

Investigación en la almazara

FRANCISCO ESPÍNOLA LOZANO

MANUEL MOYA VILLAR

JUAN VILLAR HERNÁNDEZ

M^a VICTORIA MORENO ROMERO

DIEGO GINÉS FERNÁNDEZ VALDIVIA

Universidad de Jaén. Dpto. de Ingeniería Química,
Ambiental y de los Materiales

RESUMEN

Los diferentes sistemas de elaborar el aceite de oliva virgen, las distintas formas de operar con los equipos disponibles y la variabilidad en la materia prima conducen a una gran cantidad de posibilidades al procesar las aceitunas, y sólo a través de la investigación podemos buscar el mejor camino para mejorar u optimizar el proceso. Para comprender todo el potencial de la optimización debemos pensar en la diferencia que existe entre hacer las cosas bien y hacerlas de forma excelente. Según cálculos objetivos, si una almazara molturara un millón de kilogramos de aceitunas por campaña podría tener una diferencia económica de 75.000 W. Ésta sería la diferencia entre optimizar o no optimizar el proceso.

No es necesaria una inversión importante para conseguir los beneficios de la optimización; simplemente hace falta aplicar una metodología científica basada en las teorías y conocimientos existentes. Básicamente, se propone utilizar el Diseño Estadístico de Experimentos, el modelado y simulación de procesos y herramientas de optimización, tales como la Programación Lineal y la Programación dinámica.

SUMMARY

Different systems to elaborate virgin olive oil, distinct ways to operate with available equipments and the variability in the raw material lead to many possibilities for processing olives, and the best pathway to improve the process is attainable only through research. In order to understand all the potential of optimization the difference between doing things right and doing them excellent must be considered. According to clear estimations, if an oil mill crushed one million kilograms of olives per season, it would have an economic difference of around 75,000, this is the difference between optimizing or not optimizing the process.

It is not necessary to accomplish a great investment to get benefits from optimization; it is simply enough to apply a scientific methodology founded in theories and present-day knowledge. Basically, we suggest using Statistical Experiment Design, modelling and simulation of processes and tools of optimization like Linear Programming and Dynamic Programming.

Sólo a través de la investigación podemos buscar la mejor manera de realizar, optimizar, una actividad. Lo que supone romper la inercia del trabajo rutinario para obtener los mejores resultados posibles. La investigación es aplicable a cualquier empresa, no como una actividad idealista sino como algo necesario y en las almazaras tenemos un buen ejemplo.

COMPLEJIDAD DE UNA ALMAZARA

Se parte de una materia prima, aceitunas, que cambia a lo largo de una campaña, de unas campañas a otras y de unas zonas geográficas a otras. A menudo oímos que unas condiciones de operación, para la obtención del aceite, van bien en unas fechas y zonas determinadas y no funcionan igualmente en otras. Las aceitunas no son sustancias puras, ni mezclas de composición constante, y sin embargo observamos que se opera con las mismas condiciones o con una variabilidad en las mismas prácticamente nulas. Como sabemos, el proceso no es fácil o cómodo, en realidad es muy delicado, porque un error puede dar lugar a que el producto pierda calidad o baje el rendimiento.

Los diferentes sistemas para elaborar un mismo producto, las distintas formas de operar con los equipos y la variabilidad en la materia prima conducen a una gran cantidad de posibilidades o caminos para procesar las aceitunas. Como incentivo para elegir el mejor de ellos siempre existe el criterio económico, sabiendo que el mejor es el que más beneficios genera. Lo difícil es encontrar el camino adecuado y para ello debe intervenir la investigación: «Si buscas resultados distintos, no hagas siempre los mismo» (Albert Einstein).

Para comprender todo el potencial de la optimización debemos pensar en la diferencia que existe entre hacer las cosas bien y hacerlas de forma excelente o entre saber resolver problemas y saber evitarlos. Popularmente se dice que quien sabe resolver problemas es menos eficiente que quien sabe evitarlos; por ello, hagamos las cosas excelentes y no tendremos que resolver problemas posteriormente.

