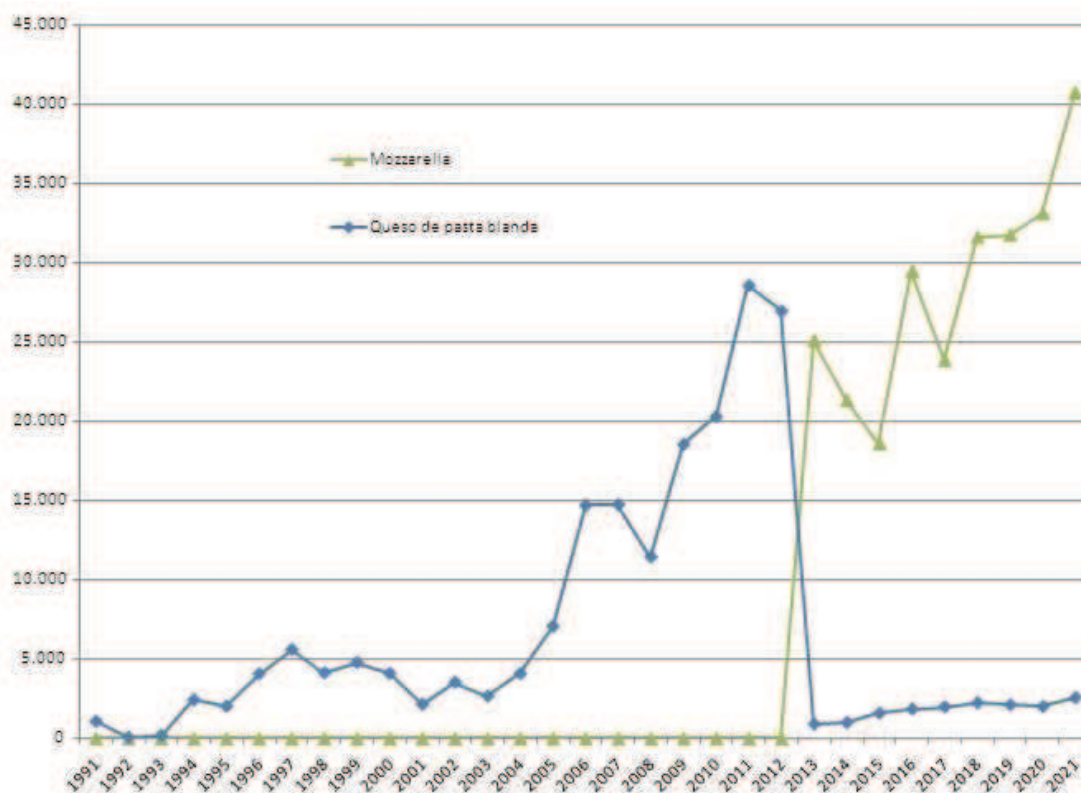


Figura 1.3 Exportaciones anuales en toneladas. La categoría Mozzarella fue incorporada en el año 2013, antes estaba incluida en Quesos de pasta blanda. Elaborado con datos del MAGyP.

La provincia de Santa Fe en el período enero-julio del año 2021 exportó 19.700 tn de Mozzarella, un 25% más que igual período del año anterior. Estas exportaciones significaron un ingreso de 72 millones de dólares (FOB)(IPEC, 2021).



Figura 1.4 Participación de la industria láctea santafesina en las exportaciones de Argentina, segmentado por tipo de queso. Infografía difundida por el Ministerio de Producción, Ciencia y Tecnología de la provincia de Santa Fe (2020).

En cuanto a la Mozzarella de alta humedad, su producción en el país es escasa y se concentra en la provincia de Buenos Aires. La producen Festa (Gral. Las Heras), Mozzari (San Andrés), Arrivata (Pilar) y Vacalin (Gral. Mansilla). Se ha incorporado como novedad para un nicho de quesos de alta gama, por lo que su valor agregado es alto (duplicando el valor del queso Cremoso o la Mozzarella para pizza) y se vende mayormente a restaurantes, servicios de catering y tiendas especializadas en quesos y fiambres. Se presenta así como una buena oportunidad para pymes ubicadas en el interior del país con posibilidad de abastecer ciudades con importante población.

El CAA permite la venta de Mozzarella con sólo 24 h de estabilización, esto la convierte en una gran opción para una planta quesera. Incorporar una hiladora abre la posibilidad tanto de darle salida rápida a la leche elaborada, como de hacer un stock de cuajada que puede ser conservada en frío para su futuro hilado. Una línea de hilado se presenta entonces como una herramienta que otorga flexibilidad a la planta quesera.

Tabla 1.1 Ranking de industrias lácteas de Argentina/Productores de Mozzarella

RANKING DE INDUSTRIAS LÁCTEAS DE ARGENTINA				
Ranking	Empresa Láctea	Procesamiento en litros de leche por día	Participación respecto al total de leche producida	Productor de Mozzarella
1	Mastellone Hnos. SA - La Serenísima	3.736.666	12,1%	*
2	Saputo	3.651.605	11,8%	*
3	Williner- Ilolay	1.368.284	4,4%	*
4	Noal SA	910.421	2,9%	*
5	Nestlé	810.165	2,6%	
6	Verónica	791.283	2,6%	*
7	García Hnos. Agroindustrial SRL - Tregar	738.172	2,4%	*
8	Adecoagro	723.593	2,3%	
9	Milkaut - Savencia Argentina	700.415	2,3%	*
10	Corlasa - Grupo Gloria	656.332	2,1%	*
11	SanCor Coops. Udas. Ltda.	570.412	1,8%	*
12	La Sibila	537.859	1,7%	
13	Manfrey Cooperativa De Tamberos	502.201	1,6%	*
14	Danone	426.959	1,4%	
15	Sobrero y Cagnolo SA	413.187	1,3%	*
16	Ramolac- Peiretti y Otros	279.379	0,9%	
17	La Ramada	273.458	0,9%	
18	Lácteos Vacalín - Rodríguez e Hijos SA	247.968	0,8%	*
19	Fábrica de Alimentos Santa Clara	246.027	0,8%	
20	La Lácteo	212.093	0,7%	
21	Cooperativa Arroyo Cabral	202.081	0,7%	*
22	Tonutti	176.208	0,6%	*
23	Pampa Cheese SA	140.705	0,5%	*
24	La Vareense SRL	96.482	0,3%	*
Total		18.411.955	59,4%	
Promedio leche producida 2020/21		30.999.534	100,0%	
<i>Ranking jul20/jul21 (OCLA, 2021). No participó de la encuesta la empresa Punta del Agua, se estima ocuparía el 4º lugar, también es productor de Mozzarella. Dato de producción de Mozzarella tomado de los catálogos de productos ofrecidos por las Empresas, puede haber casos de producción a fasón.</i>				

Quesos de pasta hilada: Mozzarella

La palabra Mozzarella nos remite instantáneamente a la pizza, a la imagen del queso estirándose al cortar una porción. Sin embargo, los orígenes de este queso distan mucho de la Mozzarella para pizza que comemos. La Mozzarella tradicional italiana, se elabora con leche de búfala, se consume por lo general fresca en ensaladas y difícilmente se funda cubriendo la masa si se lo utiliza para hacer una pizza.

El queso Mozzarella pertenece al grupo denominado “quesos de pasta hilada”, estos comprenden un grupo de productos de diversas características, que pueden ser fabricados a partir de la leche de vacas, búfalas, cabras u ovejas. Estos quesos tuvieron su origen en la zona Norte del Mediterráneo, que abarca Italia, Grecia, los Balcanes, Turquía y parte de Europa Oriental. Si bien cada región tiene sus particularidades, al final de la elaboración, todos tienen una etapa en común, que consiste en sumergir la cuajada ácida en agua caliente y luego someterla a un texturado (amasado y estiramiento) que puede ser manual o mecánico (Fox y col., 2017a). Este proceso, mediante el cual la cuajada se convierte en una masa plástica fundida, se denomina plastificación, y fue desarrollado originalmente, en zonas de climas cálidos, como una forma de tratamiento térmico que permitiera prolongar la vida útil de la cuajada. Una correcta texturización de la cuajada, requiere que la matriz viscoelástica de para-caseína experimente un flujo limitado y se extienda, sin romperse, en láminas fundidas calientes, al ser estirada. La plastificación involucra cambios microestructurales en la cuajada, como ser una mayor linealización de matriz de para-caseína en fibras y coalescencia de la materia grasa en vesículas alargadas que quedan atrapadas, exhibiendo la misma orientación que las fibras proteicas (Fox y col., 2017b).

Estos quesos pueden ser elaborados con alto contenido de humedad (blandos), como por ejemplo la Mozzarella tradicional, o bien con humedad intermedia (semiduros), como la Mozzarella para pizza o *Pizza cheese*. En ambos casos, pueden ser consumidos frescos o después de un corto período de maduración. Existen, sin embargo, otros quesos de pasta hilada, que son duros o semiduros, como el Caciocavallo, Ragusano, Kashkaval y Provolone, los cuales tienen una maduración extensa antes de su consumo (McMahon y Oberg, 2011).

La Mozzarella tradicional italiana, fabricada originalmente con leche de búfala, es moldeada a mano en formas ligeramente ovoideas, o esferas pequeñas (*bocconcini* o *cilegie*) o trenza (*trecce*) con un peso de entre 20 a 800 g, dependiendo de la forma.

Es un queso de alto contenido de humedad (alrededor del 55%), de color blanco porcelana (debido a la ausencia de β -caroteno en la leche bubalina), con corteza muy fina (1 mm) y superficie lisa, que se consume fresco, sin maduración. Posee un sabor muy característico y delicado, con una textura suave, en la que se aprecian las fibras que conforman capas envolviendo un líquido cremoso de ligero sabor láctico (De Angelis y Gobbetti, 2011).

La Mozzarella producida en las regiones italianas de Campania, Lazio y la Puglia tiene Denominación de Origen Controlada (DOC) y está protegida con el nombre de “Mozzarella de búfala de Campania”, mientras que los quesos elaborados fuera de dichas regiones se denominan simplemente Mozzarella de búfala.

El origen de la Mozzarella se remonta al medioevo. En la zona meridional de la península itálica se había desarrollado el ganado bubalino y el clima cálido con frecuencia provocaba la acidificación de la leche. Para mejorar la higiene y el sabor de los quesos se incorporó el tratamiento de la cuajada con agua caliente, surgiendo así un queso de mejorada calidad, la Mozzarella. Los primeros registros corresponden al Monasterio Benedictino de San Lorenzo en Capua en el siglo XII, en dónde se menciona que se convidaba con “mozza” y un trozo de pan a los peregrinos. El nombre deriva del vocablo italiano que designa la acción de cortar la masa hilada con los dedos (entre el pulgar y el índice), «Mozzare» (Salvadori del Prato, 1998).

Con el tiempo, este queso se popularizó en toda Italia y se adaptó la tecnología para su elaboración con leche bovina, ganado más difundido en la región septentrional de la península. Surge así el Fiordilatte, como se llamó a la Mozzarella elaborada con leche de vaca, de similares características, pero sin el sabor de la leche de búfala. Desde el año 1989 se puede rotular simplemente como “Mozzarella” (Salvadori del Prato, 1998:594).

La Mozzarella para pizza (*Pizza Cheese*) es un queso que derivó de la Mozzarella tradicional de alta humedad. Al popularizarse la pizza a nivel mundial su acompañante, la Mozzarella, también originaria de la región de Campania, fue mutando. Primero, por un cambio en el tipo de leche, de bubalina a bovina, y luego por la búsqueda de ciertas propiedades que acompañaran de mejor manera a la pizza en la conquista de los paladares

de todo el mundo. Así pasó de ser un queso de muy alta humedad y sin maduración (la Mozzarella tradicional) a uno de mediana humedad con un corto período de maduración (Pizza Cheese).

El Pizza Cheese se comenzó a producir a mediados del siglo pasado, en el estado de Wisconsin (Centro Norte de los Estados Unidos), región donde se concentra la producción de lácteos. En las regiones de la costa Este y Oeste se concentraba la mayor cantidad de población y especialmente las comunidades de italo-americanos. Surgieron allí las primeras cadenas de pizzerías y la creciente demanda de queso exigía una logística que no permitía mantener la calidad de la Mozzarella de alta humedad. Es entonces que la industria quesera desarrolla el Pizza Cheese, un queso semiduro de mayor vida útil, que si bien toma el nombre de la Mozzarella, se asemeja más a otro queso italiano, la Scamorza (Kindsted, 2019).

La Mozzarella para pizza se elabora a partir de leche de bovina parcialmente descremada y posee las características seleccionadas para obtener una pizza con un estándar fácilmente reproducible. El sabor es dejado a un lado y sus principales atributos se basan en su funcionalidad como ingrediente para la preparación de este tipo de comida. La textura y la apariencia son los objetivos principales. Su proceso de elaboración presenta diferencias sustanciales con respecto a la Mozzarella clásica, en especial la implementación de un período de maduración, que le confiere propiedades características, tales como una mayor capacidad de derretimiento (*meltability*) frente al calor, la formación en caliente de largos hilos (*stretchability*), la disminución del oscurecimiento por efecto de la cocción (*browning*) y la liberación de aceite durante la cocción (*free-oil*). A su vez, para este tipo de queso, también se pretende que permita su procesamiento mecánico en hebras, pellets o fetas, para uso directo sobre la masa de la pizza (*shreddability*) y posea una buena capacidad de conservación bajo condiciones de congelamiento (McMahon y col., 1993).

En la Argentina se aceptan las denominaciones Mozzarella, Muzzarella o Musarela. El Código Alimentario Argentino (CAA), define y clasifica al queso Mozzarella de una manera muy amplia, que incluye tanto al queso tradicional italiano de alta humedad como al Pizza Cheese. Lo clasifica como un queso de mediana, alta o muy alta humedad y extra graso, graso a semigraso. Y lo define: “Con el nombre de Queso Mozzarella se entiende el queso que se obtiene por hilado de una masa acidificada (producto intermedio obtenido por

coagulación de la leche por medio de cuajo y/u otras enzimas coagulantes apropiadas), complementada o no por la acción de bacterias lácticas específicas” [CAA, Artículo 618 (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 33/2006 y N° 563/2006)].

CAPACITACIÓN REALIZADA EN ITALIA

Capacitación realizada en Italia

En octubre del año 2016 se comenzó una capacitación de dos meses en el Istituto Sperimentale Lattiero Caseario de Lodi (Italia), gracias a la adjudicación de una beca del CONICET para la capacitación del personal de apoyo en el extranjero y la fluida relación que mantiene el INLAIN con este instituto italiano. La misma estaba orientada a incrementar los conocimientos sobre la tecnología quesera en general y los de quesos de pasta hilada en particular. Los conocimientos adquiridos se aplican en la planta piloto lo que permitió ampliar el aporte a los proyectos de investigación y a los servicios a terceros que desarrolla el INLAIN.

El Istituto Sperimentale Lattiero Caseario cuenta con una planta piloto modelo inaugurada en el año 2012, la misma está equipada para la elaboración de todos los tipos de quesos, incluso los de pasta hilada. Durante la pasantía se participó en dos proyectos relacionados con quesos típicos de la región que se estaban desarrollando en la planta piloto del instituto; uno sobre rendimiento del queso Gorgonzola y el otro relacionado a la calidad del queso Grana Padano.

Debido a que el Instituto no tenía programado elaborar quesos de pasta hilada en el período de la beca, el Dr. Giorgio Giraffa (investigador responsable de la beca) gestionó un permiso para realizar una pasantía de una semana en una pyme de la región que se especializa en la elaboración de Mozzarella, y una visita a la planta de Galbani (Grupo Lactalis, Casale Cremasco) para contrastar y conocer la producción a alta escala de este tipo de productos. Además, se logró concretar una visita a la planta de Cadorago de Clerici-Sacco, el productor más antiguo de cuajo bovino y una de las principales productoras de fermentos para la industria láctea de Italia con presencia a nivel mundial.

Pasantía en el caseificio (Elaboración quesos de pasta hilada)

La planta elaboradora de Mozzarella, *il caseificio* (la quesería) en donde se realizó la pasantía, es una industria mediana ubicada en la provincia de Cremona, que desde hace más de 50 años produce Mozzarella (Figura 2.1). Los propietarios de la planta, autorizaron una semana de capacitación intensiva de 9 horas diarias efectivas (de 8 a.m. a 5 p.m), con permiso para circular libremente por la planta y poniendo a disposición todo el personal para responder cualquier consulta referida a la tecnología del proceso.



Figura 2.1. Vista aérea del establecimiento productor de Mozzarella.

En el momento de la pasantía la planta trabajaba de lunes a viernes procesando 120.000 litros de leche diarios. Aproximadamente un 30 % de la leche se destinaba a la elaboración de Mozzarella, del tipo “*Fior di latte*”, y el otro 70 % a una cuajada que mayoritariamente se destinaba a Mozzarella para pizza y con una pequeña cantidad se elaboraba queso Scamorza. También se fabricaba, de manera artesanal, queso Mascarpone DOP y la Ricota. La planta disponía de 6 tinas polivalentes de 5000 litros de capacidad (con eje horizontal), las que con 4 ciclos productivos llegaban a procesar los 120.000 litros de leche diarios. En la figura 2.2 se muestra una vista parcial de la sala de elaboración donde se ven tres tinas y las bateas móviles de desuerado.



Figura 2.2 Vista de tres tinas polivalentes y bateas móviles de desuerado.

La planta además cuenta con dos hiladoras, una para Mozzarella para pizza y Scamorza y otra que puede disponerse para ambos tipos de Mozzarella. Cada una con su formadora, línea de enfriamiento en agua y envasado.

Mozzarella da Tavola (Fiordilatte o Fior di latte)

Para la elaboración de las distintas mozzarellas se estandariza el contenido de materia grasa de la leche de manera de lograr una relación grasa proteína 1:1 y luego se pasteuriza.

La leche que sale del pasteurizador a una temperatura de aproximadamente 39°C se envía a la tina (5000 litros). Mientras se llena la tina se agrega bajo agitación un sobre de cultivo liofilizado (*Streptococcus thermophilus*) que tiene la concentración óptima, ajustada para este volumen y tiempo de acidificación.

Una vez completado el llenado de la tina, sin detener la agitación, se agrega el coagulante natural de ternero mamón (relación de renina/pepsina 80/20), el más indicado para este tipo de quesos. Este coagulante permite un muy buen rendimiento, debido a la alta proporción de renina (quimosina), dejando una cuajada elástica capaz de retener la humedad necesaria para lograr un queso de muy alta humedad como lo es la *Fior di latte*. El hecho de que se extraiga del abomaso de un ternero mamón implica que posee trazas de otras enzimas que, junto a la pepsina en baja proporción, permiten desarrollar un mejor flavor en el queso, por lo que se dice que con este coagulante se obtiene una Mozzarella más aromática.

Cuando se logró una distribución homogénea del cuajo en la leche y antes de que comience la floculación de la misma se detiene la agitación. Este tiempo ya está registrado para las condiciones en que se opera normalmente en las tinas de la planta.

El quesero observa, en forma manual, la evolución en el tiempo de la consistencia de la cuajada para determinar el momento del lirado. La firmeza adecuada se logra aproximadamente media hora después del agregado del cuajo. La cuajada se corta accionando el agitador a baja velocidad y en caso de que se haya pasado un poco el tiempo y haya que apurar el procedimiento, se acciona en forma reversa de manera intermitente para lograr el corte en un tiempo menor. El tamaño de corte es de cubos de aproximadamente 2,5 cm de lado como se puede observar en la figura 2.3 (“nociola” en el momento del desuerado en tina). Cuando el grano de cuajada alcanzó la consistencia adecuada se comienza una agitación lenta y aproximadamente media hora después del corte

se extrae el suero hasta llegar a la mitad del volumen. Lo que queda en la tina, cuajada y suero, se vuelca en las bateas de desuerado.



Figura 2.3 Cuajada al momento de ser descargada en las bateas móviles de desuerado. Se observan los cubos de aproximadamente 2,5 cm de lado.

Las bateas de desuerado son carros de acero inoxidable con un filtro de acero y una válvula, que permiten retirar el suero. Son necesarias dos bateas para el vaciado de una tina. La cuajada con suero se deja acidificar en las bateas como se muestra en la figura 2.4. La sala de elaboración se encuentra a una temperatura estable cercana a los 20°C por lo que la cuajada mantiene la temperatura.



Figura 2.4 Cuajada en batea de acidificación con suero.

Luego de unas dos horas la cuajada alcanza el pH de hilado, cercano a 5,1. En la Mozzarella de alta humedad se busca una cuajada suave que pueda incorporar más agua. Debido que el hilado de la cuajada obtenida de una tina (dos bateas con unos 300 kg cada una) se demora aproximadamente una hora, el pH de la cuajada en el comienzo del hilado es superior al pH del final. Para que esta diferencia no genere problema en la textura de la Mozzarella es importante que el fermento reduzca considerablemente la velocidad de acidificación a medida que se acerque al pH de hilado y de esta manera evitar una sobre acidificación. En la práctica se comienza el hilado con un pH 5,15 y termina con un pH de 5,05.



