

# MODELOS DE OPTIMIZACIÓN APLICADOS AL APROVECHAMIENTO DE LACTOSUERO EN PYMES DE SANTA FE



## RESUMEN

El suero de leche es un subproducto de la fabricación de queso, es una fuente importante de nutrientes, pero aún hoy es subutilizado en muchas partes del mundo. El objetivo de este proyecto fue aplicar herramientas de Investigación Operativa para proponer soluciones sobre la localización de la planta centralizadora y el ruteo de recolección, de diseño de procesos de agregado de valor y de herramientas financieras para el análisis de costos y de rentabilidad. La propuesta desarrollada para alcanzar este objetivo se aplicó bajo la hipótesis de la conformación de una estructura asociativa con un grupo de PyMEs queseras de la Cuenca Central de Santa Fe, que aportarán un volumen diario aproximado de 530.000 litros de suero de queso a una planta centralizadora. Aplicando los modelos desarrollados, surge que la planta centralizadora se ubicará en el parque industrial de Rafaela, con un ruteo optimizado para minimizar el costo de transporte. Considerando los precios de venta internacionales, el potencial de crecimiento de los respectivos mercados, los niveles tecnológicos asociados y el aprovechamiento de los retenidos y permeados, se propone producir en dos líneas distintas tres derivados del suero: WPC80 (concentrado de proteínas de suero al 80%), Permeado de UF (para producción de lactosa), y D3011 (suero en polvo desmineralizado al 30%).

**Palabras claves:** suero, optimización, localización, recolección, procesos

Paez R.<sup>1\*</sup>; Granata V.<sup>3</sup>; DeVito M.<sup>3</sup>; Karlen J.<sup>2</sup>; Taverna, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INTA EEA Rafaela. Rafaela, Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup>INTI Lácteos. Rafaela, Santa Fe, Argentina.

<sup>3</sup>Estudiantes de la carrera Ing. Industrial – FCEyN – UNR

\*paez.roxana@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

El sector industrial lácteo de Santa Fe se caracteriza por procesar diariamente unos 10 millones de litros en 125 plantas receptoras de leche. Estas pymes pueden dividirse en cuatro estratos diferentes, según su nivel de recepción diaria de leche cruda (en litros/día). En la Figura 1 se puede observar la distribución de las plantas en el territorio de la provincia, diferenciadas por estrato. De las 125 empresas, 100 corresponden al sector de PyMEs productoras de queso, cuyo principal subproducto es el suero. El suero de leche es un subproducto de la fabricación de queso, es una fuente importante de nutrientes que aún hoy es subutilizada, fundamentalmente por parte de las pymes. En el estudio realizado por el INTA y el INTI Rafaela, en el marco del proyecto Ecosuero en la provincia de Santa Fe, se evaluaron los destinos y tecnologías disponibles por estrato para procesamiento de suero, con el fin de profundizar en la situación de las empresas según su escala. Como resultado de este análisis, se observó una estrecha relación entre el estrato al cual pertenecen las empresas y sus posibilidades de inversión para adquirir nuevas tecnologías. Por este motivo, la mayoría de estas empresas aplican para el destino del suero las opciones más prácticas, pero que son las menos sustentables para el sistema. (Teran y col., 2011). El objetivo de este proyecto fue aplicar herramientas de Investigación Operativa para proponer soluciones sobre la localización de la planta centralizadora y el ruteo de recolección, de diseño de procesos de agregado de valor y de herramientas financieras para el análisis de costos y de rentabilidad.

**FIGURA 1 -**  
Distribución de las plantas lácteas en la provincia de Santa Fe.

Fuente: Ministerio de Agroindustria de la Nación



## METODOLOGÍA

Para realizar este estudio, se seleccionaron 27 empresas pymes procesadoras de suero correspondientes a los estratos 2 y 3. El volumen total de suero que suman entre ellas es de 529.380 litros por día, los que se pretende transportar y procesar en una planta centralizadora. Para definir la localización de la planta se utilizó el Método del Centro de Gravedad, que es un modelo matemático que se utiliza para encontrar la mejor ubicación de una instalación que centraliza la recepción de un flujo de materiales en relación a otras instalaciones, garantizando el mínimo Costo Total de Transporte. Para el análisis de la logística de recolección, se aplicó el sistema *milk run*, que es un caso particular del clásico problema de optimización de ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP: Capacitated Vehicle Routing Problem). El mismo consiste en encontrar un conjunto de rutas de mínimo costo, que comienzan y terminan todas en un depósito central (en nuestro caso, la planta centralizadora), y tales que permitan recoger determinados abastecimientos de todos los proveedores. A diferencia del método de localización de la planta centralizadora, que utiliza distancias lineales, en el ruteo se