¿CUÁNTO SE PUEDE MEJORAR?

La diferencia entre hacer las cosas bien o excelente conlleva, desde el punto de vista del aceite de oliva, una mejora de calidad y/o un incremento del rendimiento.

En la Figura 1 se puede observar la diferencia de precio entre el aceite de oliva virgen y el aceite de oliva lampante (base 1º), en los primeros meses del año 2005 ha estado entorno a 0,20 W/kg de aceite, que suponiendo un contenido en aceite del 20 % en las aceitunas, podríamos establecer la diferencia anterior entorno a 0,04 W/kg de aceituna.

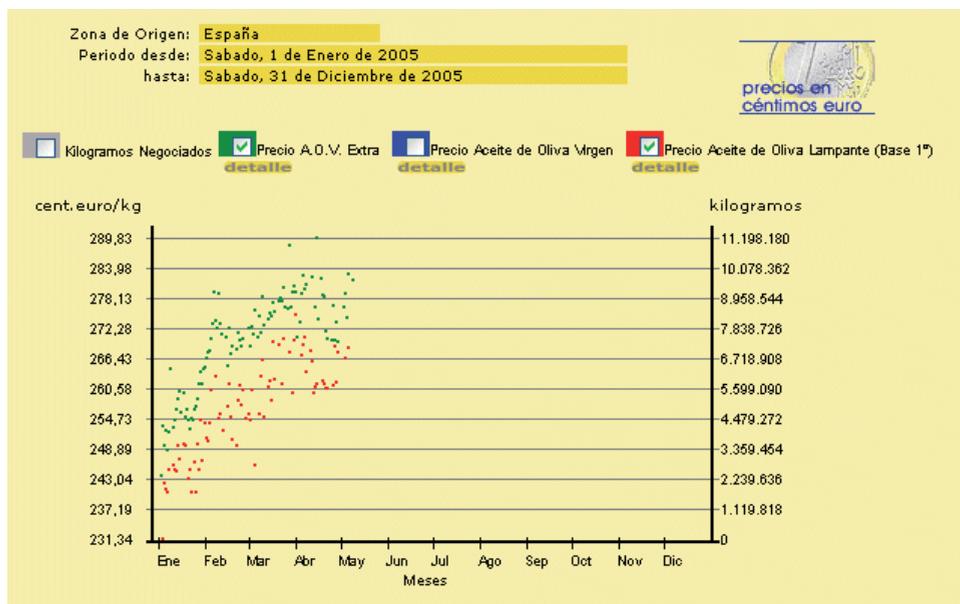


FIGURA 1: Evolución de los precios de los aceites de oliva en los primeros meses del año 2005 (POOL: Sistema de Información de Precios en Origen del Aceite de Oliva. Fundación del Olivar).

Del seguimiento diario realizado a 25 almazaras trabajando en dos fases con aceituna de la variedad Picual, Hermoso *et al.* (1995) concluyen que el contenido graso en orujos secos varía del 5,5 hasta el 8 %, lo que puede suponer 1,25 % de diferencia en el rendimiento industrial en húmedo, o lo que es lo mismo, 0,035 W/kg de aceituna, considerando un precio de 2,80 W/kg de aceite.