Figura 2.5 Prueba de hilado. Las delgadas hebras demuestran que la cuajada está en el punto justo de acidificación.

Previo al volcado de la cuajada en la hiladora se le hace una prueba de hilado. Se toma una porción generosa de cuajada, unos 50 g, se lo rompe un poco con la mano dentro de un colador, en este caso una canasta plástica para Ricotta, y del mezclador se le tira abundante

agua caliente. Una vez que se funde la cuajada formando una masa plástica uniforme, se la estira y se observa la estructura de los hilos. Si son delgados, la masa está lista para hilar. En la figura 2.5 se ve el resultado de la prueba de hilado.

Con posterioridad la cuajada se corta en bloques con una lanza de acero, figura 2.6. Con ellos se alimenta una hiladora marca CMT (empresa adquirida en 2015 por GEA para la producción de maquinaria para quesos de pasta hilada).



Figura 2.6 Cuajada en batea de acidificación sin suero, cortada en bloques para posterior ingreso en hiladora. Se observa parte de la lanza de acero inoxidable utilizada para el corte de los bloques.

Los cubos de cuajada se colocan en la tolva de alimentación y son introducidos de forma ascendente mediante un sinfin al cuerpo de la hiladora, previo paso por la fileteadora (*taglierina*) que los corta en delgadas láminas. Estas ingresan en un sinfin que los desplaza de manera horizontal, con un nivel de agua de hilado que es alimentado a lo largo del metro de largo que posee aproximadamente esta primera sección de la hiladora. El nivel de líquido es regulado con una cañería externa con codos que se pueden subir y bajar manualmente. El agua de hilado, a una temperatura de aproximadamente 75°C, eleva la temperatura de la cuajada hasta un valor cercano a los 60°C.

En la figura 2.7 se puede ver el ingreso de los bloques de cuajada en la tolva de la hiladora.



Figura 2.7 Ingreso de los bloques de cuajada en la tolva de la hiladora. En primer plano se puede ver el sistema de aspersión para limpieza CIP.

En la figura 2.8 se muestra el sinfin donde se agrega el agua caliente para que comience el hilado. Mientras que en la Figura 2.9 se observa la cuajada, al final del sinfin, con un grado de hilado avanzado.



Figura 2.8 Comienzo del hilado en sinfin con agregado del agua caliente.

El hilado de la Mozzarella de alta humedad es más lento, como se ha mencionado, y por lo tanto se hace a una menor temperatura, un par de grados centígrados por debajo de la temperatura de hilado de la Mozzarella para pizza y la Scamorza. De esta manera se trabaja la masa de modo más suave permitiendo una mayor incorporación de agua.



Figura 2.9 Cuajada al final del sinfin, se observa un grado de hilado avanzado.



Figura 2.10 Hiladora para Mozzarella de muy alta humedad, detalle del doble juego de brazos de inmersión.

A continuación, con la masa ya plástica, se termina el hilado en una sección con brazos de inmersión (*bracci tufanti*). En este caso para lograr la incorporación de más agua, la hiladora cuenta con doble juego de brazos de inmersión dispuestos en dos secciones contiguas (Figura 2.10), a diferencia de la otra hiladora, que se utiliza sólo para elaborar Mozzarella para pizza, que posee sólo un juego de brazos de inmersión.



Figura 2.11 Segundo juego de brazos de inmersión con salida semibloqueada para aumentar la altura del líquido y ganar mayor humedad.

Para lograr un mayor nivel de líquido y la humedad deseada en la masa se eleva el nivel de la salida de la masa de la hiladora (Figura 2.11). La cuajada ya hilada pasa a la formadora. Ésta se mantiene a temperatura elevada, con circulación continua de agua caliente, para impedir que la masa pierda plasticidad. Los espacios vacíos (moldes) son llenados por la pasta hilada, luego una lluvia de agua fría contrae la masa ayudando a su desprendimiento del cilindro, como se puede ver en la figura 2.12. Todos los moldes poseen un orificio para evitar que se haga vacío y las hormas no caigan.



Figura 2.12 Formadora con cabezales intercambiables.

La formadora tiene varios juegos de cabezales cilíndricos, cada uno representa una cantidad de pasta hilada producida por giro y se intercambian según la velocidad de trabajo de la hiladora. En la figura 2.13 se muestran cabezales que permiten obtener quesos de distinta forma y peso. Las hormas caen en un receptáculo donde son impulsadas por agua a presión hacia el canal de enfriamiento (Figura 2.14).



Figura 2.13 Cabezales con distintas formas para Mozzarella de alta humedad y Scamorza (primero a la derecha).

El canal de enfriamiento tiene dos secciones una primera a 18°C y otra a 4°C, de esta manera se protege la piel de la horma lo que la hace más permeable para mantener la humedad en el líquido de gobierno en el que se envasa.



Figura 2.14 Canal de enfriamiento con dos secciones.

La Mozzarella de alta humedad se presenta en distintos tamaños y formas. La formadora puede producir *boccocini* y *cilegie*, esferas de 30 g y 10 g respectivamente. También se producen trenzas (*trecce*) de aproximadamente 250 g, para ello se utiliza un cabezal que produce formas cilíndricas, de unos 4 cm de diámetro por 25 cm de largo. Luego dos operarios toman estos cilindros y los trenzan en un par de movimientos con sus manos. Las trenzas y las Mozzarellas de 10 g van directamente a bateas de enfriamiento.



Figura 2.15 Bateas de enfriamiento de las formas (en ángulo superior izquierda), distintas formas de Mozzarella de alta humedad en enfriamiento luego del moldeo.

El salado de los quesos se realiza en el hilado utilizando agua salada. La hiladora tiene un dosificador automático que mantiene constante el nivel de sal en el agua de hilado, sólo se debe mantener un depósito con agua saturada en sal (Figura 2.16) y setear de manera digital el valor deseado en el agua de hilado.



Figura 2.16 Vista posterior de la hiladora para Mozzarella de alta humedad. Sistema de recirculación de agua de hilado y depósito de salmuera con dosificador (izquierda).

El envasado lo realizan operarias de forma manual en bandejas que luego son termoselladas o con envasadora automática dependiendo de la presentación.

El líquido de gobierno consiste, en este caso, en agua levemente salada entre 1 y 1,5° Baume, con el agregado de un cultivo protector para extender la vida útil del producto.

Mozzarella para pizza

Para elaborar la Mozzarella para pizza se parte de la misma leche, llenando las tinas de 5000 litros.

Los fermentos utilizados son los mismos, y en iguales proporciones. El coagulante que se emplea en este caso es de una calidad inferior, 75/25 la relación renina/pepsina, no justificándose el empleo del de mayor calidad.

El tratamiento de la cuajada es más intenso, con el grano un poco más chico, 2 x 2 cm, y una agitación algo mayor, lográndose una cuajada de humedad intermedia.

Una vez alcanzada la acidez buscada, pH de aproximadamente 5,2, se hace la prueba de hilado y se prosigue a cortar en bloques la cuajada ya despejada del suero excedente en la batea de desuerado.

Los bloques se introducen en la hiladora que cuenta con algunas características diferentes a la utilizada para la elaboración de la Mozzarella de alta humedad (Figura 2.17). La principal diferencia es que presenta un solo juego de brazos de inmersión, se compensa en parte el menor trabajo con unos 50 cm más de longitud en el sinfín horizontal donde comienza la plastificación de la cuajada.

El hilado se realiza en la mitad de tiempo comparando con la Mozzarella de alta humedad, procesando la cuajada producida por dos tinas (1200 kg) en una hora de trabajo. Para ello se hila con agua a mayor temperatura, superando la cuajada los 60°C, y los brazos mecánicos trabajan a una velocidad superior. Para lograr una masa más seca también se trabaja con un menor nivel de líquido, con la salida totalmente abierta.



Figura 2.17 Hiladora de Mozzarella para pizza. Se observa sección de sinfín (derecha de la imagen), sección de brazos de inmersión (debajo del tablero de control), compartimiento para salado del agua de hilado (a la derecha abajo, con tapa de acero) y formadora tipo carrusel (izquierda).

En la figura 2.18 se puede apreciar la pasta hilada para la elaboración de Mozzarella para pizza cuando se desplaza hacia la formadora de hormas.

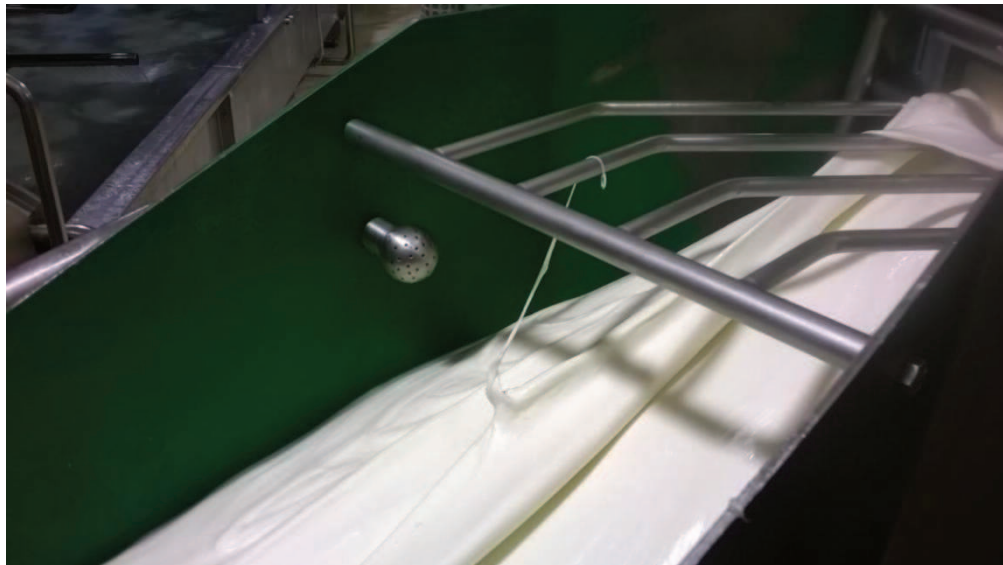


Figura 2.18 Salida de la cuajada hilada hacia la formadora.

La formadora de Mozzarella para pizza consiste en un carrusel que presenta los moldes, en forma de cilindros o prismas, dispuestos en filas unidas a un eje central. Estos se llenan con la masa que sale de la hiladora (sin enfriarse, se utiliza agua caliente en el carrusel). La pasta hilada desplaza en cada molde un pistón hacia arriba a medida que lo completa (Figura 2.19). Cuando los moldes de la fila están llenos, los pistones hacen contacto con un dispositivo que gira el carrusel, presentando una nueva fila de moldes para su llenado. Los moldes se vacían desplazando los pistones hacia abajo, liberando la Mozzarella ya formada en el canal de enfriamiento. Luego se limpian con agua y quedan dispuestos para volver a llenarse.



Figura 2.19 Formadora de Mozzarella para pizza, detalle de los pistones accionando el mecanismo que libera las formas y gira el carrusel.

El enfriamiento se hace con agua a 4°C, este cambio brusco de temperatura sella la piel del queso permitiendo un mejor comportamiento en el envase final.

El canal de enfriamiento tiene unos 12 metros de largo (Figura 2.20), la corriente de agua fría arrastra las hormas, y estas llegan flotando hasta el final del mismo donde son ingresadas a la envasadora.



Figura 2.20 Canal de enfriamiento de la Mozzarella para pizza.

Las presentaciones de la Mozzarella para pizza son en prismas de 1 y 2 kg envasados en vacío; y en flowpack prismas de 1 kg, cilindros de 1,2 kg y bandejas con 3 kg de Mozzarella cortada en cubitos y envasada en atmósfera modificada.



Figura 2.21 Prismas de Mozzarella para pizza de 2 kg en canal de enfriamiento.

Queso Scamorza

La Scamorza es un queso de pasta hilada de menor humedad que la Mozzarella. Posee un sabor más pronunciado, normalmente es un queso con una breve maduración.

En este caso se realiza el proceso de la Mozzarella para pizza y se suple la maduración con un mayor salado y el ahumado para darle sabor al queso. El ahumado se realiza en dos ahumaderos de unos 2 m³ cada uno, durante 50 minutos.

Se envasa en forma de prismas similares a los de la Mozzarella o con la forma tradicional de la Scamorza (lograda con cabezal especial en la formadora), esférica con un pequeño apéndice esférico (cabeza), de unos 250 gr por unidad.



Figura 2.22 Prisma de queso Scamorza ahumado de 2 Kg.

Visitas a plantas elaboradoras de quesos y de fermentos durante la pasantía realizada en Italia

Planta elaboradora de quesos de Galbani en Casale Cremasco

Galbani Edigio (S.P.A.) es la mayor industria de productos Lácteos de Italia y forma parte del grupo Lactalis (grupo francés que encabeza la clasificación de productos lácteos a nivel mundial). En la planta de Casale Cremasco, ubicada a unos 35 km de Lodi, se elabora Mozzarella, Crescenza, Provolone y un producto de pasta hilada reconocido en el mercado italiano por su nombre comercial Galbanino

En esta planta, el alto nivel de inversión en tecnología y el hecho de tratarse de una empresa multinacional hizo que el nivel de reserva de información sea alto, por lo que se describe a grandes rasgos la producción de la planta incorporando algo de información de relevancia.

Es una fábrica totalmente automatizada, el jefe de planta nos recibió y se pudo realizar con su guía, una visita completa a la planta, desde la producción del fermento hasta el envasado de los productos. En la figura 2.23 (única imagen que permitieron registrar), se muestran algunos productos elaborados en la planta.



Figura 2.23 Única imagen que permitieron registrar, presentación de algunos de los productos producidos en la planta.

Galbani puede procesar 1.500.000 litros diarios de leche con cerca de 400 empleados. La planta cuenta con un coagulador continuo, Coagulador, que es utilizado para elaboración de queso fresco tipo Crescenza (55-59% Humedad). Este equipo procesa 600.000 litros de leche diarios; combinado con una cinta que transporta los moldes y volteadores que los giran en tres posiciones del recorrido de 4 horas (Figura 2.24).

En la línea de pasta hilada se trabaja con tinas polivalentes y se produce Mozzarella con fermento comercial y el Queso Galbanino (producto con 48% de humedad y 90 días de vida útil antes de su vencimiento) con suerofermento. El fermento se cultiva en fermentadores, donde se multiplica y se obtiene una curva de crecimiento que permite la dosificación exacta. También se produce Mozzarella por acidificación directa.

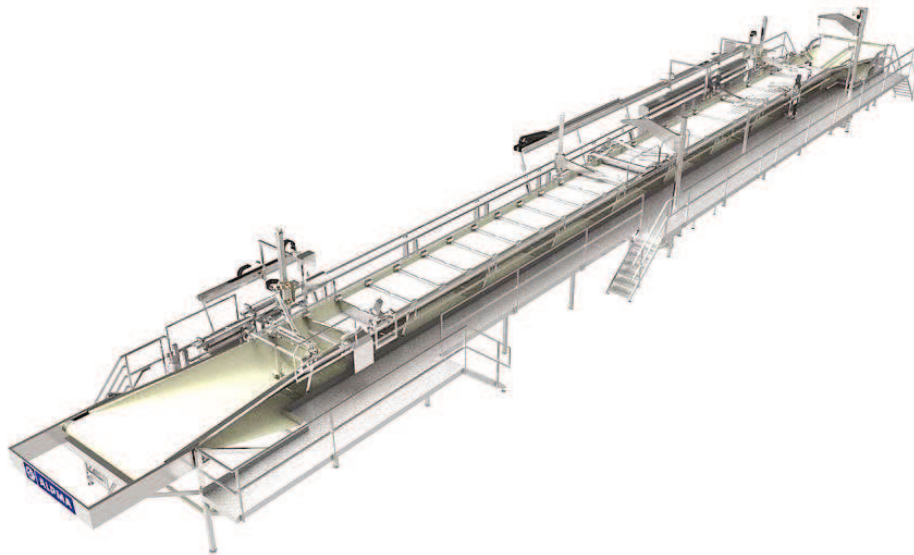


Figura 2.24 Modelo computarizado del coagulador continuo utilizado en la línea de Crescenza.

La empresa ha desarrollado en esta planta un novedoso sistema de acidificación de la cuajada de Mozzarella en tanques (de 10.000 litros) agitados a temperatura controlada.

También poseen un madurador que es utilizado para el Galbanino, este equipo cerrado tiene un recorrido de 4 horas a temperatura controlada (Figura 2.25).

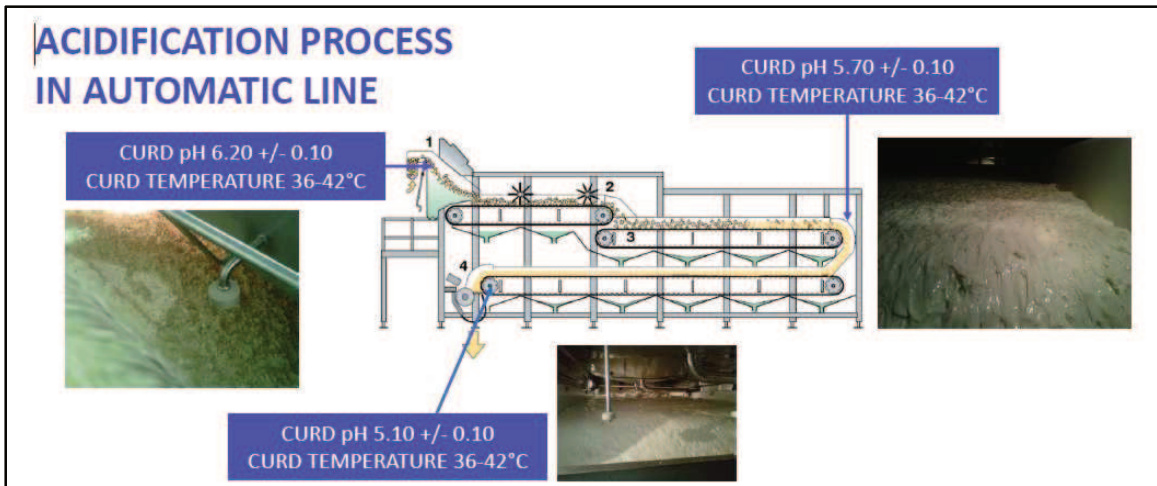


Figura 2.25 Madurador automatizado. Fuente Presentación Pasta Hilada Sacco.

La cuajada madurada ingresa a la hiladora impulsada por aire comprimido. Este equipo cuenta con dos fusores, uno vertical que trabaja con vapor e hila la cuajada a 68°C y otro horizontal que permite regular la humedad final del queso (64°C). Luego se ingresa a un canal de enfriamiento, para finalmente fraccionarse y envasarse o seguir una serie de baños de parafina para el Galbanino tradicional.

Se produce también una variante de Galbanino, denominado “Il saporito” (el sabroso), que logra el sabor de un queso con mayor maduración gracias a la incorporación de una proporción de queso maduro a la cuajada, previo al hilado en el fusor.

Planta de fermentos y cuajo de Clerici-Sacco en Cadorago

Clericci-Sacco es una de las principales productoras de fermentos para la industria láctea de Italia y tiene presencia a nivel mundial. Es también el productor más antiguo de cuajo bovino. El Mg. Adrian Gauna hizo la presentación de la empresa y en un recorrido nos permitió conocer en detalle la producción de fermentos lácticos y de cuajo de origen animal. Luego se prestó a una entrevista en la que brindó conceptos detallados acerca de los fermentos utilizados para la premaduración de la leche y la elaboración de Mozzarella. De esta manera se pudieron aclarar detalles que en la práctica y en las visitas a industrias no se habían podido obtener por desconocimiento o por ser información reservada.

- Cultivos utilizados para la premaduración de la leche

Son cultivos protectores con biocinas que atacan mohos, levaduras, listeria, etc., y pueden causar efectos positivos en el queso (por acción sobre la matriz proteica, mayormente). Se utilizan en valores de 10.000 unidades formadoras de colonia por ml de leche cruda, y en Italia se lo hace a temperaturas de 8 - 12 °C. Esto es posible debido a la alta calidad en cuanto a higiene de la leche, con recuentos muy bajos. En Latinoamérica debido a la menor sanidad de la leche se mantiene la temperatura baja (4°C o menos), por lo que el desarrollo es escaso y el efecto es producido en gran parte por la concentración de enzimas que acompañan al cultivo en el fermento comercial que se agrega. Ejemplos de estos cultivos son *Lactobacillus rhamnosus* y *Lactobacillus plantarum*.

- Cultivos para la elaboración de Mozzarella

La velocidad de acidificación del cultivo, mayormente distintas cepas de *Streptococcus thermophilus*, determina el nivel de desmineralización de la cuajada y mayormente la forma en que se produce. Pudiéndose lograr fibras más cortas o más largas.

Se comparó la curva de acidificación de dos fermentos utilizados en iguales condiciones (marca A y B) en la elaboración de Mozzarella y en base a las curvas de acidificación (Figura 2.26) el Mg. Adrian Gauna explicó las diferencias.