# DIAGRAMMA S.A.

BIOTECNOLOGÍA

diagramma.com.ar

## DESARROLLO DE SOLUCIONES PARA PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

- Cultivos lácticos y cárnicos
- Quimosina
- Antifúngico
- Probióticos para consumo humano y animal
- Inoculantes para ensilados
- Suplementos para nutrición animal

---

- Biogás
- Biofertilizantes
- Desarrollo de inóculos especializados
- Ensayos de efluentes para la generación de Biogás.
- Procesos de separación/ concentración por membranas.







San Lorenzo 1055 (3000) Santa Fe - Argentina  
Tel.: 54 342 4584245 - Fax: 54 342 4584248; info@diagramma.com.ar

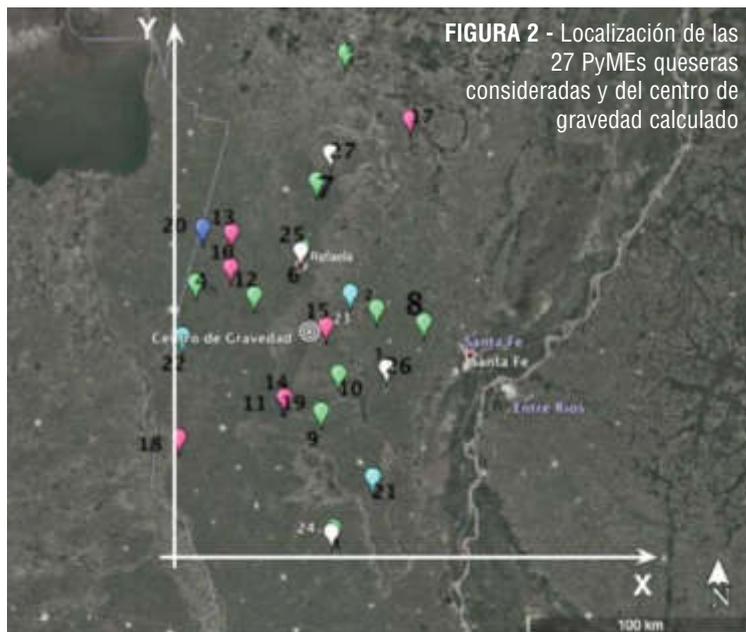


FIGURA 2 - Localización de las 27 PyMEs queseras consideradas y del centro de gravedad calculado

utilizaron distancias reales por caminos y rutas entre las plantas.

Para la optimización del ruteo se trabajó con grupos de plantas. Se aplicó un Análisis de Clusters, utilizando el Algoritmo de Lloyd -conocido también como k-means- para formar los grupos, los que se trataron separadamente a la hora de resolver los ruteos.

Para elegir estratégicamente los productos a fabricar en la planta centralizadora se tuvieron en cuenta aspectos comerciales y técnicos. Se formuló un modelo de Programación Lineal (PL) que se resolvió con la herramienta Solver de Excel, para calcular las proporciones de cada uno de los derivados a producir que maximicen ingreso por ventas.

## RESULTADOS

En el método aplicado para definir la localización, cada punto de producción atrae a la planta centralizadora hacia sí con una fuerza directamente proporcional al producto del costo unitario de transporte y al volumen de suero que sale de ese punto. Al ejecutar el modelo, resultó que el punto óptimo de localización de la planta centralizadora es, según los ejes cartesianos definidos,  $X= 59,43$  Km e  $Y= 91,05$  Km, de

coordenadas geográficas  $31^{\circ}31'19,55''S$  y  $61^{\circ}27'5,09''O$  (Figura 2). Al aplicar el método no se han considerado factores como accesibilidad (existencia de caminos y estado de los mismos), disponibilidad de terrenos, cercanía de proveedores, disponibilidad de servicios, etc. Teniendo en cuenta esto, optamos por ubicar la planta centralizadora en el Parque Industrial de la localidad de Rafaela, que se encuentra a 30 km aproximadamente del centro de gravedad calculado, que cuenta con la infraestructura de caminos y servicios propios para la instalación de una planta industrial y cercanía con proveedores y clientes.