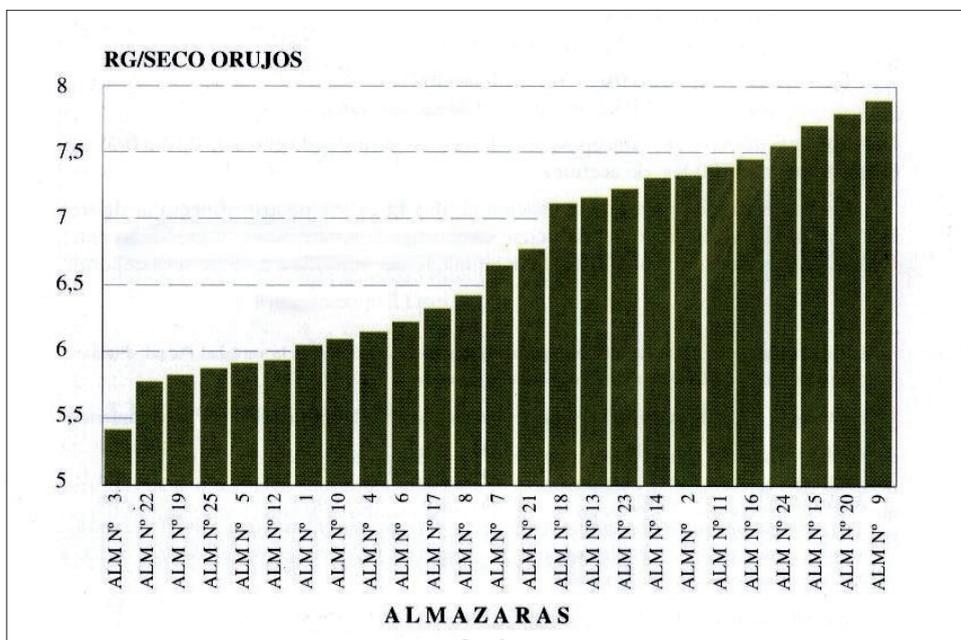


FIGURA 2. Valores medios del contenido graso en orujos secos de 25 almazaras, Hermoso et al. (1995).

Si sumamos las dos cantidades anteriores:

$$0,04 \text{ W/kg} + 0,035 \text{ W/kg} = 0,075 \text{ W/kg de aceituna}$$

Para una almazara que molture un millón de kilogramos de aceituna por campaña le supondría un montante económico de 75.000 W (12,5 millones de pesetas). Esta sería la diferencia entre trabajar bien o trabajar de forma excelente, es decir, la diferencia entre optimizar y no optimizar. Además, no hace falta una inversión importante para conseguir el objetivo, simplemente se necesita:

- Una organización adecuada.
- Personal cualificado.
- Espíritu innovador.

¿CÓMO INVESTIGAR?

Siguiendo un método que explique la realidad observable, partiendo de interrogantes sobre esa realidad, con base en las teorías existentes y tratando de hallar soluciones a los problemas planteados. Este método

conocido con el nombre de *método científico*, tiene una serie de etapas que hay que respetar:

- a) Observación
- b) Hipótesis
- c) Experimentación
- d) Análisis de resultados y conclusiones.

El pilar básico del método científico es la reproducibilidad o capacidad de repetir un determinado experimento o procedimiento mediante el cual se trata de comprobar (confirmar o verificar) una o varias hipótesis relacionadas con un determinado fenómeno, mediante la observación y medición de las variables que influyen en el mismo.

Si bien el primer paso del método científico es la observación, en la formulación de hipótesis y su comprobación experimental está la clave del mismo. Mediante las hipótesis se tratan de explicar los hechos ocurridos (observados), es decir, la relación causa-efecto; y debe tener matices predictivos, si es posible. Cuanto más simple sea, una hipótesis, más fácilmente demostrable será.

Las hipótesis deben ser comprobadas experimentalmente y de esta comprobación experimental surgen unos resultados que hay que analizar estadísticamente, porque la Estadística nos dice si un evento, suceso o valor, es significativo, cuando es poco probable que ocurra y, seguramente, no es debido al azar sino a factores específicos. De forma más estricta, por significación estadística, se hace referencia a la cuestión de determinar si un valor o resultado obtenido, de una muestra, es poco probable, de modo que no puede explicarse por las fluctuaciones o errores propios de esa acción.

DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

Obviamente, la experimentación se debe planificar o diseñar cuidadosamente para que proporcione la información buscada. Dicha planificación debe considerar dos aspectos importantes relacionados con toda experimentación:

1. La experimentación es normalmente cara. La capacidad de experimentar está limitada por el coste en tiempo y en recursos (personal, materias primas, etc...). Por tanto, una organización óptima de la experimentación deberá contemplar el menor número de experimentos que permitan obtener la información buscada.