En el caso del cultivo de Marca A se observa una fase lag más extendida. Esto hace que la desmineralización sea más lenta y el ordenamiento de las fibras sea mayor, lográndose

fibras de mayor longitud. Esto se traduce en un queso con mejor *melting*, óptimo para la elaboración de pizza.

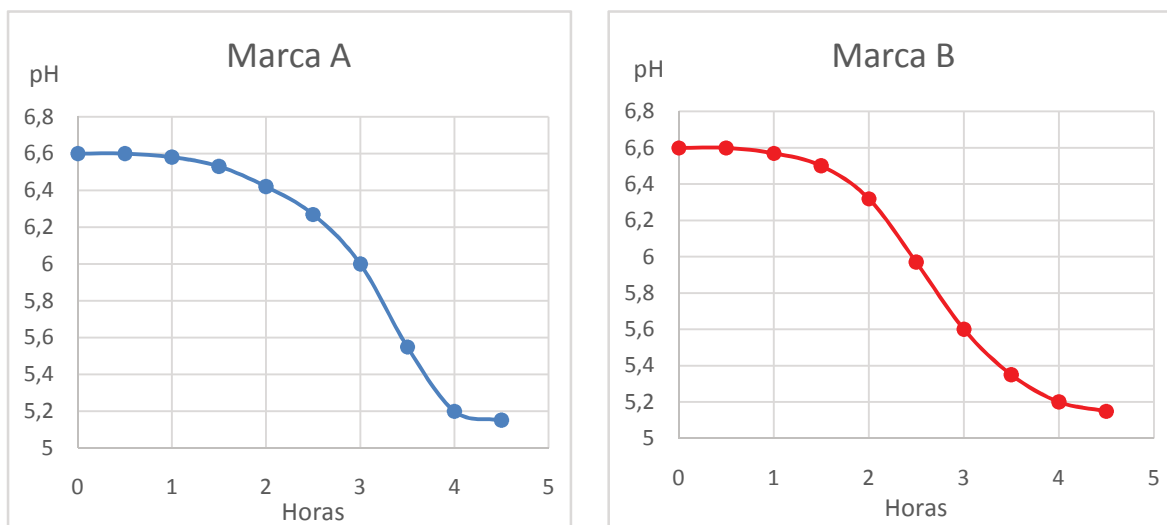


Figura 2.26 Curvas de acidificación de diferentes cultivos utilizados para la producción de Mozzarella (Esquema).

En el cultivo de Marca B, la acidificación es más abrupta, las fibras son más cortas y cierran la estructura de la cuajada permitiendo retener más líquido. Este tipo de fermento es óptimo para la elaboración de Mozzarella tradicional italiana.

La velocidad de acidificación, además de ser una característica de la cepa de cultivo, puede ser incrementada con la adición de compuestos capaces de acelerar el desarrollo microbiano (*boosters*) en la formulación del fermento.

TECNOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL QUESO MOZZARELLA

Tecnología de elaboración del queso Mozzarella

Principios

La elaboración de queso consiste, esencialmente, en formar un gel de caseína, producir su deshidratación (por sinéresis) y la posterior maduración del gel deshidratado. Si bien estas son las etapas básicas, comunes a cualquier tecnología, las variaciones en una o más de estas etapas durante la elaboración, produce quesos con diferentes texturas y características organolépticas. La tecnología de elaboración del queso Mozzarella (Figura 3.1) es similar a la de otros quesos de pasta blanda como el Cremoso o el Crescenza, con un proceso de coagulación de carácter predominantemente enzimático, diferenciándose principalmente por el característico proceso de hilado. La coagulación enzimática permite lograr un queso consistente, que adquiere forma en el moldeo y que puede retener humedad; mientras que los quesos con coagulación mayormente ácida forman un coágulo débil que debe ser mantenido en un envase y desuero rápidamente ante un esfuerzo mecánico.

El hilado es un procedimiento de texturado de la pasta, que se logra mediante la acción de una fuerza mecánica a elevada temperatura (55 a 70 °C). Para obtener una masa lisa y con la capacidad de formar largos hilos (10 g se deben poder estirar ~1 m) se necesita trabajar con una cuajada desmineralizada en una justa proporción.

Por acción enzimática se conforma la red tridimensional (cuajada), el calcio es parte fundamental de ésta y se fija en forma de fosfatotricálcico. Al aumentar la acidez, la cuajada se desmineraliza pasando las estructuras de enlace de las caseínas a fosfato monocálcico. Esta estructura más débil, se alinea por la acción del calor y el trabajo mecánico, quedando bandas de proteína separadas entre sí por grasa y agua libre.

Si la acidez es demasiado alta, las fibras se cortan fácilmente debido a una exagerada pérdida de calcio. Si por lo contrario no se llega a una desmineralización óptima, la masa es difícil de trabajar y la textura deseada no se logra, ya que un mayor trabajo de hilado, que sería necesario al manejar una masa de mayor consistencia, puede acarrear una pérdida elevada de materia grasa.

El aumento de la acidez se logra por acción microbiana (forma tradicional) o por acidificación directa.

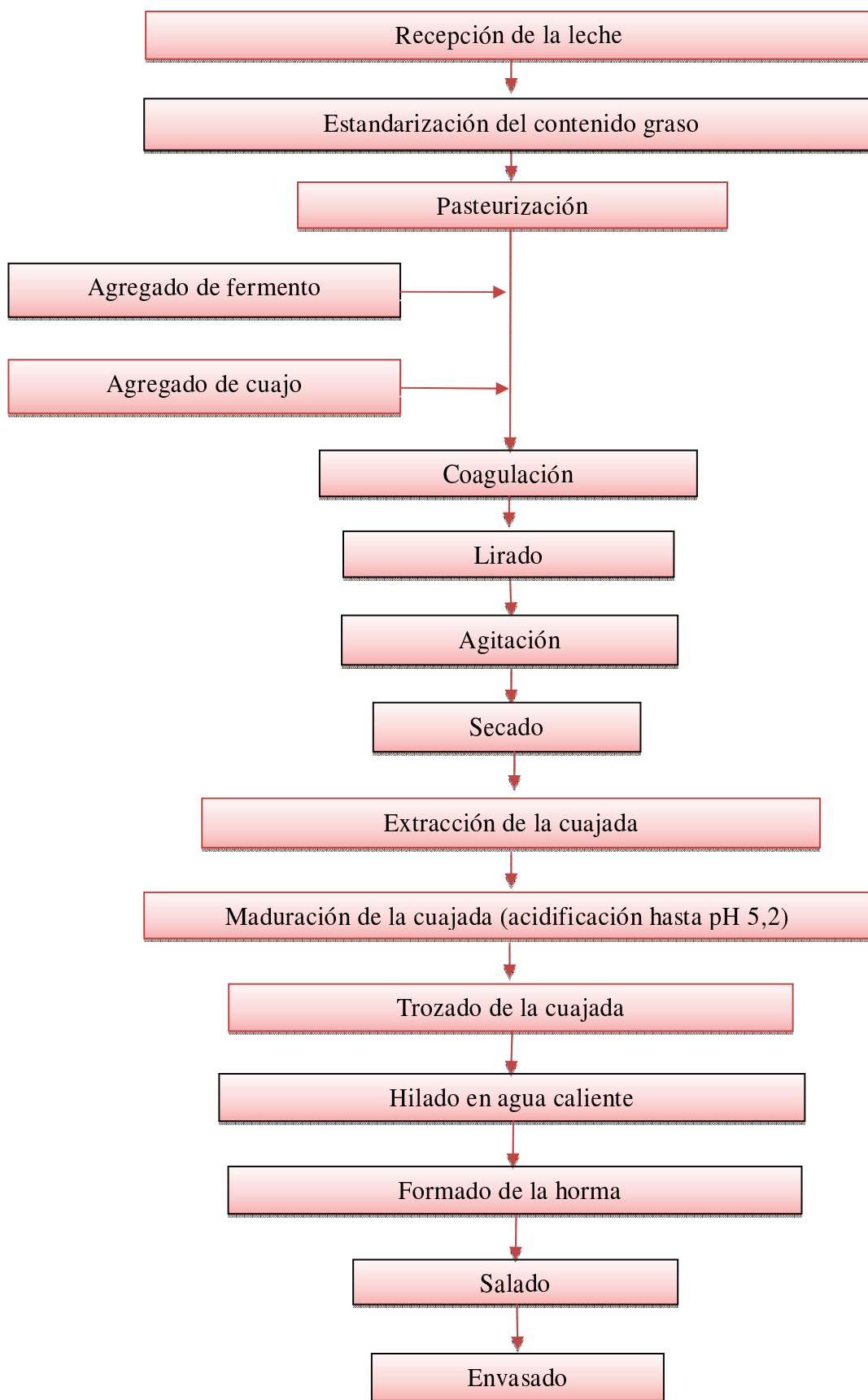


Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de Mozzarella

El proceso enzimático comienza con la acción del cuajo sobre la micela caseínica. Al cortarse (hidrolizarse) el enlace 105-106 (Phe-Met) de la k-caseína, ésta se divide en para-k-caseína hidrofóbica (péptidos 1-105) y en glicomacropéptido hidrofílico (GMP, 106-169). La emulsión entonces se desestabiliza y se forma el gel, predominantemente por acción de fuerzas de van der Waals entre las moléculas (Walstra, 2006:589). Una vez que se obtiene la firmeza del coágulo necesaria, se puede proceder a la deshidratación parcial del mismo mediante el corte de la cuajada (lirado). Para evitar la formación de finos, que significan un detrimento en el rendimiento, se debe trabajar con una cuajada firme, es decir, se debe lograr que el coágulo sea lo suficientemente duro como para que al cortarlo no se subdivida.

La temperatura de elaboración, junto con el tamaño de grano, define la humedad retenida en la cuajada. Para elaborar Mozzarella de alta humedad se suele trabajar a una temperatura constante entre 38 y 40°C y cortar la cuajada en cubos de 2-2,5 cm de lado. Realizar el trabajo en tina a temperatura constante evita el mayor desuerado que podría causar un aumento de la misma. Con el mismo objetivo de obtener un queso de elevada humedad se busca tener granos de cuajada del tamaño de una avellana, si la granulometría sería menor, el aumento del área superficial aumentaría el desuerado y se tendría una cuajada más seca.

En el caso de la Mozzarella para pizza, se trabaja con un tamaño de grano menor (aproximadamente 1 cm de lado), y con variantes en cuanto a la temperatura de coagulación que contemplan el calentamiento en un par de grados de la cuajada, para favorecer el desuerado y lograr una buena temperatura en el período de acidificación.

Una vez logrado el grano del tamaño deseado se deja reposar la cuajada bajo suero hasta lograr la desmineralización deseada. El pH de la cuajada en este punto tiene especial relevancia ya que el equilibrio del Ca se ve influido directamente por este factor.

El Ca cumple la función de unir las moléculas de caseínas, formando puentes salinos entre las zonas con carga negativa de la paracaseína (grupos fosfato)(Figura 3.2). Se ha llegado a la conclusión de que el fosfatotricálcico es la forma más probable de unión entre las micelas que forman la red tridimensional llamada cuajada (Fox y McSweeney, 1998).

La disminución del pH desplaza el equilibrio del Ca, aumentando la concentración de Ca soluble (como HPO_4Ca^+ y Ca^{2+}), pasando el fosfatotricálcico a fosfatomonocálcico (Walstra, 1999). Así la estructura proteica de la cuajada queda debilitada y puede, por

efecto de la temperatura y la acción mecánica, reestructurarse formando hilos que rodean la grasa y el suero retenido (Figura 3.3).

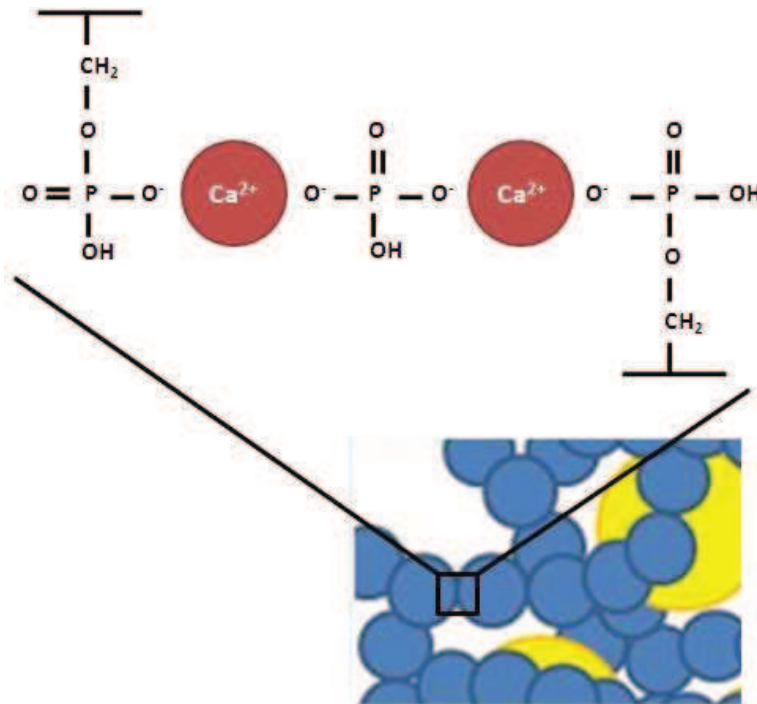


Figura 3.2 Esquema de puentes salinos con grupos fosfatos enlazando las micelas de caseína. Adaptado de imágenes presentadas en www.cheesescience.org.

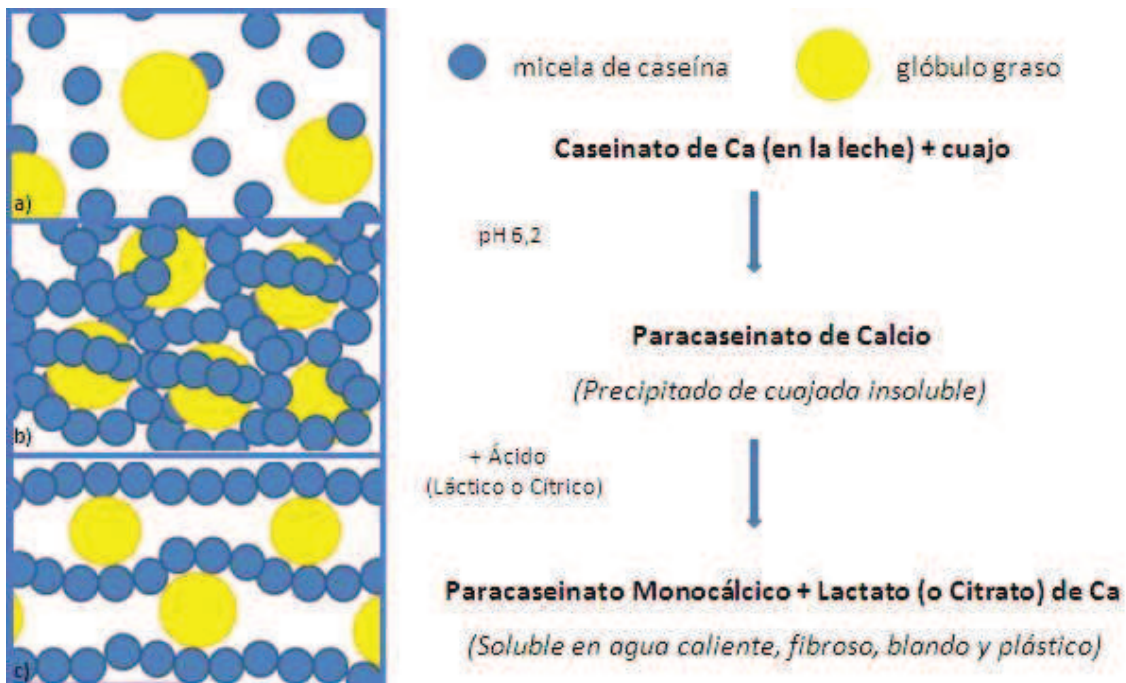


Figura 3.3 Esquema del equilibrio Ca y los cambios en la conformación de la cuajada.

La cuajada se corta en trozos delgados para favorecer el intercambio de calor y de esta manera lograr que la masa se hile de manera uniforme en el menor tiempo posible.

El hilado se logra trabajando la cuajada a una temperatura de entre 55 y 70 °C. Una vez superados los 50°C se solubiliza la grasa, esto suaviza la cuajada permitiendo el estiramiento de las fibras proteicas con la acción mecánica. Superados los 70°C las caseínas comienzan a hacerse más flexibles (Walstra, 1999:132) y la pérdida de grasa es extrema, perdiéndose toda estructura. Si la red proteica es firme, por no estar descalcificada, la temperatura para plastificarla debe ser mayor (Fox y col., 2017c). Por estos motivos en la elaboración de Mozzarella de búfala las temperaturas de hilado son mayores que para la elaboración de Fior di latte (Figura 3.4).

La aparición de finos hilos en la masa ya flexible y brillante en superficie muestra que el proceso está finalizado (10 g de masa se deben poder estirar hasta 1 m). Si se continúa trabajando la masa, la pérdida de grasa será excesiva y los hilos comenzarán a cortarse fácilmente al ser estirados, este producto tendría finalmente una textura gomosa y defectuosa (Ghitti y col., 1996).

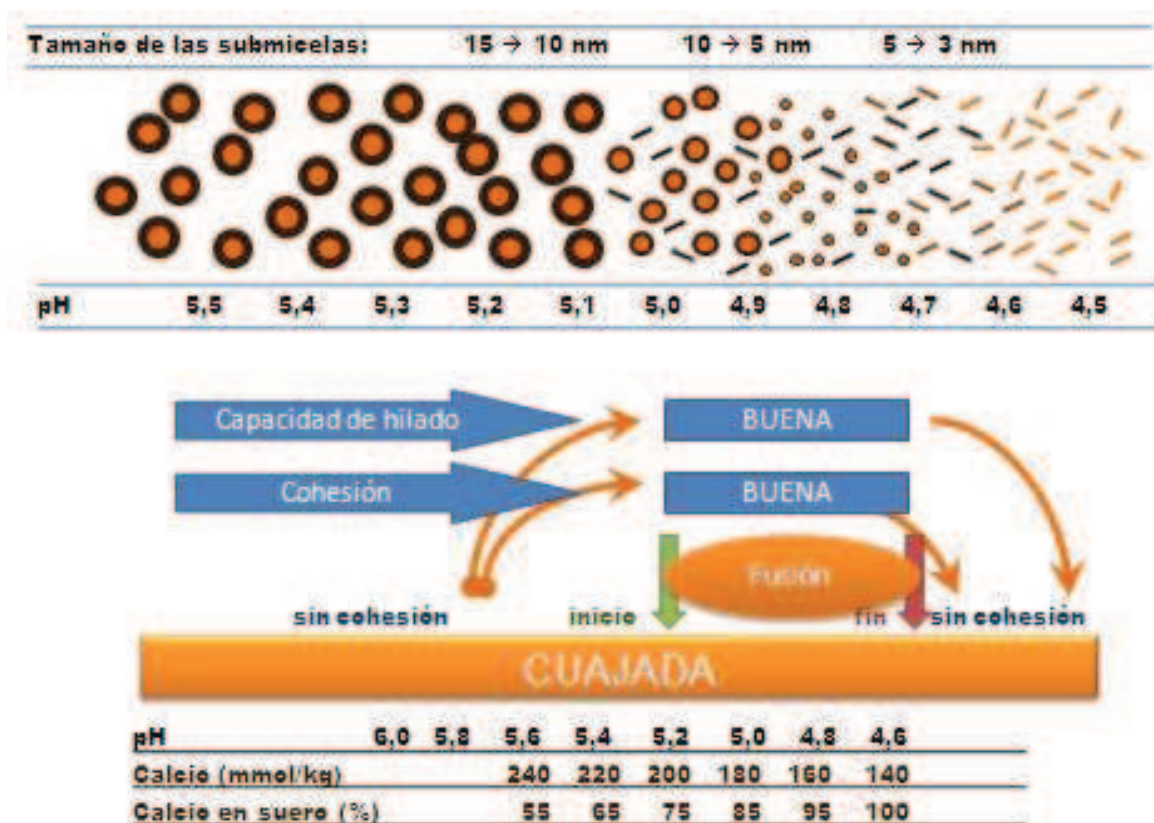


Figura 3.4 Descalcificación de la cuajada de leche de búfala y variación de la aptitud para el hilado en función del pH. Adaptado de Addeo, F. y col, 1995.

Una vez logrado el punto de hilado deseado se debe dar la forma definitiva al queso, este procedimiento finaliza bajando rápidamente la temperatura con agua helada. El frío permite conservar la forma del queso y también su brillo característico.

El salado del queso puede realizarse en esta última etapa de enfriado, durante el hilado mediante el agregado de sal al agua caliente o agregando la sal en seco a la cuajada feteada previo al ingreso a la hiladora (cheddarizado).

Cuando se elabora Mozzarella tradicional, llegada esta instancia, ya se encuentra lista para su consumo, la misma no requiere maduración. Por lo general, para que conserve su brillo exterior y no se seque por fuera, se la conserva en líquido de gobierno. Esta solución básicamente debe ser isotónica, para evitar la migración de sales entre el líquido y la Mozzarella, y debe estar tamponada a un pH similar al del queso.