Aplicando el análisis de clúster, resultaron cuatro grupos. El diagrama del ruteo que minimiza los costos de transporte correspondiente a cada clúster se puede ver en la Figura 3. Las plantas que generan más de 27.000

litros/día serán visitadas dos veces por jornada. El orden de las visitas será indistinto, por lo que se considera que en la primera visita se cargará un camión completo (27.000 litros) y en la segunda el excedente. En base al análisis de las variables del modelo, se calcularon algunos indicadores de interés: costo por litro de suero transportado = 0,1884 \$/litro, carga promedio de los camiones al final del recorrido = 24.063 litros (89% de la capacidad), tiempo promedio del suero en los camiones = 4,08 horas, tiempo máximo del suero en los camiones = 5,51 horas. Este valor de tiempo máximo en los camiones es menor al máximo de seis horas recomendado para conservar y no perder calidad del suero durante su transporte.

Desde el punto de vista comercial, se analizó el comportamiento del mercado de distintos derivados de suero: precios de venta, tamaño del mercado y creci-

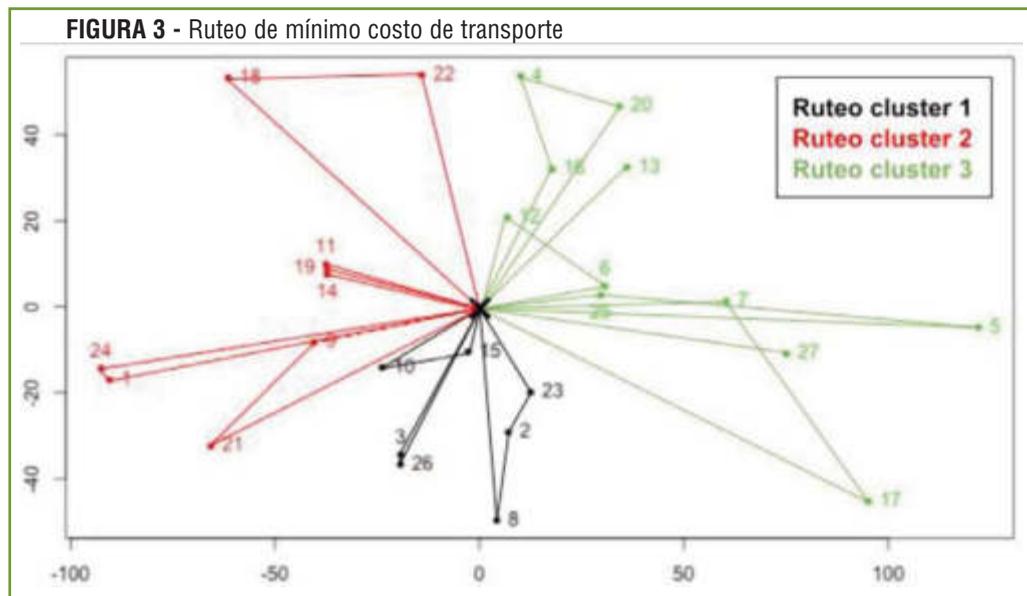
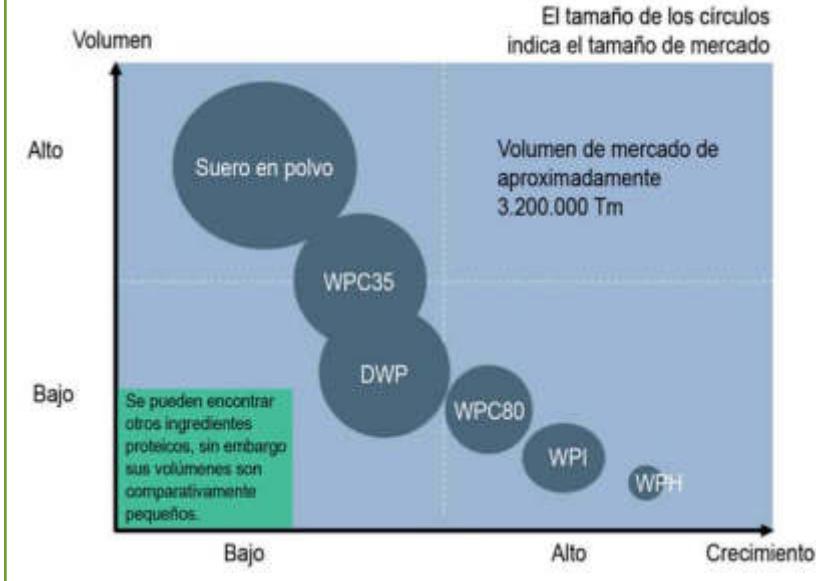