2. El resultado observado de un experimento tiene incertidumbre. La Estadística es una disciplina que proporciona las herramientas para trabajar en ambientes de incertidumbre.

Para cubrir los aspectos señalados se puede utilizar una metodología conocida como Diseño Estadístico de Experimentos, Box *et al.* (2002), Montgomery (2002), que se basa en útiles matemáticos y estadísticos cuyo objetivo es ayudar al experimentador a:

1. Seleccionar la estrategia experimental óptima que permita obtener la información buscada con el mínimo coste.
2. Evaluar los resultados experimentales obtenidos, garantizando la máxima fiabilidad en las conclusiones que se obtengan.

El método tradicional de experimentación consiste en variar-un-factor-cada-vez: a partir de unas condiciones iniciales, se realizan experimentos en los cuales todos los factores se mantienen constantes excepto el que se está estudiando. De este modo, la variación de la respuesta se puede atribuir a la variación del factor y , por tanto, revela el efecto de ese factor. El procedimiento se repite para los otros factores. Esta forma de actuar obliga a realizar un gran número de experimentos para poder demostrar la hipótesis supuesta. Además, el razonamiento que soporta esta forma de actuar se basa en que si se variaran dos o más factores, entre dos experimentos consecutivos, no es posible conocer si el cambio en la respuesta ha sido debido al cambio de un factor, al de otro, o al de todos a la vez.

La estrategia experimental del método tradicional presenta inconvenientes importantes cuando existe interacción entre factores, es decir, cuando el efecto del factor A es diferente según qué valor tome el factor B, y viceversa. Cuando existen tales interacciones, el método tradicional:

- a) No informa sobre como un factor interactúa con los otros factores o como estas interacciones afectan a la respuesta, con lo cual sólo se obtiene una comprensión limitada de los efectos de los factores, Figuras 3 y 4.

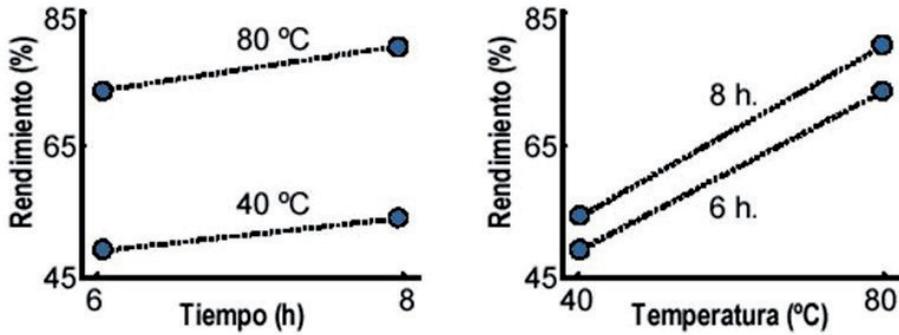


Figura 3. Gráficos de interacción: Líneas paralelas indican que no existe interacción importante entre los factores.

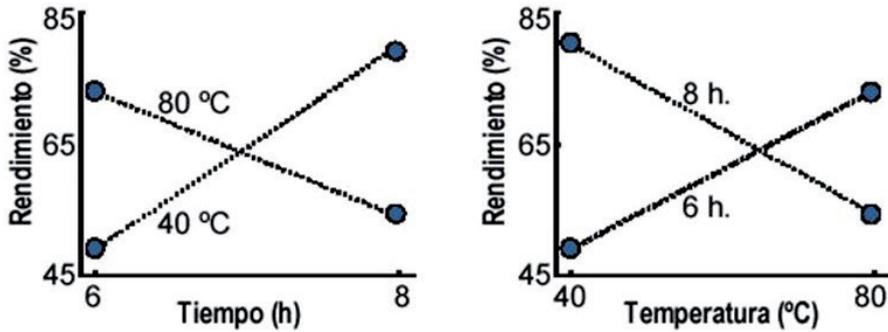


Figura 4. Gráficos de interacción: Líneas cruzadas indican que existe interacción importante entre los factores.