En cambio, a la Mozzarella para pizza se acostumbra envasarla al vacío y otorgarle un período mínimo de maduración de unos 15 días. Este período de tiempo permite una proteólisis del queso que le confiere las características deseadas, especialmente mejorando la manera en que se expande sobre la masa al calentarse (meltability) (Banville y col., 2013) y el consumo de la galactosa por parte de los lactobacilos, lo que evita la aparición de manchas oscuras por reacciones de Maillard durante la cocción (browning). También es común en el caso del Pizza Cheese someter al queso a un proceso de extrusión y corte para la formación de pellets (schredding) y el congelado de los mismos con el fin de facilitar su aplicación y dosificación sobre la masa de pizza.

Factores que influyen en la calidad del producto

Los factores que influyen en la calidad del producto son tantos como variables posibles tiene el proceso. Se intenta en la presente sección enumerar los principales.

a. Calidad de la leche y tipo de leche

La calidad de la leche es siempre requisito fundamental para la obtención de un buen queso, y las variantes que se tienen en la materia prima requieren una adaptación del proceso para mantener un producto de propiedades estables.

Si bien la Mozzarella surgió como una alternativa válida para procesar leche ácida, y es posible conseguir un producto consumible a partir de la misma, la utilización de una calidad estable de leche permite obtener un producto de calidad.

Es recomendable estandarizar la relación grasa/proteínas, o mejor aún caseína/grasa de la leche con que se va a trabajar para definir así el nivel deseado de grasa en materia seca del queso.

Un aumento en la relación caseína/grasa da como resultado una cuajada más firme que, para ser hilada correctamente, necesita un mayor descenso de pH. Un claro ejemplo de esto es que el punto de hilado de la Mozzarella elaborada con leche de búfala se alcanza con un pH de la cuajada cercano a 4,9, mientras que cuando se trabaja con leche bovina éste ronda un pH de 5,2.

Para elaborar Pizza Cheese se utiliza leche parcialmente descremada, con un contenido de grasa de entre 1,8–3% (relación grasa/proteína = 0,7–0,9, queso con un 15–20% de grasa en base húmeda). De esta manera se evita la liberación excesiva de aceite al fundirse sobre la pizza.

En cuanto a la homogeneización de la leche, se han realizado estudios sobre su efecto en Pizza Cheese. A altas presiones de homogeneización, 10300 y 17200 kPa, el resultado fue un producto de mayor firmeza y menor capacidad de esparcirse al ser calentado (melting) (Tunick y col., 1993). Sin embargo se han hecho pruebas a baja presión de homogeneización (400kPa) que probaron reducir la liberación de aceite (free-oil) sin afectar el melting (Lelievre y col., 1990). La homogeneización permite tener un queso blanco sin el agregado de aditivos.

La calidad bacteriológica es también importante, si bien el tratamiento térmico que recibe la leche es suficiente para la eliminación de patógenos, la carga enzimática podría traer resultados no deseables especialmente en los casos en que se requiere conservar el queso antes de su consumo.

La leche debe ser pasteurizada, se han realizado estudios que prueban que aún con hilados a altas temperaturas, bacterias patógenas sobreviven (la matriz proteica tendría un efecto protector) (Raimundo y col., 2013).

La temperatura de pasteurización no puede ser excesiva, la desnaturalización de las proteínas del suero impide obtener un buen producto y con pasteurizaciones a temperaturas mayores a los 80°C el hilado no se puede realizar.

Una vez que se baja la temperatura, se recomienda el agregado de calcio (0,01–0,02 % de CaCl₂) para reponer la fracción insolubilizada durante la pasteurización. El calcio precipita a alta temperatura y su presencia es importante en la formación de enlaces entre las micelas de caseínas. Se reduce así el tiempo de coagulación y se obtiene un coágulo más firme que se traduce en un mejor trabajo en tina (con menores pérdidas por desprendimientos de finos que se van con el suero) y en una red proteica más estable que permite la formación de hilos más largos.

b. Starters utilizados

En las queserías tradicionales italianas se acostumbra utilizar suerofermento para la elaboración de la Mozzarella, el suero de la elaboración previa se acidifica hasta 40-60°SH y se inocula al 2,5% (De Angelis y col., 2011). Se han realizado numerosos estudios para analizar la composición de este suero fermento, de ellos se desprende que los mismos están compuestos por una amplia variedad de lactobacilos termófilos y mesófilos, estreptococos, lactococos y enterococos. Dentro de las bacterias lácticas dominantes identificadas se pueden citar: *S. thermophilus*, *L. delbruekii subsp. bulgaricus*, *L. helveticus*, *L. plantarum*, *L. fermentum*, *L. casei subsp. Casei*, *Lc. Lactis*, *Lc. Garviae* y *E. faecalis* (Candia y col., 2007).

El objetivo principal del starter en este tipo de quesos es lograr una rápida acidificación (llegar al pH de hilado en menos de 3 horas) para evitar prolongar el tiempo de desuerado y así poder obtener un queso de alta humedad. Si bien la acidificación directa es posible, la

acidificación por medio de cultivos microbianos confiere al producto mejores características de flavor y reológicas (Coppola y col., 1990).

La relación bacilo/coco toma importancia cuando se analiza la proteólisis del queso. El carácter más proteolítico de los bacilos lleva a un producto menos sostenido en el tiempo y con mejores características de melting. Pero en el caso de que se quiera obtener un producto para consumo en frío de mayor duración es conveniente reducir su cantidad. Si se aumentase la relación bacilo/coco también debe aumentarse la cantidad total de inóculo para mantener los tiempos de acidificación, ya que el *S. thermophilus* posee mayor capacidad de acidificación a pH mayor a 5,5. La menor capacidad del estreptococo de acidificar a bajo pH permite estabilizar la acidez al alcanzar el pH de 5,2 impidiendo una rápida sobreacidificación (Kindsted y col., 1999).

El starter puede influir en la calidad del queso por su capacidad o incapacidad de consumir la galactosa. El metabolismo de la lactosa por parte de los cultivos lácticos puede llevar a una acumulación de galactosa cuando el cultivo sólo consume la molécula de glucosa luego de la hidrólisis del disacárido. El agregado de *L. helveticus* en Pizza Cheese permite prevenir el browning durante la cocción gracias a su consumo de la galactosa, evitando la formación de color debido a reacciones de Maillard del azúcar con los péptidos. Estos microorganismos no son usados en proporciones mayores al 10 % debido a su alto poder proteolítico y capacidad de sobreacidificación.

También son usadas mezclas de *S. thermophilus* con microorganismos mesófilos como *Lactococcus lactis subsp. lactis* o *Lactococcus lactis subsp. cremoris*. Estas bacterias son galactosa + por lo que reducen el browning y aportan sabor y aroma con sus proteasas. Su uso, si bien se da en bajas proporciones, retarda el desarrollo del cultivo termófilo conduciendo a elaboraciones con acidificaciones más lentas.

Otra manera de reducir el browning es la disminución de los péptidos por utilización exclusiva de cocos, de esta manera, si bien se pierde la simbiosis bacilo-coco, se logra una menor acción proteolítica.

c. Coagulante

Se utiliza mayormente como coagulante la quimosina, evitando la pepsina y otros coagulantes porque su mayor actividad proteolítica puede influir en la calidad del queso

cuando es conservado. Se han hecho ensayos comparativos con proteasas de *Endothia parasítica* y *Mucor miehei*, estos determinaron un mejor comportamiento de la quimosina (Yun y col., 1993).

A pesar de que podría creerse que el trabajo de hilado a altas temperaturas inactivaría las enzimas por completo, esto no sucede ya que el pH bajo de la cuajada en esa instancia las favorece generando una inactivación parcial. Es recomendable entonces utilizar la cantidad necesaria para no extender el tiempo de corte de la cuajada en demasía (más de 40 minutos) y ser cuidadoso en no excederse con su dosificación.

Para la Mozzarella de alta humedad es importante trabajar con un coagulante de alta pureza. De esta manera se reduce la proteólisis y se asegura una cuajada capaz de retener la humedad al ser plastificada en la hiladora.

d. Temperatura de coagulación

La temperatura de cocción de la cuajada es una manera de regular la humedad final del queso. Cuando se calienta el coágulo, procedimiento denominado comúnmente como cocción, se obtiene una menor humedad final en el queso. Esto se debe a que el aumento de temperatura provoca la contracción de los granos y una mayor liberación de suero.

La temperatura de trabajo en tina depende en gran medida de las condiciones óptimas para el desarrollo de los microorganismos. En el caso de la Mozzarella, el empleo de bacterias termófilas como starter exige que la cuajada se mantenga a una temperatura lo más cercana posible a los 40 °C para evitar que los tiempos de acidificación se prolonguen.

Una solución de compromiso para mantener los tiempos de elaboración y obtener un queso de alta humedad es coagular y mantener la cuajada a una temperatura constante y óptima para el desarrollo de los microorganismos termófilos (38°C - 40°C). Esta opción es la más difundida en Italia.

Si lo que se desea obtener es un queso de menor humedad, tipo Pizza Cheese, existen muchas variantes, pero las más difundidas son dos alternativas:

- 1) la utilización de una combinación de *S. thermophilus* con una coagulación cercana a 37 °C y un calentamiento entre los 40–42 °C. Su uso conlleva una acidificación cercana a las cuatro horas, pero tiene como ventaja la baja capacidad proteolítica de estos microorganismos y su lento desarrollo cuando se alcanzan valores de pH entre 5,2–5,1.

2) el uso de una combinación de *S. thermophilus* y *Lactobacillus delbruechii subsp. bulgaricus* coagulando a una temperatura menor, cercana a los 35 °C, y una cocción hasta los 42–45 °C (más utilizada en EE.UU). Esta variante acelera la acidificación gracias a la cooperación que se da entre bacilos y cocos, logrando llegar a pH de hilado en tiempos cercanos a las tres horas. No obstante, tiene como inconveniente la posible sobreacidificación de la cuajada, por lo que se debe ajustar la tecnología para evitarlo.

e. Trabajo en tina

El trabajo de la cuajada en tina influye directamente en la humedad final del queso. El manejo del tamaño de grano junto a la acidificación de la cuajada regula el desuerado, es decir la liberación del agua y los solubles retenidos en la red conformada por las micelas de caseína.

Un mal manejo de la cuajada puede acarrear pérdidas de rendimiento debido a una excesiva formación de finos. Esto sucede cuando la cuajada, en lugar de ser cortada limpiamente, se rompe, ya sea porque no alcanzó la firmeza necesaria para el lirado o porque es maltratada con una excesiva aplicación de fuerza de corte.

Por lo antedicho, es importante cortar la cuajada en el momento en que el coágulo tiene la consistencia suficiente para ser lirado sin formar finos. En este punto, el coágulo no se rompe sino que se abre delante del filo de la lira por acción de la tensión de corte dejando lugar al elemento de corte y evitando que éste arrastre fragmentos de cuajada.

En el caso de la Mozzarella de alta humedad, el tamaño de grano logrado debe ser del tamaño de una nuez, superior a los 2 cm³. Esta granulometría permite el desuerado de la cuajada, aumentando la superficie de intercambio pero sin hacerlo de manera excesiva.

Para elaborar un queso de humedad media como la Mozzarella para pizza, el tamaño de grano (cubo de cuajada) debe ser el de una avellana, ligeramente superior a 1 cm³.

Luego del corte se debe esperar el tiempo suficiente para que los granos se consoliden, liberando suero y contrayéndose, para posteriormente continuar la agitación.

f. Acidificación de la cuajada

El descenso de pH tiene, como se explicó con anterioridad, el objetivo de desmineralizar la cuajada para su posterior hilado.

Una opción válida para incrementar la velocidad de acidificación y reducir los tiempos de elaboración es dejar madurar la cuajada bajo suero. De esta manera se favorece la acidificación, ya que se mantienen las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos termófilos. Un inconveniente de esta variante es la dificultad de detectar el punto de hilado con precisión.

La alternativa que surge es comenzar la acidificación bajo suero y ya en un estadio avanzado drenar el suero remanente y dejar acidificar la cuajada sobre mesada.

En el caso de la acidificación directa, el suero se drena y se hila directamente, ya que el ácido se dosifica para lograr el pH de hilado.

La solubilización del calcio coloidal afecta la estructura de las micelas de caseína, haciéndola más abierta y permitiendo un mayor acceso del coagulante residual al interior de la red proteica. Al mantener la cuajada bajo suero por un período mayor de tiempo, se produce una mayor retención de coagulante residual en la cuajada, aumentando la proteólisis primaria (O'Keeffe y col., 1975). Este efecto potencia el cuidado que debe tenerse tanto en la selección como en la cantidad de coagulante a utilizar, ya que la proteólisis afecta la durabilidad de la estructura típica de este tipo de quesos, haciendo desaparecer rápidamente las fibras y generando una estructura similar a la de un queso cremoso.

También se ha demostrado que la retención de la quimosina en la cuajada aumenta notablemente por debajo del pH 5,6 probablemente debido a la variación en las cargas de las moléculas que favorece la interacción del coagulante con las micelas caseínicas (Bansal y col., 2007). Por lo que resulta recomendable retirar la cuajada del suero una vez alcanzado este grado de acidificación.

g. pH de hilado

El punto de hilado, o sea el momento en que la cuajada está pronta para ser hilada, se determina normalmente mediante una medición potenciométrica. Otra manera de detectarlo es haciendo la prueba de hilado. Generalmente se hace un seguimiento del pH de la cuajada y cuando se acerca al valor deseado se realiza la prueba de hilado hasta el punto en que se logra la textura deseada.

El pH al que se hila la cuajada es determinante en la calidad final del producto. Si se hila la cuajada a un pH elevado, se requiere de mayor trabajo de hilado para lograr una pasta elástica y esto acarrea pérdidas de rendimiento.

Si por el contrario la cuajada se sobreacidifica, la resistencia de las fibras es tan débil que estas se cortan fácilmente, liberándose también la grasa y obteniéndose un producto duro y difícil de masticar. En el caso de excederse demasiado la estructura se desintegra y es imposible hilarla.

Se puede elegir hilar a un pH más alto del óptimo (en términos de trabajo mecánico en hiladora) cuando se quiere obtener un producto de mayor vida útil y que por ende requiera de un proceso de maduración (proteólisis) para alcanzar una textura ideal.

h. Temperatura y trabajo de hilado

El trabajo mecánico ejercido durante el hilado es inversamente proporcional al rendimiento y la calidad del queso. Cuanto mayor sea el tiempo y la fuerza que se aplica mayores serán las pérdidas; grasa y Ca se pierden en el agua de hilado, resultando también en un queso de menor humedad (Renda y col., 1997).

Las altas temperaturas, si bien son una variable necesaria, ejercen también un efecto perjudicial cuando la cuajada se somete a un calentamiento que se prolonga en el tiempo. La temperatura facilita el trabajo de hilado disminuyendo los tiempos necesarios para plastificar la cuajada y lograr la textura buscada, pero deben evitarse los daños producidos por exceso de la misma, especialmente la pérdida de grasa.

Si la temperatura de hilado es baja y la velocidad de trabajo de los amasadores es elevada, la masa no estará preparada para soportar los esfuerzos mecánicos perdiendo grasa y humedad.

Se debe llegar a una opción de compromiso, logrando un balance entre temperatura y trabajo que reduzca los tiempos pero sin deteriorar la cuajada por un exceso de temperatura o de fuerza aplicada. La cuajada se hila con resultados óptimos entre los 55°C y los 70°C. Temperaturas de entre 62°C-66°C se presentan como un límite para la sobrevivencia de las cepas del starter y de las enzimas coagulante residual (Kindstedt y col., 2004), por lo que este parámetro es de gran importancia en la proteólisis del queso.

i. Salado

El salado más allá de su efecto directo en el sabor influye también en el equilibrio osmótico del producto. La Mozzarella de búfala o la tipo Fiordilatte son quesos que se caracterizan por ser poco salados, entre el 0,5% y el 1,5%. El Mozzarella para pizza normalmente requiere un salado suave de entre 1 - 1,5 %.

El momento en que se agrega la sal también puede influenciar la humedad final del queso. Si el queso es salado previamente al hilado, la sal incorporada en la cuajada fuerza la incorporación de más agua en busca del equilibrio osmótico.

Si se sala en salmuera luego del enfriamiento o durante el mismo, un exceso de salazón puede provocar daños en la piel de la Mozzarella debido al intercambio salino con el medio. Se debe cuidar que el pH de la salmuera sea cercano al del queso (aprox. pH 5,2) y también agregar algo de calcio (0,06%), de esta manera se evitan gradientes pronunciados de concentración de los componentes minimizando el intercambio osmótico.

El salado en el agua de hilado facilita la operación, acortando los tiempos con respecto al salado en salmuera, pero, por lo anteriormente dicho, la estructura cambia debido a la incorporación de la sal, cambiando las propiedades de hilado. Si se sala antes del enfriamiento, se debe tener en cuenta que puede haber una migración de la sal hacia el agua fría lo que podría generar una corteza húmeda en el queso. Para evitar estos inconvenientes una solución es efectuar un primer salado suave mediante el agua de hilado y luego complementarlo en un baño de salmuera.

Almacenamiento y conservabilidad

Como todo queso fresco la mozzarella debe ser conservada en frío, a temperatura de heladera (4°C - 8°C) y mantener la cadena de frío hasta su consumo. A temperaturas mayores la actividad microbiana crece y la proteólisis se acelera (Costabel y col., 2007).

Tradicionalmente la Mozzarella de alta humedad es envasada sumergida en un líquido de gobierno. El líquido cumple la función de mantener la humedad de la superficie del queso, conservando así el brillo característico.

El líquido de gobierno, en el caso de un consumo casi inmediato, se compone de una mezcla de suero y agua de hilado, también puede ser sólo agua estéril. Para una mejor conservación se utiliza una solución estéril con concentraciones permitidas de sorbato de

potasio, CaCl_2 y tamponada con citrato de sodio a un pH cercano al del queso. Tradicionalmente la acidéz del líquido de gobierno se lograba dejando “madurar” el agua de hilado, lográndose un pH inferior debido al desarrollo de los microorganismos termófilos. La sal debe estar en bajas concentraciones, similares o por debajo de la presente en el queso para evitar el daño de su superficie que se produce cuando la sal se incorpora al mismo, equilibrando por ósmosis las concentraciones de los compuestos. Agregar cultivos protectivos al líquido de gobierno es una práctica utilizada para mejorar la conservación de la Mozzarella de alta humedad.

Hoy en día nuevas técnicas de envasado, al vacío o con atmósfera modificada, pueden lograr su conservación por un tiempo que puede extenderse hasta los 15 días para los quesos de muy alta humedad y de 6 meses a un año para los de menor humedad.

En el caso del Pizza cheese, el producto se puede conservar congelado, también se puede someter a altas presiones, HHP (*High Pressure Processing*) (Martínez Rodríguez y col., 2012), de esta manera se detiene fuertemente la proteólisis, inactivando las enzimas del queso y permitiendo conservar a la Mozzarella para pizza por 6 meses.

Maduración

La Mozzarella de alta humedad es un producto que no requiere maduración y siempre se ha apreciado su consumo inmediato. Sin embargo, con el avance de la higiene en la producción y las nuevas técnicas de envasado se ha logrado una “maduración” del producto, es decir prolongar su vida útil (*shelf life*) consiguiendo una mejora o al menos una diferenciación positiva del mismo.

Se pueden evaluar análisis hechos para productos como el Pizza cheese o la Scamorza, que sí requieren de una maduración aunque sea corta (15 a 30 días respectivamente), y apreciarse así características sensoriales que se exaltan con el tiempo, como también defectos que surgen y se acentúan con el correr del mismo.

Los cambios de las propiedades de la Mozzarella pueden atribuirse principalmente a la degradación de las proteínas (proteólisis) y a cambios fisicoquímicos. La lipólisis, que puede ser apreciada en quesos de pasta hilada de larga maduración como el Provolone, no se presenta como un fenómeno a tener en cuenta en estos quesos frescos.

La proteólisis en el queso Mozzarella se da fundamentalmente por acción del coagulante residual y la proteasa natural de la leche, la plasmina (Barbano y col., 1993). Mientras algunos autores le dan una importancia relevante a la acción del coagulante en la proteólisis primaria (Hynes y col., 2004; Hayes y col., 2002), otros la desestiman (Kindstedt y col., 1995). Al comparar estos trabajos de investigación se confirma que la variabilidad del proceso condiciona las características del producto, influenciando así la proteólisis y pudiéndose llegar a conclusiones diversas ante pequeñas diferencias en la metodología de elaboración. A modo de ejemplo, en un caso en que el coagulante residual no tuvo efectos notorios, su presencia se vió reducida por parámetros del proceso como una extracción de la cuajada del suero a pH 6,4 (Kindstedt y col., 1995). En otra experiencia realizada para analizar el nivel residual de coagulante en diversos tipos de quesos, si bien el queso Mozzarella quedó en el grupo de aquellos con menor actividad residual de coagulante, una de tres muestras mostró un nivel elevado de la misma debido a diferencias en el protocolo de elaboración (Bansal y col., 2009).