FIGURA 3 - Ruteo de mínimo costo de transporte

**FIGURA 4** - Mercado del suero. Tamaño y crecimiento de los principales derivados



miento esperado (Figura 4). Los mercados más chicos (WPC80, WPI y WPH) son los que tienen mayor expectativa de crecimiento y no se espera que crezcan significativamente los mercados que actualmente están más consolidados. La gran mayoría de los derivados del suero son de fácil comercialización internacional, pero presentan la particularidad de comportarse como commodities, cuyos precios tienen fluctuaciones permanentes. Desde 2011 la mayoría de los precios sufrió fluctuaciones relevantes, excepto el del DSW (suero desmineralizado en polvo) que, comparado con los otros, se mantuvo relativamente constante.

Para amortiguar estas variaciones de precios y que no influyan de manera significativa en la rentabilidad del modelo, proponemos diseñar un proceso versátil que permita producir más de un derivado y que pueda adaptarse a las demandas del mercado. Desde el punto de vista técnico, se analizaron los procesos y la tecnología necesaria para producir diversos derivados de suero. La tecnología elegida, por ser la más adoptada por la mayoría de las empresas, es la de filtración por membranas. El proceso de filtración por membranas genera dos flujos (el permeado y el retentado) ya que normalmente sólo uno de ellos es el que se utiliza para obtener el derivado de suero deseado, pero hay que dar algún destino al otro.

Considerando los precios de venta internacionales, el potencial de crecimiento de los respectivos mercados, los niveles tecnológicos asociados y el aprovechamiento de los retentados y permeados, se propone producir en dos líneas distintas con tres derivados del suero: WPC80 (concentrado de proteínas de suero al 80%), Permeado de UF (para producción de lactosa), y D3011 (suero desmineralizado al 30% en polvo). Aplicando los rendimientos y

considerando los precios de venta se formuló un modelo de Programación Lineal (PL) para calcular las proporciones de cada uno de los derivados a producir que maximicen el ingreso por ventas. Con la resolución del modelo se obtuvo la siguiente combinación: WPC80 a producir (XWPC80): 2171 kg/día, D30 a producir (XD30): 8132 Kg/día, Permeado de UF a producir (XP): 272.130 Kg/día. Del análisis del flujo de fondos se obtuvo una VAN de 3.119.895, una TIR de 28%, y el PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión) fue de tres años.

## CONCLUSIONES

La propuesta presentada aborda la problemática actual del suero en forma integral. A la vez, resulta innovadora porque a través del modelo asociativo de valorización de suero propuesto no sólo se busca reunir el volumen de suero sino también -gracias a la posibilidad de participación de las empresas en las utilidades- generar mayor compromiso e involucramiento de las PyMEs que la conforman y garantizar el funcionamiento del modelo.

Otra fortaleza de este proyecto es la flexibilidad de las herramientas de optimización utilizadas, que permiten adaptar el modelo a cualquier conjunto de empresas, no solo a las 27 con las cuales se trabajó. Así, si con el paso del tiempo algunas empresas decidieran abandonar la asociación -u otras nuevas incorporarse- simplemente actualizando sus datos de producción de suero y sus ubicaciones se podrían recalcular fácilmente los ruteos de recolección.

Los derivados de suero de queso se comportan en el mercado internacional como commodities, cuyas fluctuaciones de precios podrían poner en riesgo la rentabilidad del modelo. Es por eso que se considera como fortaleza de la propuesta de producción, la flexibilidad para adaptarse a estas fluctuaciones de precios, garantizando poder generar productos que satisfagan las demandas más rentables del mercado. La propuesta no sólo representa un beneficio para las PyMEs involucradas, sino que además podría contribuir al desarrollo de la economía sectorial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Schaller, Anibal, "Sueros de lechería: oportunidad para el agregado de valor", Revista Alimentos Argentinos - Programa VALORAR, 2009.
- Taverna, Miguel, et al., "Valorización de suero de quesería", INTA/INTI, 2014.
- Terán, J., Páez, R., Pirola, M. y Schmidt, E., Características generales sobre el uso del suero de queso en la Provincia de Santa Fe,