b) No proporciona la posición del óptimo. El experimentador percibe que se ha llegado al óptimo porque cambiando un factor cada vez la respuesta no mejora, pero se puede encontrar lejos del óptimo real. Aunque se puede reiniciar la experimentación partiendo del «optimo» encontrado, Figura 5, esta solución es extremadamente ineficiente cuando se deben estudiar muchos factores a muchos valores distintos, ya que se requeriría demasiados experimentos y demasiado tiempo. Como ejemplo, se considera el caso de la obtención del aceite de oliva virgen que, entre otros factores, pueden influir los siguientes:

- Variedad e índice de madurez de las aceitunas.
- Tratamiento previo de las aceitunas.
- Diámetro de la criba del molino.

- Temperatura y tiempo de batido.
- Coadyuvantes tecnológicos.
- Adición de agua al batido.
- Adición de agua a la centrifuga.
- Tiempo de residencia de la pasta en el decánter.
- Adición de agua a la centrifuga vertical.

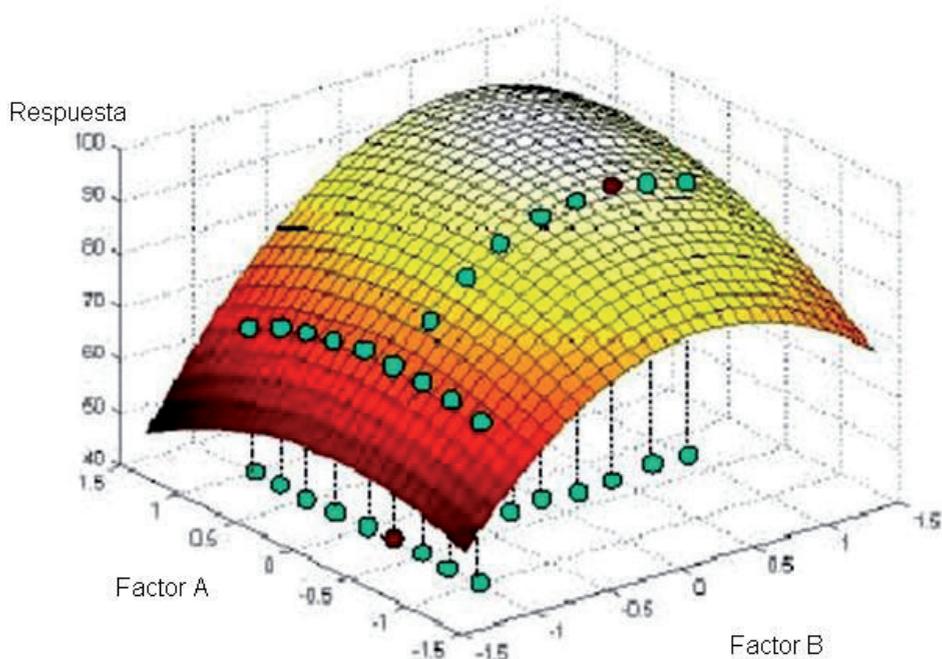


Figura 5. Limitaciones en la optimización de la experimentación variando un factor cada vez.

Los inconvenientes de método tradicional provienen de variar un factor cada vez. La solución, por tanto, debe consistir en variar más de un factor simultáneamente al realizar un nuevo experimento. La dificultad estriba en diseñar una experimentación reducida, donde estos cambios simultáneos se complementen entre sí y permitan obtener la información buscada al combinar los resultados de todos los experimentos.

El Diseño Estadístico de Experimentos proporciona el marco matemático para cambiar todos los factores simultáneamente y obtener la información buscada con un número reducido de experimentos, es decir, con la

máxima eficiencia. En la Figura 6 se muestra la superficie correspondiente a los gramos de aceite que se obtienen, por centrifugación, por gramo de sólido frente a las variables de operación en el batido de la pasta. Puede observarse como a las temperaturas de operación el efecto de esta variable es pequeño y, en cambio, el tiempo de batido sí es muy importante. Por la figura se deduce que es mejor batir a tiempos elevados y a baja temperatura, Espínola *et al.* (2005a).