La quimosina actúa hidrolizando casi exclusivamente la α 1-caseína, dejando la β -caseína prácticamente intacta. La subsiguiente hidrólisis de los péptidos resultantes (proteólisis secundaria) se produce a una velocidad mucho menor (McMahon y Oberg, 2011). En base a esto se puede afirmar que, cuando se quiere prolongar la vida útil, la reducción del coagulante residual es sumamente importante porque su acción promueve y acelera la proteólisis del queso.

El avance de la proteólisis con el tiempo deriva en un defecto, la pérdida de la estructura fibrosa de la Mozzarella, resultando en una textura similar a la de un queso Cremoso.

Surgen también con la proteólisis compuestos de flavor que pueden ser apreciados por los consumidores. Por ejemplo, en el caso de utilizarse un fermento con capacidad de hidrolizar el ácido cítrico/citrato, como el *Lactococcus lactis subesp. diacetillactis*, surgen compuestos como el diacetilo y la acetoína (Figura 3.5, McSweeney 2004).

En cuanto a los cambios fisicoquímicos, se aprecia que, con el paso del tiempo, el agua que estaba en forma libre entre las fibras comienza a incorporarse, relajándolas y dando como resultado una estructura más suave del queso. Una explicación a este proceso es que el NaCl disuelto en los bolsones de suero, en su migración hacia la estructura caseínica,

contribuye a la hidratación de ésta en un proceso de solvatación y disolución (Kindstedt, 2004).

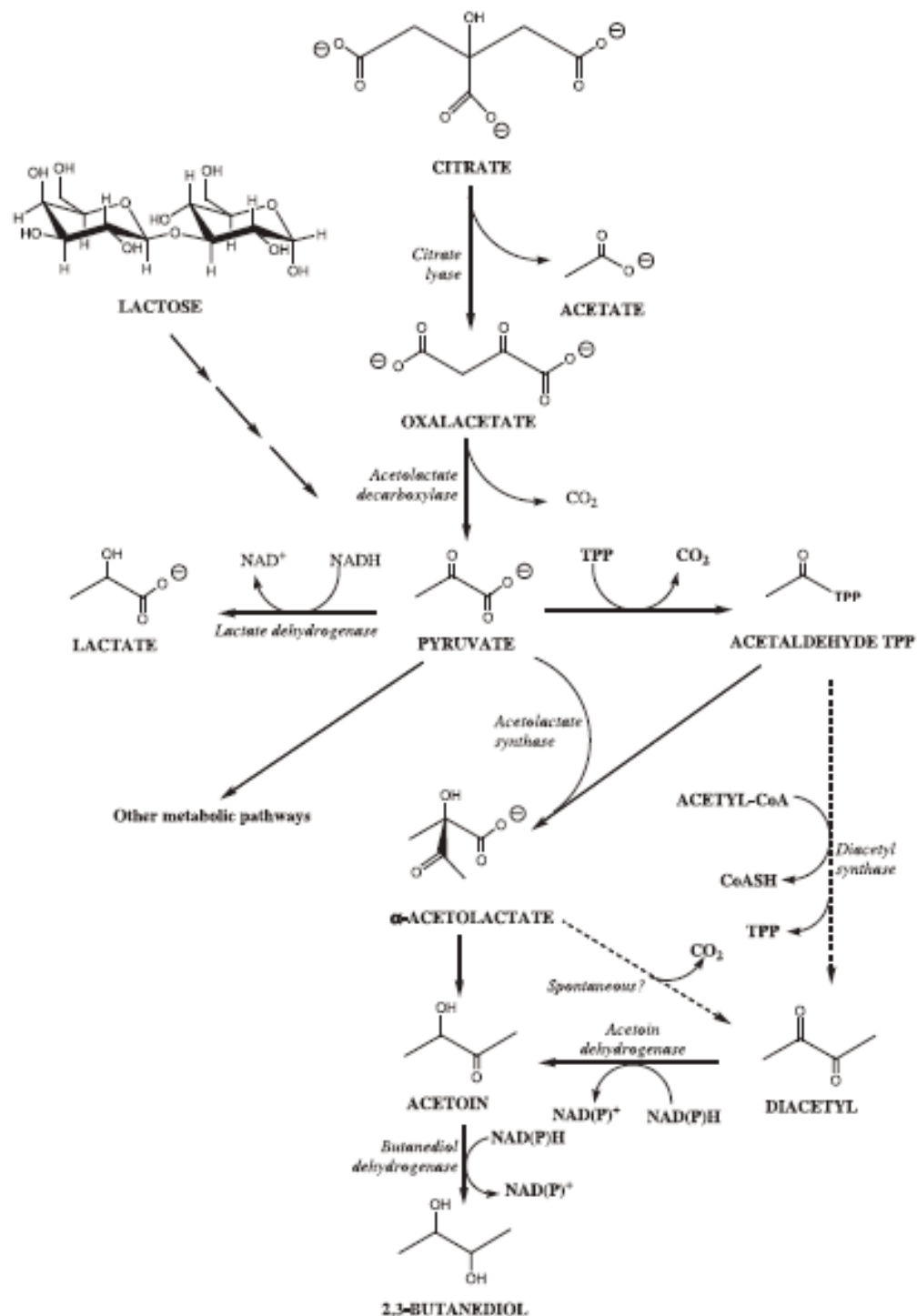


Figura 3.5 Camino de formación de compuestos de aroma a partir del citrato/lactato (McSweeney 2004).

Características sensoriales, reología y estructura

En comparación con otros quesos se puede decir que la Mozzarella es un queso de sabores suaves. La escasa maduración no permite un desarrollo elevado de los compuestos de flavor, destacándose por lo tanto un sabor láctico ligeramente ácido.

La estructura de los quesos de pasta hilada se va transformando desde su elaboración hasta el final de la maduración. En el caso de la Mozzarella de alta humedad, por ser un queso de escasa a nula maduración, su estructura quedaría definida al finalizar el proceso de elaboración.

Durante la elaboración, una vez lograda la coagulación, las micelas de caseína se van aglomerando a medida que se acidifica la cuajada y se libera el suero retenido. Luego en el proceso de hilado las micelas se alinean formando estructuras longitudinales. Estas fibras vistas con un microscopio electrónico se observan como columnas, separadas entre sí por canales en los que la grasa se encuentra fundida en dispersión con la fase acuosa, mientras que las bacterias se concentran en la interfase, rodeando los delgados hilos de proteína (Obergh y col., 1993).

Cuando el queso se enfría, los glóbulos grasos (de 1 a 5 μm) se solidifican y la fase acuosa comienza a migrar hacia la red proteica. Aproximadamente una semana después de la elaboración el agua libre es absorbida. Luego de dos semanas ya no se puede eliminar suero del queso por presión, el frío disminuye las fuerzas hidrofóbicas de las proteínas y permite que el agua libre se reabsorba en la matriz proteica (McMahon y Obergh, 2011)

En el caso de los boccocini de Mozzarella de alta humedad, se pueden apreciar en la macroestructura del queso capas concéntricas, observándose al corte una estructura similar a la de una cebolla. Entre capa y capa se retiene agua de hilado que con el tiempo, por un efecto similar al que se da en la microestructura, se incorpora al queso, fundiéndose las capas y perdiendo la estructura típica.

Esta macroestructura, con capas de masa hilada reteniendo la humedad se forma por la manera en que se hila. La acción de los brazos de inmersión o el trabajo manual en distintos sentidos, permite formar capas de hilos que se entrecruzan, formando un entramado proteico que se superpone envolviendo el agua de hilado.

En el caso del Pizza cheese normalmente se trabaja en un sinfin y las proteínas se alinean de manera longitudinal. Este queso resultante, con unos días de maduración, con fibras

más laxas y sin una fase acuosa libre, posee mejores características de derretimiento, siendo más apropiado para su consumo en platos calientes y por supuesto en la pizza.

Rendimiento

El cálculo del rendimiento puede resultar complejo en la elaboración de quesos a nivel industrial, las pérdidas de grasa y sólidos en el suero puede ser un valor variable según las condiciones de la elaboración, de igual forma, el intercambio iónico que se da durante el salado influye también en la humedad y el peso final del queso.

En el año 1910, Lucius Van Slyke, publicó una fórmula para el queso Cheddar que se sigue utilizando en la actualidad.

$$\text{Rendimiento} = \frac{[(0,93 \times \% \text{grasa}_{\text{leche}}) + (\% \text{caseína}_{\text{leche}} - 0,1)] \times 1,09}{1 - (\% \text{Humedad objetivo}_{\text{queso}}/100)}$$

Van Slyke calculó el rendimiento afectando los componentes de la leche (grasa y caseína) por factores que obtuvo de manera empírica y están relacionados a la proporción de los mismos que se pierde en el suero y otro factor que incluye los sólidos que quedan disueltos en el agua retenida en el queso (1,09). Según el tipo de queso se han ido adaptando los valores de los factores, especialmente los relacionados a la pérdida de grasa (que varía mucho en función del tamaño de corte de la cuajada y el tratamiento térmico de la misma en el caso de haber cocción) y el factor relacionado a los sólidos disueltos en el agua retenida (cenizas, sales minerales, ácido láctico, lactosa, Nitrógeno no proteico, etc.). El factor relacionado a la proteína que se pierde en el suero normalmente se mantiene constante o con variaciones menores (- 0,1 corresponde a una pérdida del 4 % de caseína, este valor tiene un mínimo aproximado a este porcentual debido a la pérdida del caseino glicomacropéptido).

En el caso de Mozzarella y los quesos de pasta hilada el calculo se complejiza debido al intercambio de materia que se produce durante el proceso de plastificación de la cuajada. Parte de los sólidos se pierden en el agua de hilado, en el caso de la Mozzarella de alta humedad valores típicos de la composición del agua de hilado, “agua blanca”, se presentan en la Tabla 3.1. En el caso de hilar con vapor normalmente se gana humedad del vapor condensado y no se producen pérdidas en el proceso de plastificación.

Tabla 3.1 Valores de composición típica del agua de hilado de Mozzarella de alta humedad (Salvatori Del Prato, 1998).

Sustancia	Porcentaje medio
Agua	97,50 %
Sustancia seca	2,30 %
Grasa	0,90 %
Proteína	0,80 %
Lactosa	0,12 %
Cenizas	0,20 %

Barbano propuso para la Mozzarella hilada en agua la siguiente fórmula de rendimiento (Barbano, 1996):

$$\text{Rendimiento} = \frac{[(0,85 \times \% \text{grasa}_{\text{leche}}) + (\% \text{caseína}_{\text{leche}} - 0,1)] \times 1,13}{1 - (\% \text{Humedad}_{\text{queso}}/100)}$$

El factor que afecta al contenido de grasa (0,85) revela la mayor pérdida que se da en este tipo de quesos debido al hilado. Esta pérdida como se ha explicado es mayor cuanto mayor es la temperatura de hilado, menor es el pH de la cuajada y/o mayor es el trabajo mecánico utilizado en el proceso de plastificación de la cuajada.

Para el cálculo en planta se debiera hacer un seguimiento histórico del valor de pérdidas de grasa y caseína en suero. Con esos valores se debe ajustar la fórmula para obtener un valor representativo y tener un registro de desvíos que se producen para atacar las causas (Furtado, 2020).

Tecnología alternativa mediante acidificación directa

Una alternativa válida para la elaboración de Mozzarella en cualquiera de sus variantes es la acidificación directa. Con esta tecnología no se requiere de la acidificación por parte del fermento. El ácido diluído (por ejemplo ácido cítrico al 10% o menor) se dosifica en la leche pasteurizada fría hasta lograr el pH de hilado, se calienta a temperatura de coagulación y se agrega el cuajo. Otra alternativa, utilizada en producciones a gran escala, es incorporar el ácido, siempre diluído, inyectándolo a alta presión en la leche que ingresa a temperatura de coagulación en la tina, de manera que se distribuya en forma de microgotas y no se produzca una coagulación espontánea por exceso de acidéz (Mucchetti y Neviani, 2006). Luego se procede en tina de igual forma que se lo hace en la tecnología de acidificación fermentativa y una vez obtenido un punto deseado de desuerado de la cuajada, el suero se drena y se hila directamente.

Si la leche es acidificada de manera directa con ácido cítrico, el rango de pH óptimo de hilado oscila entre 5,6–5,8, mientras que si agrega ácido acético o láctico es de 5,4–5,6 (Addeo, 1996). Esto se debe a la variación del poder secuestrante de los cationes Ca^{2+} de los distintos ácidos. Estudios realizados con glucono- δ -lactona reportan valores similares al agregado directo de ácido láctico (Giraffa y Olivari, 1992).

Los ácidos ejercen una desmineralización mayor de la cuajada; es por esto que el hilado se realiza a pH superiores. El resultado es una cuajada con una red proteica más sutil que presenta mayor capacidad de retención de líquido, óptima para la elaboración de una Mozzarella de alta humedad y en el caso del Pizza Cheese requiere menor tiempo de maduración para obtener buenas características de *melting* (Kindstet y col., 1999). Un factor en contra de esta tecnología es la mayor propensión que presenta a sufrir sobreacidificación y defectos por el crecimiento de microorganismos contaminantes que encuentran un medio sin competencia para su desarrollo y un alto contenido de lactosa (Ricciardi y col., 2015). Estos factores hacen que esta tecnología no sea la más utilizada a pesar de su practicidad.

Mozzarella para pizza argentina

La Mozzarella utilizada en las pizzerías tradicionales argentinas es muy diferente al Pizza cheese, posee un tenor graso que produce la liberación de grasa luego de la cocción y un sabor más desarrollado. En la Argentina las pizzerías crecieron con la fuerte inmigración italiana recibida a comienzos del siglo XX pero el rubro gastronómico en Buenos Aires estaba a cargo mayormente de inmigrantes españoles por lo que la pizza tomó un estilo particular, con más masa, mayor contenido de ingredientes y un queso con un sabor pronunciado que dista mucho de la Mozzarella tradicional de alta humedad italiana.

La Mozzarella utilizada para la pizza al estilo argentino, «Mozzarella bonaerense», adquiere su sabor en el período de conservación/maduración que se le da a la cuajada previo al hilado. La cuajada elaborada con leche entera en «tambos fábrica», mayormente de la provincia de Buenos Aires, se «conservaba» en frío y luego era recolectada e hilada por el fabricante de la Mozzarella que abastecía a las pizzerías. En este tiempo el desarrollo de microorganismos en la cuajada y mayormente la acción de las enzimas, genera una proteólisis que le da el sabor distintivo.

Hoy en día se continúa implementando el proceso de maduración de la cuajada en frío para obtener un producto que es requerido por los consumidores (Vigliengo, 2013). El 88% de la masa para Mozzarella se elabora en provincia de Buenos Aires, en su mayoría en plantas de menos de 25.000 l/día (OCLA, 2019).

La cuajada es acidificada hasta un pH cercano a 5,3 y enfriada a 4 °C en una cámara fría, en bandejas (Figura 3.5). También puede ser congelada lo que le da mucha flexibilidad al proceso. Al momento del hilado, el quesero tritura la masa con distintos tiempos de premaduración con el fin de ajustar las condiciones. Se pueden emplear los aditivos que permite el CAA en el Artículo 605 inciso 3.c) y los límites máximos se verifican en el producto final, independientemente de la concentración usada en la cuajada.

La masa para elaborar Queso Mozzarella, en el caso de ser vendida exclusivamente para uso industrial, está regulada por el Artículo 618 bis (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGP y A N° 33/2006 y N° 563/2006).

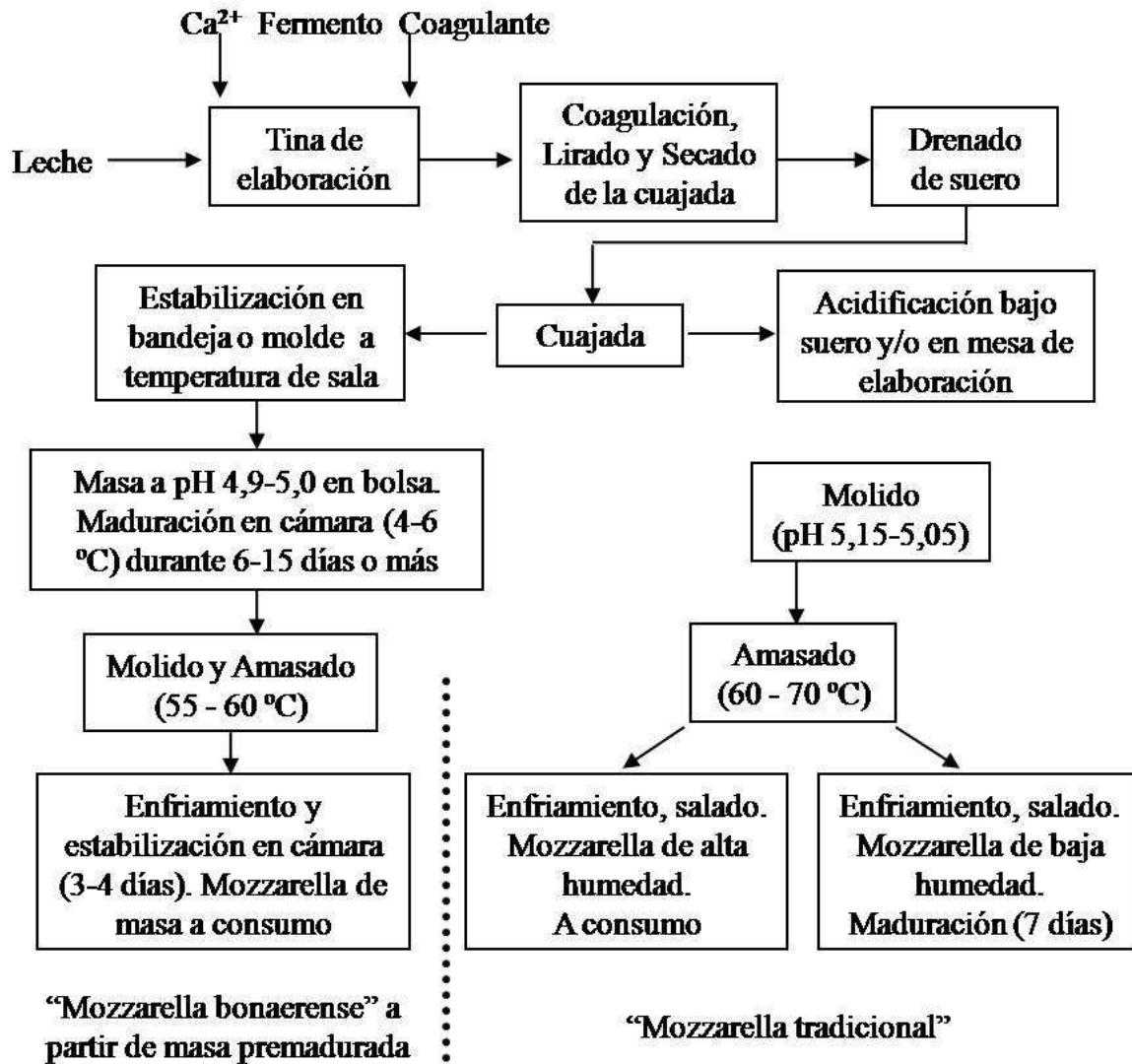


Figura 3.5 Esquema del proceso de elaboración de “Mozzarella bonaerense” vs. “Mozzarella tradicional”.

**EXPERIENCIA ADQUIRIDA EN EL
DISEÑO, AJUSTE Y USO DEL
EQUIPAMIENTO DE PLANTA PILOTO
PARA EL HILADO Y FORMADO DE
HORMAS A PEQUEÑA ESCALA**

Experiencia adquirida en el diseño, ajuste y uso del equipamiento de planta piloto para el hilado y formado de hormas a pequeña escala

La manera en que se realiza el trabajo de hilado influye en gran medida en el producto final, especialmente en la cantidad de agua que incorpora la cuajada. En el presente capítulo se describe la experiencia adquirida en la materia durante el trabajo realizado en el INLAIN. El trabajo que comenzó con la elaboración de Mozzarella para la utilización de la leche de búfala obtenida en la Escuela de Ganadería, Agricultura y Granja de la UNL, continuó con la incorporación de probióticos en un queso de pasta hilada y la elaboración de provoletas con mezclas de leche bovina y bubalina. La actividad desarrollada significó la materialización de numerosos proyectos, lo que permitió la incorporación de equipamiento, pasando así desde un comienzo de trabajo manual a uno prácticamente mecanizado en su totalidad.

Trabajos previos realizados en el INLAIN

El primer desarrollo en quesos de pasta hilada en el INLAIN fue la confección de un protocolo para la elaboración de Mozzarella con leche de búfala. (Rebechi y col., 2012)

Siguiendo la experiencia que traían los ingenieros Meinardi y Zalazar de sus estadías en Italia, junto al aporte de la Magister Silvina Rebechi y la ayuda de un tesisnista de la Licenciatura en Alimentos, se llevó adelante este trabajo en el marco del C.A.I.+D (U.N.L.) denominado “Evaluación de los parámetros tecnológicos para la producción de quesos de leche de búfala de corta y mediana maduración”. La intención de este proyecto fue demostrar la posibilidad de realizar un producto distinto con una tecnología que pudiese ser adoptada por pequeños emprendedores.

Este protocolo indica los pasos para obtener Mozzarella de alta humedad teniendo como equipamiento una tina quesera y realizando el trabajo de hilado y armado de las formas de manera manual.

El hilado de la cuajada de manera artesanal requiere verter el agua a alta temperatura sobre la cuajada previamente acidificada y feteada. A continuación se agita en círculos, primero en un sentido y luego en otro, de manera que los hilos se amalgamen formando una lámina y al cambiar el sentido se busca formar capas que se superponen y envuelven el agua de hilado incorporandola al queso. Se va retirando agua de hilado y agregando agua caliente

de manera manual hasta lograr el hilado completo de la masa. Con este procedimiento se puede lograr una Mozzarella de muy alta humedad. De esta forma se realizó el trabajo que permitió el desarrollo de un “Protocolo para la elaboración regional de Mozzarella de búfala” (Rebecchi y col., 2012) y algunas elaboraciones demostrativas de Mozzarella de búfala de manera manual se muestran en las figuras 4.1 a 4.10.

Se utilizó una leche de búfala con pH $6,60 \pm 0,07$, sólidos totales $15,07 \pm 0,19\%$, proteínas $4,68 \pm 0,16\%$ y materia grasa $5,08\% \pm 0,27\%$. Se pasteurizó a 65°C durante 20 min y luego de adicionar un fermento directo (*Streptococcus thermophilus*) se coaguló a 40°C . La cuajada obtenida se dejó acidificar bajo suero hasta pH 5,45 y luego sobre mesada hasta pH 4,95. Momento en el que, luego de cortarse en fetas de 0,5 cm de grosor, se hiló en la tina con el agregado de agua a 85°C . Manualmente se confeccionaron Mozzarellas de 250 g y se enfriaron en salmuera diluida (2,5% de NaCl) durante 24 hs. Las Mozzarellas se escurrieron y envasaron al vacío. A 48 horas de la elaboración, el pH de los quesos fue de $5,50 \pm 0,05$, la humedad $49,27 \pm 1,20\%$, la materia grasa $26,42 \pm 0,85\%$ y las proteínas $21,98 \pm 0,75\%$. Un panel no entrenado que realizó una evaluación coincidió en la buena aceptabilidad del producto.

Las experiencias realizadas artesanalmente procesando leche de búfala permitieron obtener una Mozzarella de buena calidad y aceptabilidad. Con un gran esfuerzo se lograron obtener estos resultados. Esto se debía fundamentalmente a la alta carga de trabajo manual que requería cada elaboración. También demandaban un esfuerzo importante y la exposición a temperaturas elevadas para realizar el armado de las formas tradicionales; lo que requería el trabajo de varias personas haciendo menos estandarizado el resultado.

Se llegó a la conclusión de que la etapa más importante para lograr resultados repetitivos era el hilado. Los resultados obtenidos alentaron al grupo a presentar proyectos competitivos con el fin de incorporar a la planta piloto una hiladora que permita que la etapa de hilado deje de ser una variable difícil de controlar y de esta manera hacer que la tecnología de elaboración no afecte la evaluación de las variables estudiadas.



Figura 4.1 Comienzo de la agitación de la cuajada después de su lirado.



Figura 4.2 Extracción de la cuajada de tina para continuar su acidificación sobre la mesa de desuerado.



Figura 4.3 Cuajada acidificando sobre la mesa de desuerado.



Figura 4.4 Cuajada a pH de hilado



Figura 4.5 Feteado de la cuajada acidificada



Figura 4.6 Vista de la cuajada en la etapa de hilado



Figura 4.7 Vista de las características de la cuajada en la etapa de hilado



Figura 4.8 Formación de las hormas de Mozzarella.

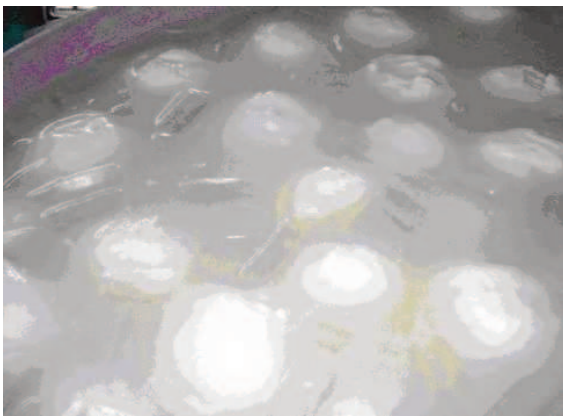


Figura 4.9 Vista de las Mozzarellas en salmuera fría.



Figura 4.10 Vista al corte de una Mozzarella y del líquido interior que las caracteriza.

Tecnologías disponibles para el hilado mecanizado de la cuajada

En cuanto al trabajo mecanizado de la cuajada para su hilado, existen distintos tipos de hiladoras. Los distintos modelos permiten obtener resultados diferentes a partir de una cuajada en iguales condiciones de acidificación. El nivel de agua en contacto con la cuajada y la forma en que es amasada, permite la incorporación de mayor o menor humedad. El amasado de la cuajada puede realizarse mecánicamente con brazos que realizan movimientos envolventes o mediante el desplazamiento de la misma en un sinfín. También se presentan combinaciones de ambos tipos y se puede variar la manera en que se incorpora el agua caliente.

Las tecnologías disponibles para el hilado mecánico de la cuajada son:

- *Brazos de inmersión*: los brazos mecánicos realizan un movimiento envolvente amasando la cuajada que se sumerge en el agua de hilado. Esta técnica permite formar capas sucesivas de una masa con hilos que se entrecruzan y que retiene gran cantidad de agua de hilado. Es la tecnología cuyo resultado se asemeja más al hilado manual, permite lograr una Mozzarella de muy alta humedad y también Pizza cheese si se trabaja con una cuajada más seca y a un pH superior. El trabajo es discontinuo, por lotes (Figuras 4.11 y 4.12).



Figura 4.11 Vista del armado de una hiladora de brazos de inmersión



Figura 4.12 Etapa de hilado en una hiladora de brazos de inmersión

- *Sinfín*: la cuajada es traccionada por el movimiento de un sinfín, normalmente se utiliza un par de ellos espejados con rotación opuesta (Figura 4.13). La cuajada se desplaza en el sentido del movimiento del sinfín compactándose por compresión con las paredes y abriéndose para incorporar agua por los esfuerzos de corte. El nivel de agua en el espacio en el que trabaja el sinfín determina la cantidad de agua que se incorpora, la misma no puede ser excesiva en este caso porque dificultaría el amasado. La inclinación de los ejes también permite obtener un producto más o menos húmedo, trabajando de manera horizontal se retiene más agua y con inclinaciones crecientes se logra una Mozzarella de

menor humedad. La longitud y la velocidad del sinfín son variables para graduar el esfuerzo mecánico. Este sistema permite el trabajo continuo, colocándose entre una trituradora de cuajada y la formadora.

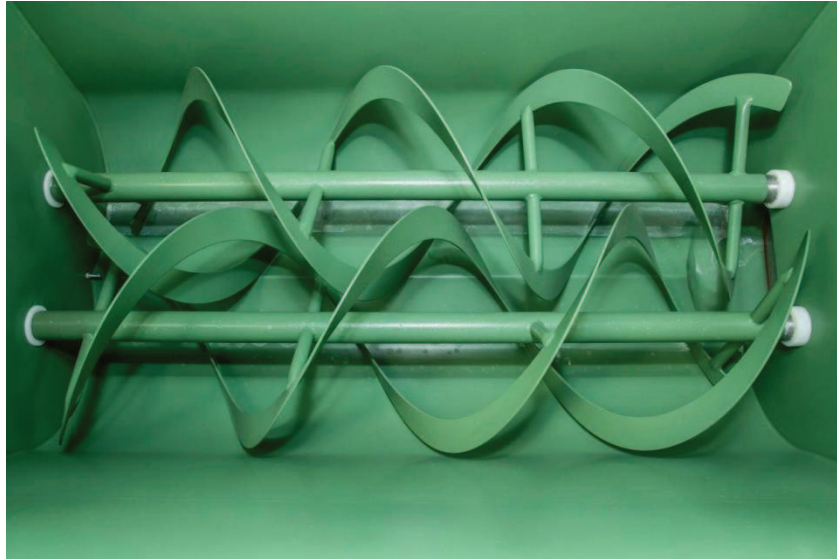


Figura 4.13 Detalle de sinfines utilizados para hilado.

- *Fusor*: incorpora vapor en la cuajada triturada, por lo general mientras ésta es amasada por un par de sinfines. Este sistema permite alcanzar elevadas temperaturas sin las pérdidas que se producen en el agua de hilado, ya que se gradúa el vapor para alcanzar el nivel de humedad deseado. No se puede lograr una Mozzarella de muy alta humedad pero tiene la gran ventaja de permitir amalgamar ingredientes. Sistemas modernos con inyección de vapor a baja presión permiten el trabajo en continuo a temperatura controlada (Figura 4.14). Se puede obtener queso análogo a la Mozzarella o *Imitation Cheese*, utilizando caseinatos como base, también se favorece la mezcla de cuajadas de distinto origen, especialmente en los casos en que se trabaja por lotes como el que se presenta en la figura 4.15.
- *Brazos de inmersión con sinfin*: este sistema mixto permite el procesamiento continuo de la cuajada sumado a la posibilidad de lograr la textura similar a la del amasado manual y la incorporación de mayor cantidad de agua. En el Capítulo 2 se describe en detalle el funcionamiento de este tipo de maquinaria.

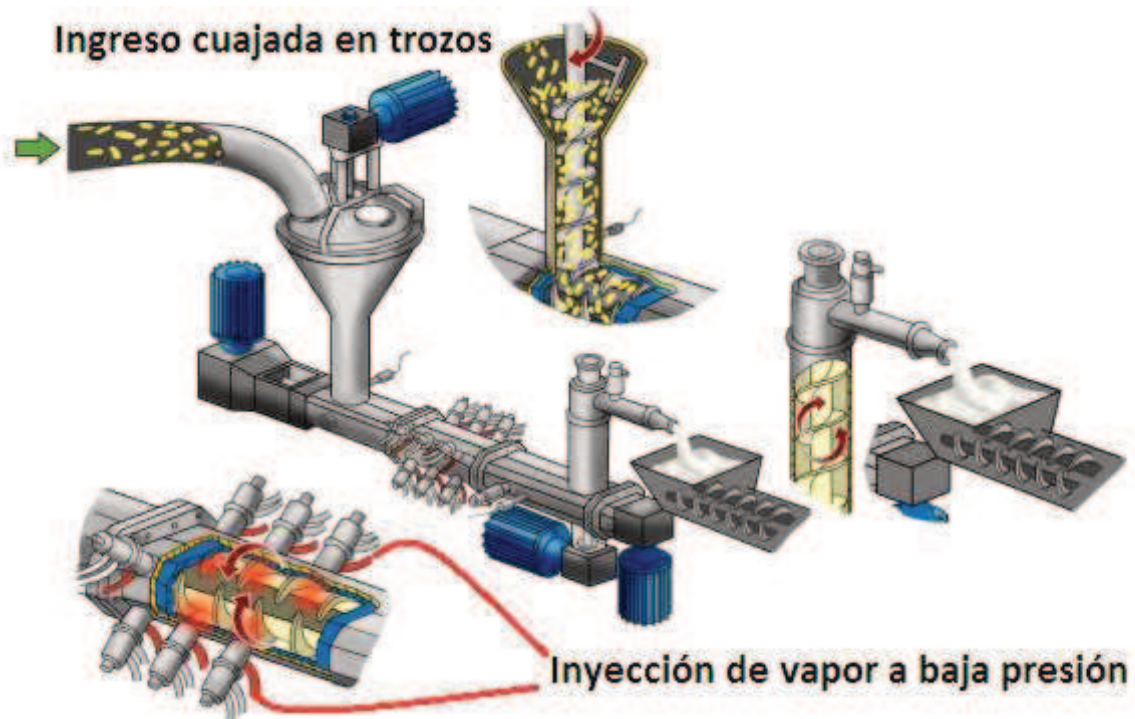


Figura 4.14 Sistema de fusión con vapor a baja presión GpiCS. Fabricante NATEC-NETWORK.

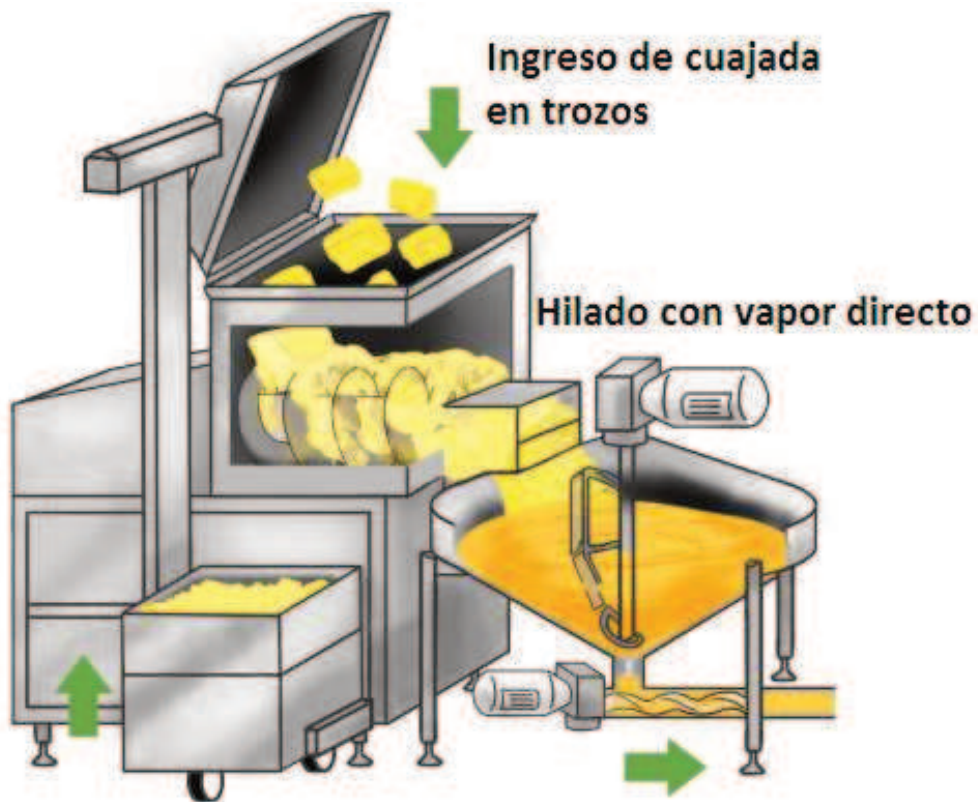


Figura 4.15 Cocedor FREETHERM, inyección directa de vapor. Fabricante NATEC-NETWORK.

Incorporación de la hiladora escala piloto en el INLAIN

Se hizo una búsqueda de las opciones existentes en el mercado, siempre buscando una maquinaria que permita lograr una Mozzarella de muy alta humedad. En el mercado local los únicos dispositivos disponibles que podían servir para tal fin eran las amasadoras de pan, normalmente en una escala algo mayor a la que se buscaba (Figura 4.16).



Figura 4.16 Amasadora de pan utilizada para el hilado de la cuajada.

Observando en el mercado italiano, en donde a la tradición se le suma un avanzado desarrollo en el diseño y construcción de maquinaria para la industria alimenticia, se encontró una tipología de hiladora con brazos de inmersión la cual era factible de utilizar. En las figuras 4.17 y 4.18 se muestran modelos disponibles en el mercado.

Estos modelos de hiladora permiten el trabajo en lotes pero con continuidad a una formadora. Los más complejos presentan un sistema de recirculación del agua de hilado para mantenerla a la temperatura deseada. Un punto destacable es la posibilidad de mantener cerrada la batea de hilado con una protección que impide el contacto con las partes móviles (brazos de inmersión), algo indispensable por cuestiones de seguridad del personal y, por sobre todo, de los alumnos que pudiesen estar participando de una clase.



Figura 4.17 Modelos italianos de hiladoras compactas.



Figura 4.18 Modelo Lab12 de la marca MilkyLAB.

Se comenzó con la incorporación de una batea de acero inoxidable con pie, semejante a las que utilizan en la elaboración de Mozzarella de búfalo, que permite trabajar de manera más cómoda que en la tina de elaboración y en una postura ergonómicamente viable para trabajos prolongados (Figura 4.19). La misma fue realizada bajo diseño propio siguiendo los modelos tradicionales, con una base de tres patas para economizar material.



Figura 4.19 Batea de hilado.

El siguiente paso fue conseguir una empresa local dispuesta a hacer un diseño en base a lo proporcionado y que se adapte al presupuesto. Otro requerimiento era poder adquirir el equipamiento por partes, ya que no se contaba con un presupuesto elevado pero sí con la posibilidad de ir obteniendo partidas en diferentes proyectos.

Una empresa de la región, Equis, colaboró adaptándose al presupuesto y llevó adelante el diseño siguiendo estos requerimientos y tomando como guía los modelos presentados. El resultado fue una hiladora con dos brazos de inmersión, elaborada en acero inoxidable, con camisa para calefacción por vapor o refrigeración con agua. Se adicionaron dos termocuplas, una para conocer la temperatura de la camisa y otra en el centro de la batea para conocer la temperatura del agua de hilado y/o la masa hilada. La hiladora cuenta con accionador y un pulsador de parada de emergencia, además del sistema de corte cuando se abre la jaula de protección que cubre las partes móviles (Figura 4.20).

La batea de hilado, diseñada para hilar hasta 25 Kg de cuajada, posee una abertura con cierre tipo DIN que permite la conexión de una formadora.

En su versión original, la formadora estaba constituida por un tubo de acero inoxidable, con un sinfín interno que impulsaba la masa hilada hasta el extremo en el que se colocó un terminal para obtener formas cilíndricas por extrusión. Una abertura lateral permitía conexión tipo DIN con la batea y en el otro extremo del sinfín presentaba un motorreductor eléctrico de velocidad variable mediante regulador de frecuencia (Figura 4.21).

En las pruebas en planta piloto, trabajando con leche bovina, la hiladora tuvo un comportamiento óptimo ya que permitió obtener Mozzarella de alta humedad (Fiore di latte) y modificando las características de la cuajada, Mozzarella más seca como lo requieren las destinadas a la elaboración de pizzas. En esta etapa, en donde se estudió el funcionamiento de la hiladora, la formación de las hormas se realizó manualmente. Los resultados con la formadora no fueron buenos, fundamentalmente por la irregular cantidad de agua de hilado que acompañaba a la masa dentro del sinfín. Se prosiguió con la formación manual de las hormas, y se pudo corroborar que no incidía significativamente en las características de los quesos obtenidos.

Con los resultados obtenidos se revisó el diseño de la formadora. Como primer medida se la desvinculó de la hiladora y se la unió a una tolva para el ingreso de la cuajada (de manera manual). De esta forma se evita el ingreso de agua de hilado. También se anexó un terminal

intercambiable que permite el llenado de formas esféricas pequeñas (de aproximadamente 10 gr.). Este terminal tiene una unión de teflon, por donde se extruye la masa hilada, conectada por un eje a una rueda de acero con las formas esféricas. La rueda se acciona de manera manual y se requiere del vertido de agua fría para el desprendimiento del queso ya formado.

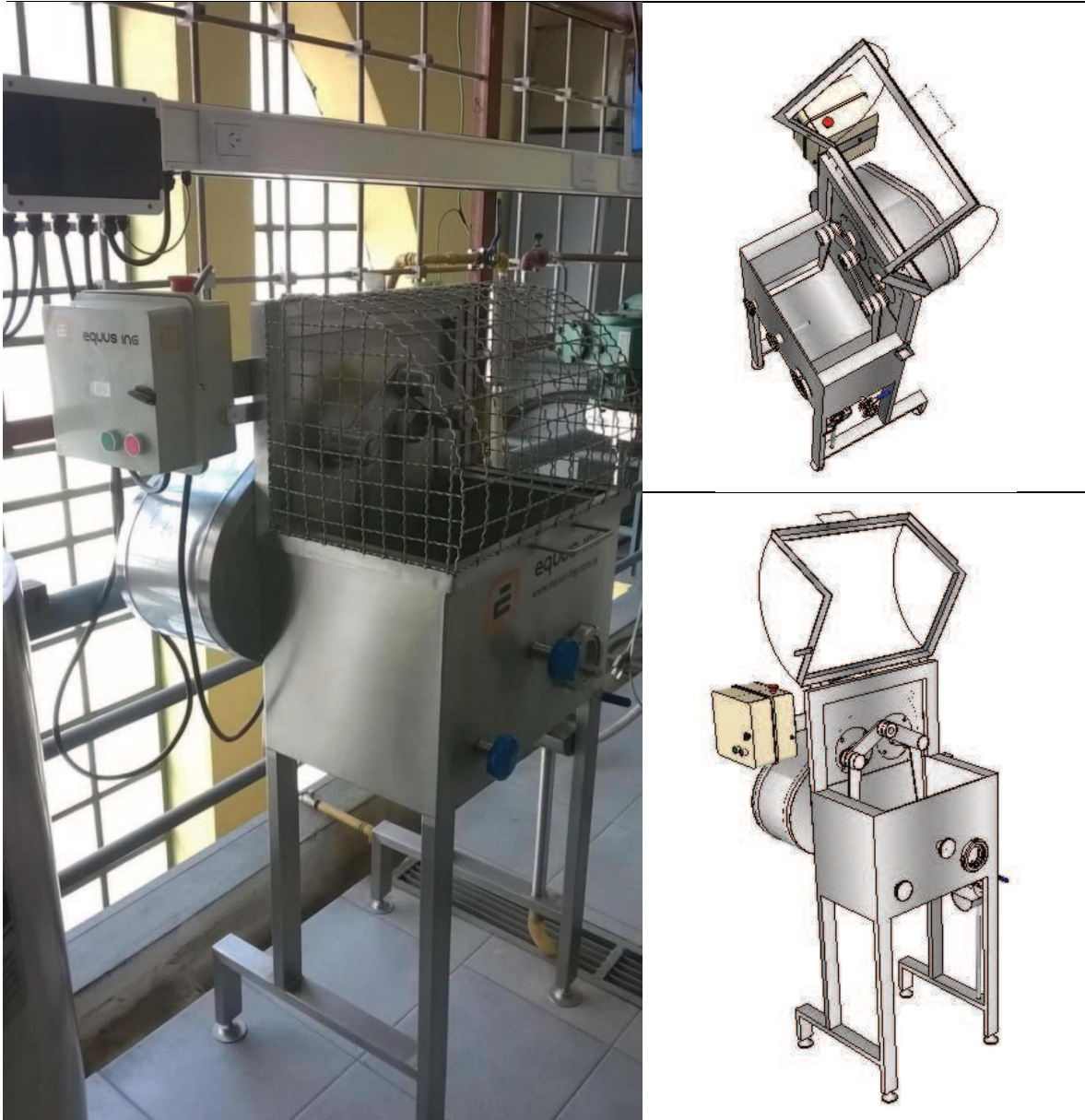


Figura 4.20 Hiladora diseñada para la planta piloto del INLAIN.

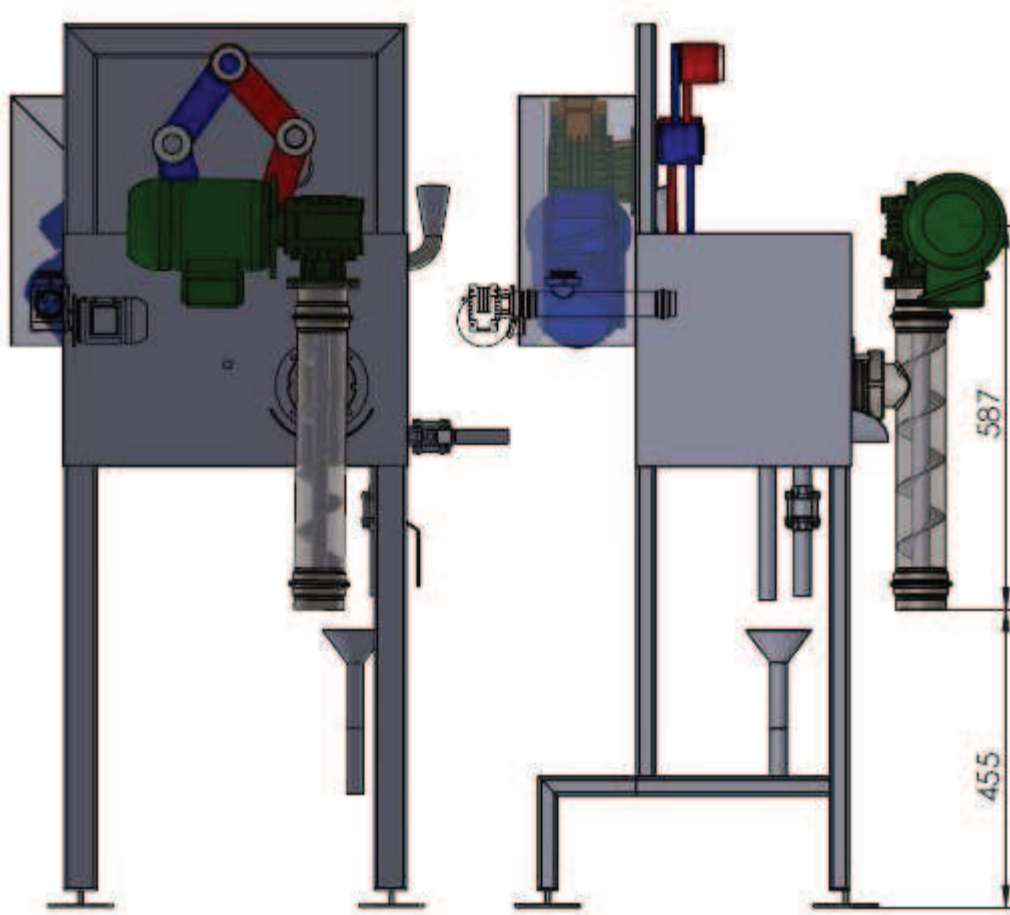


Figura 4.21 Formadora Equus (diseño original) anexada a la hiladora mediante conexión roscada.

Un segundo terminal, el original de la formadora, permite formar dos cilindros de 2 cm de diámetro por extrusión y el tercero forma dos cilindros por extrusión e incorpora una cuchilla que al girar por acción de una manivela va cortando las formas (Figura 4.22).

Esta nueva formadora con tolva se monta en la batea de acero que se adquirió para el hilado manual sujeta por un par de bulones. Y se utiliza esta batea con agua fría para la recepción de las formas que caen por gravedad.

Si bien no se logró un procedimiento totalmente automatizado, el trabajo de hilado y la generación de la forma si lo son, permitiendo la obtención de Mozzarellas estandarizadas en cuanto al tiempo de hilado y al tamaño de los quesos.



Figura 4.22 Formadora montada en la batea de acero inoxidable. Detalle del sinfín interno y de los tres cabezales disponibles.

Finalmente, con otro proyecto se logró financiar la compra de una máquina para el corte de la cuajada. La misma consiste en una tolva sobre una cuchilla giratoria, accionada por un motorreductor, con un cajón de acero para la recolección de la cuajada cortada (Figura 4.23).



Figura 4.23 Cortadora de cuajada desarrollada para el INLAIN marca Equs.

UN QUESO DE PASTA HILADA CON PROBIÓTICOS

Un queso de pasta hilada con probióticos

Un nuevo proyecto planteaba la incorporación de probióticos en el queso de pasta hilada elaborado con leche bovina (Cuffia y col, 2017). El tiempo de hilado y la temperatura pasaban a ser variables a controlar y también se requería estandarizar el trabajo mecánico al que se sometía la cuajada acidificada. Por lo que la incorporación de la hiladora resultó fundamental para su ejecución.

En busca de obtener un producto con mayor valor agregado, siguiendo la tendencia de consumo hacia la incorporación de alimentos funcionales, es decir que además de nutrir aportan un beneficio a la salud, se comenzó el desarrollo de la tecnología para la elaboración de una Mozzarella de alta humedad que incorpore probióticos. Al ser un queso para consumo fresco, en ensaladas y platos fríos, se presenta como un medio óptimo para la incorporación de probióticos en la dieta. Se define como probiótico a aquellos “microorganismos vivos que, al ser ingeridos en cantidad suficiente, confieren un beneficio a la salud del huésped” (FAO/WHO, 2001).

Como antecedente el INLAIN contaba con el desarrollo, junto a ILOLAY, de un queso Por Salut con probióticos y con la expertise para realizar las pruebas con animales de laboratorio que permiten determinar la llegada efectiva del probiótico al intestino y la generación de un efecto benéfico por la estimulación del sistema inmune (Vinderola y col, 2003). Existen además varios estudios que demuestran que el queso actúa como matriz protectora en el proceso de digestión, mejorando la llegada de bacterias viables al intestino (Bergamini y col, 2005). Se considera que para obtener un beneficio en la salud, se deben ingerir diariamente 100 g de un queso con una concentración de probiótico de entre 10×10^6 y 10×10^7 UFC/g (Lee y Salminen, 1995).

El desafío que se presentaba entonces era lograr la sobrevivencia de las cepas al proceso de hilado y en un número mayor a 10×10^7 por gramo de queso. Este inconveniente había sido resuelto por otros investigadores mediante el agregado de una cobertura al producto terminado conteniendo el probiótico y prebióticos (Angiolillo y col, 2014); otra posible solución presentada fue la microencapsulación del probiótico (Ortracki y col, 2012), también en queso Kasar se utilizó esta técnica para superar el tratamiento térmico (Barbaros y col, 2008). Mientras que en la Universidad de Camerino (Marche, Italia), se generaron microgránulos con una mezcla simbiótica de probióticos y prebióticos y se los incorporó

con éxito a diferentes alimentos tradicionales italianos entre ellos la Mozzarella tradicional elaborada con leche de búfala (Ogbonna y col, 2011). También en Italia se logró incorporar microorganismos probióticos a un queso Scamorza producido con leche de oveja (Albenzio y col., 2013). Por otro lado, hay estudios en los que se hizo una etapa de adaptación a las altas temperaturas de la cepa probiótica antes de utilizarla en la elaboración (Minervini y col, 2012).

Nuestro objetivo fue incorporar cepas comerciales y hacerlo de manera simple, junto con el starter, para facilitar el posible escalado y transferencia de la tecnología. Para ello se comenzó por evaluar la resistencia térmica de 4 cepas de microorganismos probióticos comerciales (*Lactobacillus paracasei* A13, *Lactobacillus paracasei* B, *Lactobacillus rhamnosus* GG y *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* C) y de 1 cepa de bifidobacteria aislada de leche materna perteneciente a la colección del INLAIN (*Bifidobacterium animalis subsp. lactis* INL-1) a 60°C durante 10 min. realizándose recuento antes y después del tratamiento térmico. Esta tarea que estuvo a cargo de la Dra. Patricia Burns y la cepa seleccionada fue la que presentó mayor sobrevida, *L. rhamnosus* GG (pérdida de viabilidad de $0,95 \pm 0,05$ órdenes log).



Figura 5.1 Hilado mecánico de la cuajada.



Figura 5.2 Formado manual del bocconcino.

El formado de las hormas se realizo manualmente. En la figuras 5.1 y 5.2 se muestra el momento del hilado y la formación manual de la Mozzarella (*bocconcino*).

Mientras tanto se comenzó a indagar en las posibles presentaciones finales del producto. Normalmente la Mozzarella de alta humedad se vende sumergida en el llamado líquido de gobierno. Este es un líquido de composición no declarada, que debe ser isotónico para evitar la migración por diferencias de presión osmótica entre la superficie del queso y el líquido.

Se realizaron algunas pruebas previas de formulación del mismo (Figura 5.3). Finalmente se optó por una formulación para la primera elaboración (Tabla 5.1) y se fue incrementando el calcio y la sal en las restantes ya que no se llegaba un resultado óptimo, la capa superficial presentaba una proteólisis excesiva, favorecida por un alto intercambio y solubilización del Ca.

Tabla 5.1 Composición del líquido de gobierno (esterilizado en autoclave)

Agua destilada +	Elaboración 1	Elaboración 2	Elaboración 3
NaCl	0,15 %	0,5%	0,5%
CaCl ₂	0,1 %	0,2%	0,25%
Sorbato de Potasio	750 ppm		
Ácido cítrico tamponado	pH 5,35 (39,6 g de ác.cítrico y 87 ml de NaOH al 20 % en 3 l)		

El siguiente paso fue analizar combinaciones de tiempo y temperatura para obtener un producto de buena calidad y con una vida útil de unos 15 días.

Para ello se hicieron tres elaboraciones, hilando la cuajada en la hiladora mecánica a 58, 62 y 66 °C. En la Tabla 5.2 se detalla el procedimiento. Una vez plastificada la cuajada (5 minutos), se comenzaron a formar los bocconcini a mano y se los separó en grupos según el tiempo en el que se iba retirando la masa del agua caliente. Se los agrupó como: 5, 10 y 15 minutos. En la primera elaboración se probó también un hilado de 20 minutos, pero en ese tiempo el producto no era aceptable, la pérdida de grasa era excesiva y el resultado era un queso duro e imposible de comer.

En cada elaboración se trabajó con 60 lts de leche con una relación grasa/proteína aproximada a 1/1.

Se agregaron 0,6 g de fermento CH ST M6

Terminados los bocconcini (aprox. 15 g c/u.) se los sumergió en suero con hielo, al 3,5 % de sal durante 40 minutos. Luego se transfirieron de a tres en frascos conteniendo 200 ml de líquido de gobierno y se los conservó en frío (4 °C). La composición del líquido de gobierno varió según lo detallado en la Tabla 5.1.

Tabla 5.2 Protocolo de elaboración de Mozzarella con registro de temperatura y pH

Tiempo	Observaciones	Temperatura	pH
00:00	Comienza calentamiento de la leche	4 °C	6,5
00:10	Comienza Pasteurización	65 °C	6,5
00:30	Fin Pasteurización, comienza enfriamiento	65 °C	6,5
01:00	Agregado del fermento	40 °C	6,5
01:20	Agregado del cuajo	40 °C	6,5
01:30	Punto de coagulación	40 °C	6,5
02:00	Lirado	40 °C	6,5
02:25	1° Agitación	40 °C	6,5
02:40	2° Agitación, dejo cuajada al fondo	40 °C	6,5
02:50	Control de pH cuajada bajo suero	40 °C	6,3
03:00	Control de pH cuajada bajo suero	40 °C	5,95
03:30	Control de pH cuajada bajo suero	40 °C	5,8
03:50	Control de pH cuajada bajo suero, llevo a mesada	40 °C	5,6
04:10	Control de pH de cuajada en mesada, a hilado	33 °C	5,3
04:20	Feteo, llevo a hiladora (20 litros de agua a 75°C)	62 °C	5,2 -5,3
04:25	Primeros bocconcini (Tiempo 0)	62 °C	5,2 -5,3
04:30	Segunda tanda (Tiempo 5)	62 °C	5,2 -5,3
04:35	Tercera tanda (Tiempo 10)	62 °C	5,2 -5,3
04:45	Cuarta tanda (Tiempo 20), fin de la elaboración	62 °C	5,2 -5,3
05:05	Sale de salmuera la primera tanda	4 °C	5,2 -5,3

Al día siguiente de cada la elaboración se comenzó a analizar el producto. El mismo proceso se repitió a la semana y a los 15 días.

Primero se extrajo un bocconcini de cada frasco en el laboratorio de Microbiología para hacer los recuentos del microorganismo probiótico, del starter y el control de posibles contaminaciones (Figura 5.4).

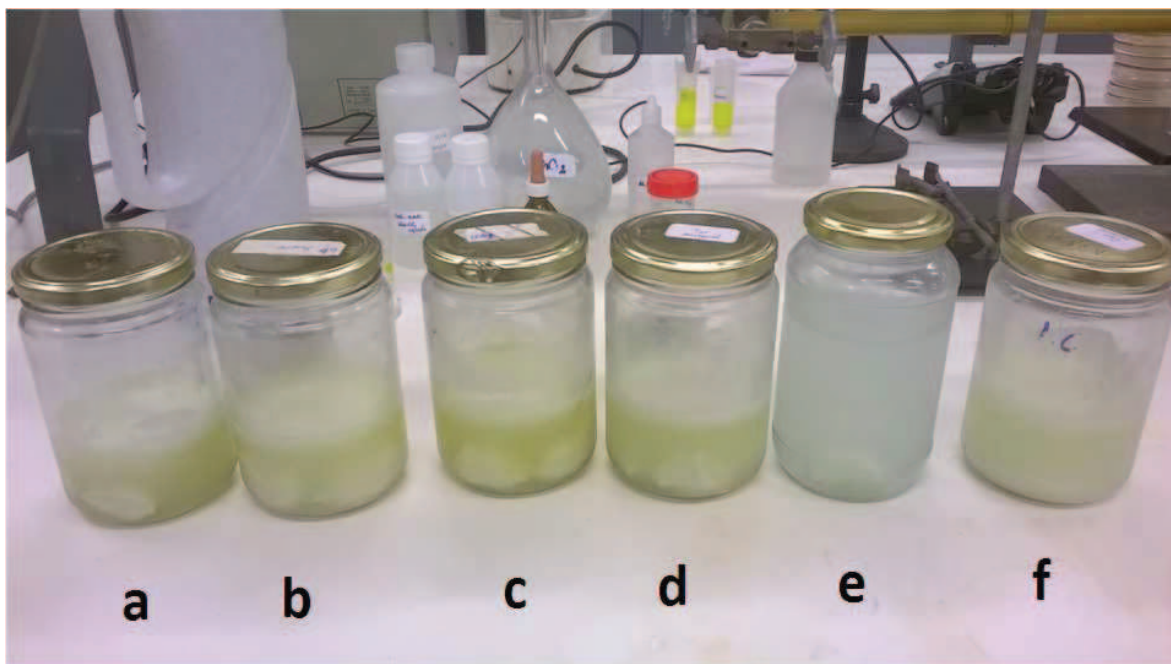


Figura 5.3 Pruebas realizadas con distintos líquidos de gobierno: **a)** 50% suero/50% agua de hilado, **b)** 50% suero/50% agua de hilado + sal (0,3%), **c)** 50% suero/50% agua de hilado + sal (0,3%) + CaCl_2 (0,7%), **d)** 50% suero/50% agua de hilado + sal (0,3%) + CaCl_2 (0,7%) + ácido cítrico (1%), **e)** agua, **f)** agua de hilado + sal (0,3%).



Figura 5.4 Análisis microbiológico. Extracción del queso en condiciones estériles para su posterior procesado en Stomacher y siembra en placas con los correspondientes medios de cultivo.

Luego en el laboratorio de Fisicoquímica se procesó otro bocconcini de cada frasco para realizar análisis de grasa, humedad y pH (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Resultados de análisis de composición y pH.

Temperatura de hilado	Tiempo de hilado	Humedad	Grasa	pH
62°C	0	71,2 %	20,6 %	5,4
	5	77,9 %	16,4 %	5,55
	10	58,3 %	16,4 %	5,55
	20	52,1 %	15,4 %	5,55
68°C	0	53,3 %	29,8 %	5,68
	5	56,8 %	26,7 %	5,79
	10	54,1 %	28,2 %	5,77
58°C	0	56,3 %	24,7 %	5,50
	5	57,0 %	25,7 %	5,45
	10	52,5 %	26,2 %	5,40

También se realizó una observación de las características organolépticas del producto obtenido en cada uno de los tiempos de hilado.

A los bocconcini se les retiró la capa superficial y se los procesó. El queso procesado se analizó por duplicado para obtener el valor de materia grasa mediante el método de Gerber van Gulik (Figura 5.5) (ISO, 2008), humedad mediante secado en estufa a 102 °C (Figura 5.6) (ISO, 2004) y proteínas totales por el método Kjeldahl (ISO, 2011) usando un Sistema de Digestión (1007 Digester, Tekator, Switzerland) y la unidad de destilación BÜCHI B-324 (Sweden). El pH de la pasta del queso, preparado integrando una mezcla 1:1 de queso procesado y H₂O de acuerdo a la American Public Health Association (APHA) (Bradley y col., 1993), fue medido con pHmetro de mesada (Orion Research Incorporated, United States).

El ajuste de retirar la primera capa del queso antes de analizarlo se hizo después de que se obtuvieran resultados variables y poco representativos en una primera instancia Al ser

pequeños los quesos, el área superficial era alta y la humedad retenida en la superficie influía en el valor de humedad (en rojo en Tabla 5.3).



Figura 5.5 Análisis de grasa método de Gerber van Gulik, butirómetros.



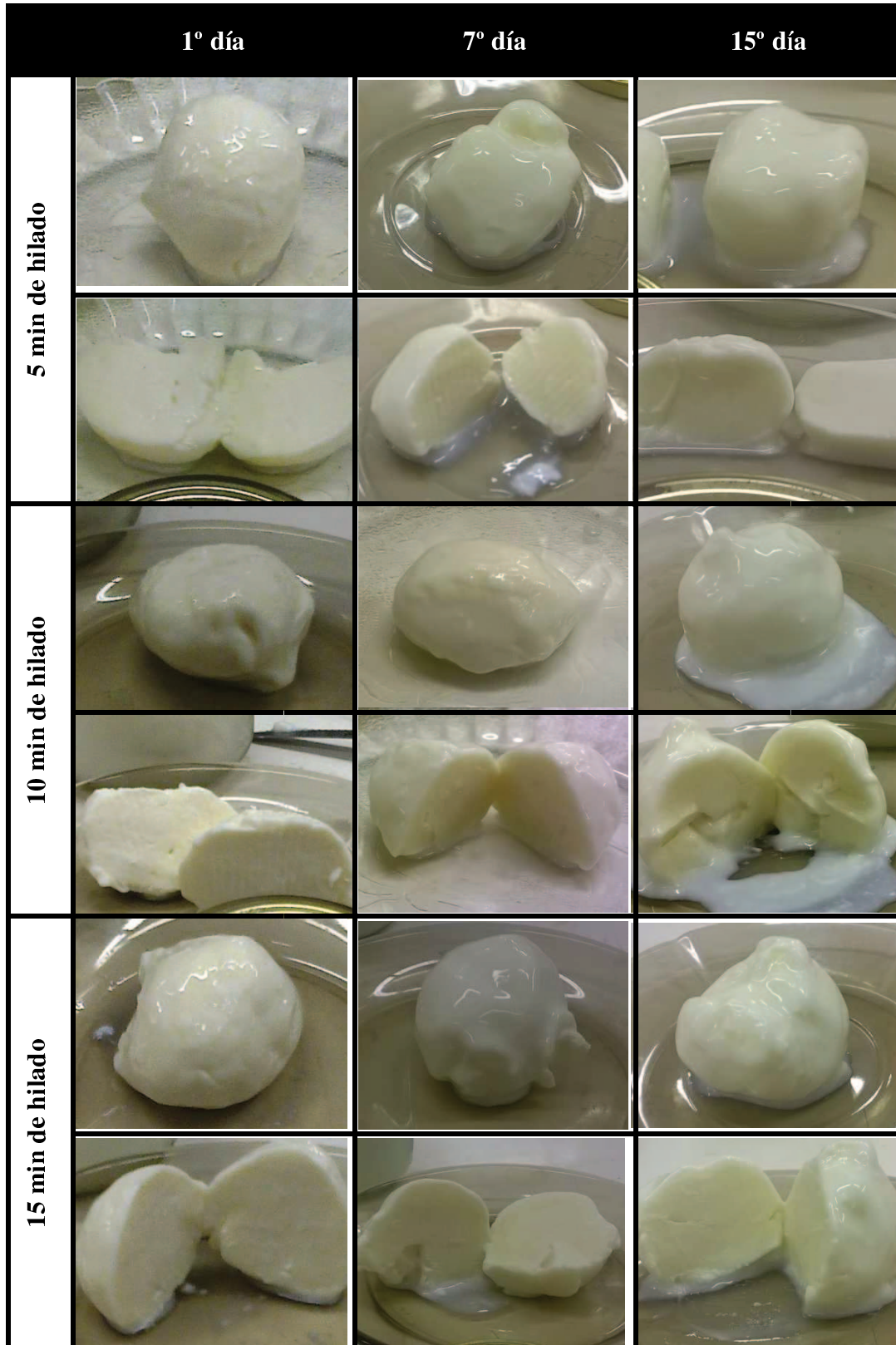
Figura 5.6 Análisis de humedad, secado en estufa a 102 °C.

Se observó que hubo un excesivo intercambio de materia entre el líquido de gobierno (LG) y los bocconcini, ya que el LG se volvió turbio y la capa exterior de los bocconcini se disolvió. Se puede apreciar en la Tabla 5.4, que el aumento en el tiempo de hilado da como resultado un queso más consistente, de menor humedad, con mejores características para soportar un mayor tiempo de conservación. Si el trabajo de hilado (tiempo-temperatura-fuerza) es excesivo, la pérdida de grasa en el agua de hilado es muy alta. Para continuar con la experiencia y comenzar la elaboración del queso con probióticos, se decidió envasar al vacío los bocconcini sin líquido de gobierno, de esta manera se pudo avanzar y lograr una conservación óptima.

Finalizada la etapa de puesta a punto de la técnica de elaboración, conservación y análisis, se procedió a realizar las elaboraciones con la inclusión de la cepa de *L. rhamnosus GG*. Los procedimientos y resultados se pueden consultar en la publicación “Technological challenges in the production of a probiotic pasta filata soft cheese” (Cuffia y col., 2017).

La tecnología de elaboración de este queso fresco de pasta hilada con microorganismos probióticos se patentó con el número de registro AR104625B1 y fue concedida hasta el año 2036 a nombre de la Universidad Nacional del Litoral y el CONICET. Los inventores registrados son Carlos Meinardi, Guillermo George, Patricia Burns y Facundo Cuffia.

Tabla 5.4 Aspecto de los bocconcini según conservación y tiempo de hilado correspondientes a la tercer elaboración con hilado a 58 °C.



El queso finalmente obtenido gana en su maduración características que mejoran el flavour y lo muestran como una interesante alternativa. No puede denominarse Mozzarella, ya que pasado un breve tiempo de maduración pierde la textura característica de ésta. La proteólisis producida por los microorganismos mesófilos (*L.rhamnosus GG*) deja como resultado un queso de alta humedad que se asemeja con el tiempo a la textura de un queso Cremoso.

Los resultados fueron presentados en distintos congresos nacionales e internacionales, destacándose el 2º premio (Mérito científico) obtenido por el trabajo presentado en el VI Simposio en Ciencia y Tecnología de los Alimentos del Mercosur COSIMP (Universidade Estadual do Oeste do Paraná), “Desarrollo de un queso de pasta hilada como vehículo para bacterias probióticas” (Cuffia, George, Rebecchi, Meinardi y Burns, 2016). El desarrollo de este producto también fue seleccionado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación para ser parte del Catálogo INNOVAR (2016).

El trabajo realizado con quesos probióticos de pasta hilada concluyó con la publicación de otros dos artículos: “In vivo study of the immunomodulatory capacity and the impact of probiotic strains on physicochemical and sensory characteristics: Case of pasta filata soft cheeses” (Cuffia y col., 2019a) y “Effect of storage temperature on the chemical, microbiological, and sensory characteristics of pasta filata soft cheese containing probiotic lactobacilli” (Cuffia y col., 2019b). En ellos se evalúa la capacidad del queso con probióticos de modificar la respuesta inmune del organismo y el impacto del probiótico en las características sensoriales y fisicoquímicas de estos quesos; y por último, los efectos de la conservación a distintas temperaturas en las características químicas, microbiológicas y sensoriales.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

1. Addeo, F.; Emaldi, G.C. e Masi, P. (1995). Tradizione e innovazione nella produzione della “Mozzarella di bufala Campana”. *Bubalus Bubalis*, 3, 46–62.
2. Addeo, F. (1996). Actas del *Congreso Internacional de Tecnología en Producción de Quesos* organizado por Chr.Hansen–FEPALE. Buenos Aires, 276.
3. Angiolillo, L.; Conte, A.; Faccia, M.; Zambrini, A. and Del Nobile, M. (2014). A new method to produce symbiotic Fiordilatte cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 180–187.
4. Albenzio, M.; Santillo, A.; Caroprese, M.; Ruggieri, D.; Napolitano, F.; and Sevi A. (2013). Physicochemical properties of Scamorza ewe milk cheese manufactured with different probiotic cultures. *Journal of Dairy Science*, 96, 2781–2791
5. Bansal, N.; Fox, P.F. and McSweeney, P.L.H. (2007). Factors affecting retention of rennet in cheese curd. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 9219–9225.
6. Bansal, N.; Fox, P.; and McSweeney, P. (2009). Comparison of the level of residual coagulant activity in different cheese varieties. *Journal of Dairy Research*, 76(3), 290–293.
7. Banville, V.; Morin, P.; Pouliot, Y.; and Britten, M. (2013). Physical properties of pizza Mozzarella cheese manufactured under different cheese-making condition. *Journal of Dairy Science*, 96, 4804–4815.
8. Barbano, D.M.; Chu, K.Y.; Yuri, J.J. and Kindstedt, P.S. (1993). Contribution of coagulant, starter and milk enzymes to proteolysis and browning in Mozzarella cheese. En Actas de *30th Marshall Italian and Specialty Cheese Seminars* (pp. 65–79). Organizado por Rhodia-Marshall, Madison (EE. UU.).
9. Barbano, D.M. (1996). *Mozzarella cheese yield: factors to consider*. Proc. Seminar on maximizing cheese yield (pp. 29–38). Madison, WI(USA): CTR. Dairy Research,
10. Barbaros, Ö.; Yakup, S.U.; And Hüseyin, A.K. (2008). Effect of microencapsulation on viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 during Kasar cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 61(3), 237–244.
11. Bradley, R.; Arnold, E.; Barbano, D.; Semerad, R.; Smith, D.; and Vines, B. (1993). Chemical and physical methods. En R. Marshall (Ed.), *Standard methods for the*

-
- examination of dairy products* (pp. 433–532). Washington, DC: American Public Health Association (APHA).
12. Bergamini, C.V.; Hynes, E.R.; Quiberoni, A.; Suárez, V. B.; and Zalazar, C.A. (2005). Probiotic bacteria as adjunct starters: influence of addition methodology on their survival in a semi-hard Argentinean cheese. *Food Research International*, 38, 597–604.
 13. CAA, Artículo 618 (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 33/2006 y N° 563/2006).
 14. CAA, Artículo 618bis (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 33/2006 y N° 563/2006).
 15. Candia, S. de; De Angelis, M.; Dunlea, E.; Minervini, F.; McSweeney, P.L.H.; Faccia, M.; and Gobbetti, M. (2007). Molecular identification and typing of natural whey starter cultures and microbiological and compositional properties of related traditional Mozzarella cheeses. *International Journal of Food Microbiology*, 119, 182–191.
 16. Coppola, S.; Villani, F.; Coppola, R.; and Parente, E. (1990). Comparison of different starter systems for water-buffalo Mozzarella cheese manufacture. *Lait*, 70, 411–423.
 17. Costabel, L.; Pauletti, M.S. and Hynes, E. (2007). Proteolysis in Mozzarella cheeses manufactured by different industrial processes. *Journal of Dairy Science*, 90, 2103–2112.
 18. Cuffia, F.; George, G.; Renzulli, P.; Reinheimer, J.A.; Meinardi, C.; and Burns, P. (2017). Technological challenges in the production of a probiotic pasta filata soft cheese. *LWT – Food Science and Technology*, 81, 111–117.
 19. Cuffia, F.; Pavón, Y.; George, G.; Reinheimer, J.A.; and Burns, P. (2019a). Effect of storage temperature on the chemical, microbiological and sensory characteristics of pasta filata soft cheese containing probiotic lactobacilli. *Food Science and Technology International*, 25(7), 588–596.
 20. Cuffia, F.; George, G.; Godoy, L.; Vinderola, G.; Reinheimer, J.; and Burns, P. (2019b). In vivo study of the immunomodulatory capacity and the impact of probiotic strains on physicochemical and sensory characteristics: Case of pasta filata soft cheeses. *Food Research International*, 125, 108606.
-

-
21. De Angelis, M.; and Gobbetti, M. (2011) Pasta-Filata Cheeses: Traditional Pasta-Filata Cheese. En *Encyclopedia of Dairy Sciences. Second edition* (pp. 745–752). Londres: Elsevier.
 22. FAO/WHO. (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization Working Group Report. http://www.fao.org/es/ESN/food/foodandfood_probio_en.stmS.
 23. Fox, P.F.; Guinee, T.P.; Cogan, T.M.; and McSweeney, P.L.H. (2017a). Chapter 3, Principal Families of Cheese (pp. 27–69). En *Fundamentals of Cheese Science. Second Edition*. New York, USA: Ed. Springer.
 24. Fox, P.F.; Guinee, T.P.; Cogan, T.M.; and McSweeney, P.L.H. (2017b). Chapter 8, Post-Coagulation Treatment of the Renneted-Milk Gel (pp. 231–249). En *Fundamentals of Cheese Science. Second Edition*. New York, USA.: Ed. Springer.
 25. Fox, P.F.; Guinee, T.P.; Cogan, T.M.; and McSweeney, P.L.H. (2017c). Chapter 14, Cheese: Structure, Rheology and Texture (pp. 475–532). En *Fundamentals of Cheese Science. Second Edition*. New York, USA.: Ed. Springer.
 26. Fox, P.F.; and McSweeney, P.L.H. (1998). Chapter 5, Salts of Milk (pp. 239–264). En *Dairy Chemistry and Biochemistry. First Edition*. London, UK: Ed. Blackie Academic & Professional.
 27. Furtado, Murcio (2020). *A aplicação da fórmula de Van Slyke no controle do rendimento da Mussarela*. Informe para DuPont Health & Biosciences. Brasil.
 28. Giraffa, G. ed Olivari, G.(1992). Impiego di glucono delta lattone nella fabbricazione di formaggi. Nota II: mozzarella. *L'industria del latte*, 28, 59–72.
 29. Ghitti, G.C.; Bianchi, B.; e Rottigni, C. (1996). *Il formaggio Mozzarella*. Milano, Italia: Editori Centro Sperimentale del Latte.
 30. Hayes, M.G.; Oliveira, J.C.; McSweeney, P.L.H.; and Kelly, A.L. (2002). Thermal inactivation of chymosin during cheese manufacture. *Journal of Dairy Science*, 69, 269–279.
 31. Hynes, E.; Candiotti, M.C.; Zalazar, C.A.; and McSweeney, P.L.H. (2004b). Rennet activity and proteolysis in Reggianito Argentino hard cooked cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, 59, 209–213.

-
32. IPEC, 2021. *Informe octubre 2021 del Sector Lácteo de la Provincia de Santa Fe*, (p.15). Santa Fe: Ministerio de Economía, en base a datos de INDEC
 33. ISO. (2004). Cheese and processed cheese - determination of the total solids content (Reference method). ISO 5534-IDF 4. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
 34. ISO. (2008). Cheese - determination of fat content - van Gulik method. ISO 3433-IDF 35. 222. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
 36. ISO. (2011). Milk and milk products - determination of nitrogen content - part 1: Kjeldahl principle and crude protein calculation. ISO 8968-IDF 20. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
 37. Kindstedt, P.S.; Yun, J.J.; Barbano, D.M.; and Larose. K.L. (1995). Mozzarella cheese: Impact of coagulant concentration on chemical composition, proteolysis, and functional properties. *Journal of Dairy Science*, 78, 2591–2592.
 38. Kindstedt, P.; Rowney, M. and Roupas, P. (1999). Technology, biochemistry and functionality of pasta filata/pizza cheese. En Law, B.A. (Ed.), *Technology of cheesemaking* (pp. 193–221). Sheffield: Sheffield Academic Press.
 39. Kindstedt, P.; Carić, M. and Milanović, S. (2004). Pasta filata cheeses. En Fox, P.; McSweeney, P.; Cogatin, T. and Guinee, T. (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology* (pp. 251–257). Londres: Elsevier.
 40. Kindstedt, Paul S. (2019). Symposium review: The Mozzarella/pasta filata years: A tribute to David M. Barbano. *Journal of Dairy Science*, 102, 10670–10676.
 41. Lee, Y.K. and Salminen, S. (1995). The coming of age of probiotics, *Trends in Food Science & Technology, Volume 6 (7)*, 241–245.
 42. Lelievre, J.; Shaker, R.R. and Taylor, M.W. (1990). The role of homogenization in the manufacture of halloumi and mozzarella cheese from recombined milk. *Journal of the Society of Dairy Technology*, 43, 21–24.
 43. Martínez Rodríguez, Y.; Acosta Muñiz, C.; Olivas, G.I.; Guerrero-Beltrán, J.; Rodrigo Aliaga, D.; and Sepúlveda, D.R. (2012). High hydrostatic pressure processing of cheese. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 399–416.
 44. McMahan, D.J.; Oberg, C.G.; and McManus, W. (1993). Functionality of Mozzarella cheese. *The Australian Journal of Dairy Technology*, 48, 99–105.
-

-
45. McMahon, D.J.; and Oberg, C.G. (2011). Pasta–Filata Cheeses: Low–Moisture Part–Skim Mozzarella (Pizza Cheese). En *Encyclopedia of Dairy Sciences- Second Edition* (pp 737–744). Londres: Elsevier.
 46. McSweeney, P.L.H. (2004). Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 57(2/3), 127–144.
 47. Minervini, F.; Siragusa, S.; Faccia, M.; Dal Bello, F.; Gobbetti, M. and De Angelis, M. (2012). Manufacture of Fiordilatte cheese by incorporation of probiotic lactobacilli. *Journal of Dairy Science*, 95, 508–520.
 48. Mucchetti, G.; ed Neviani, E. (2006). Capítulo5: Il Formaggio. En *Microbiologia tecnologia lattiero-casearia. Qualità e sicurezza*. Milano: Tecniche Nuove.
 49. Oberg, C.J.; McManus, W.R.; and McMahon, D.J. (1993). Microstructure of Mozzarella cheese during manufacture. *Food Structure*, 12(2), 251–258.
 50. Ogbonna, C.C.; Cecchini, C.; Silvi, S.; Verdenelli, M.C.; Coman, M.M.; Orpianesi, C.; And Cresci, A. (2011). Enhancing Italian traditional foods through the enrichment of functional ingredients. *AgroFOOD industry hi-tech*, 22(2), 34–37.
 51. Ortakci, F.; Broadbent, J.R.; McManus, W.R. and McMahon, D.J. (2012). Survival of microencapsulated probiotic *Lactobacillus paracasei* LBC–1e during manufacture of Mozzarella cheese and simulated gastric digestion. *Journal of Dairy Science*, 95, 6274–6281.
 52. O'Keeffe, R.B.; Fox, P.F. and Daly, C. (1975). Proteolysis in Cheddar cheese: Influence of the rate of acid production during manufacture. *Journal of Dairy Research*, 42(1), 111–122.
 53. Raimundo, D.C.; Travaglini, R.G.; Souza, G.O.; Starikoff, K.R.; Sanches, S.A.; Souza, O.B.; Balian, S.C.; and Telles, E.O. (2013). Methods for thermal inactivation of pathogens in Mozzarella: a comparison between stretching and pasteurization. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 65(2), 582–588.
 54. Rebecchi, S.; Sanchez, R.; Deseta, L.; y Meinardi, C. (2012). *Desarrollo de un protocolo para la elaboración regional de mozzarella de búfala*. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. San Rafael, Mendoza, Argentina.

55. Renda, A.; Barbano, D.M.; Yun, J.J.; Kindstedt, P.S.; and Mulvaney, S.J. (1997). Influence of screw speeds of the mixer at low temperature on characteristics of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 80, 1901–1907.
56. Ricciardi, A.; Guidone, A.; Zotta, T.; Matera, A.; Claps, S.; and Parente, E. (2015). Evolution of microbial counts and chemical and physico-chemical parameters in high-moisture Mozzarella cheese during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 821–827.
57. Salvadori del Prato, O. (1998). Mozzarella (pp. 593–605). *Trattato di tecnologia casearia*. Boloña: Edagricole.
58. Tunick, M.H.; Malin, E.L.; Smith, P.W.; Shieh, J.J.; Sullivan, B.C.; Mackey, K.L. and Holsinger, V.H. (1993). Proteolysis and rheology of low fat and full fat Mozzarella cheeses prepared from homogenized milk. *Journal of Dairy Science*, 76, 3621–3628.
59. Vigliengo, E. (2013). *Síntesis del material de las charlas técnica*. ExpoSuipacha 2013, p. 116.
60. Vinderola, C.G.; Perdigon, G.; Reinheimer, J.A.; Medici, M.; Prosello, W; and Ghiberto, D. (2003). Bioqueso Ilolay Vita: un nuevo queso probiótico con alta respuesta sobre el sistema inmune. *ILE: Industria Láctea Española*, 298, 34–48.
61. Walstra, P.; Geurts, T.J.; Noomen, A.; Jellema, A. and van Boekel, M.A.J.S. (1999). *Dairy Technology. Principles of Milk Properties and Processes*. New York: Marcel Dekker.
62. Walstra, P.; Wouters, J.T.M.; and Geurts, T.J. (2006). Chapter 24.3, Cheese Manufacture: Enzyme-induced clotting. En *Dairy Science and Technology*. Ed. Taylor & Francis Group, LLC.
63. Yun, J.; Barbano, L. and Kindstedt, P.S. (1993). Mozzarella Cheese: Impact of coagulant type on chemical composition and proteolysis. *Journal of Dairy Science*, 76, 3648–3656.

Páginas web

1. BORD BIA, 2018. (Revista digital irlandesa especializada en la industria alimenticia) <https://www.bordbia.ie/industry/news/food-alerts/cheese-imports-in-china/>

2. Clarín Rural, 2019. https://www.clarin.com/rural/mercado-chino-lacteos-primero-mundo-anos_0_bQFlmj2xW.html
3. OCLA (2019). Capítulo 11: Queso (p.46). En *Informe Estado de Situación de la Industria Láctea Argentina para la definición de políticas públicas*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/14685677-estado-de-situacion-de-la-industria-lactea-argentina-2016-2018>
4. OCLA (2021). <https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/19798779-argentina-ranking-de-industrias-lacteas-2020-2021>
5. OCLA noticias (2019). <https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/14806793>
6. Súper Campo (2014). <http://supercampo.perfil.com/2014/05/la-argentina-el-mayor-consumidor-de-queso-de-latinoamerica/>
7. USDA (2018). (United States Department of Agriculture). Estadísticas recuperadas de https://quickstats.nass.usda.gov/results/4BEA543C-0754-399D-AA91-2ABE7D608E87?pivot=short_desc