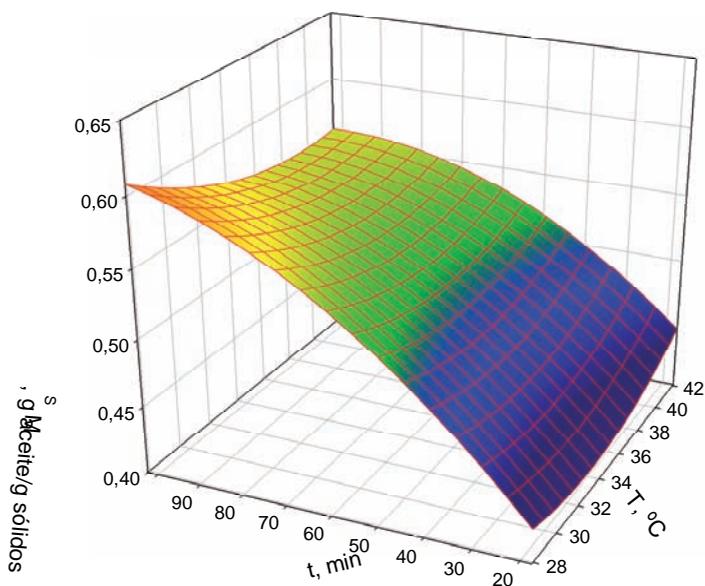


Figura 6.- Superficie de respuesta del aceite extraído para la temperatura (T) y tiempo de batido (t), Espínola *et al.* (2005a).

MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS

El uso de sistemas de supervisión y control de procesos se convierten cada vez más en herramientas básicas para la optimización de los recursos existentes. Las almazaras no son ajenas a este hecho, el empleo de los mejores procesos de elaboración y la correcta gestión de éstos se dirigen a maximizar el rendimiento de la producción y hacer frente a las exigencias del mercado. Poder disponer de modelos matemáticos que simulen los procesos se considera fundamental para la automatización y control de un proceso. Un modelo perfecto nos permitiría predecir las cantidades y calidades de los aceites obtenidos, Himmelblau (2004).

No obstante, la pasta de aceituna molturada y batida es un sistema complejo, difícil de estudiar y trabajar, con la circunstancia agravante de que no se conocen muchos datos de sus propiedades físicas y reológicas, tales como densidad, calor específico, conductividad térmica, viscosidad, etc.; a pesar de que en el rendimiento de la extracción influyen de forma decisiva. Es sabido, por ejemplo, que se obtienen mejores rendimientos elevando la temperatura, y que en las «pastas difíciles» el rendimiento aumenta al disminuir la relación aceite/sólidos, favoreciendo las fases sólidas hidrófilas. En cuanto a la relación aceite/agua, también en las «pastas difíciles», se pone de manifiesto que una mayor humedad hace disminuir el rendimiento.

En la FIGURA 7 se muestra un ejemplo de modelo de centrifugación de la pasta de aceituna para la obtención de aceite de oliva virgen realizado por Espínola *et al.* (2005b), donde se concluye que:

- a) Se puede modelizar, y resulta muy satisfactorio el modelo propuesto, la operación de centrifugación de la pasta de aceituna en el proceso de extracción del aceite de oliva virgen.
- b) Según el modelo propuesto es posible determinar la velocidad inicial y velocidad específica de extracción de aceite, por tanto, se puede hallar el tiempo óptimo de centrifugación.
- c) Existen marcadas diferencias en las velocidades iniciales y velocidades específicas de extracción de aceite para las cuatro muestras de aceitunas ensayadas.
- d) Es necesario profundizar en el estudio de velocidad inicial y velocidad específica de extracción de aceite para determinar las propiedades físicas y reológicas de las cuales depende.
- e) Es recomendable realizar ensayos de centrifugación en las almazaras con objeto de optimizar el proceso en cada una de ellas a lo largo de la campaña, porque la eficacia en la extracción depende de la composición e índice de madurez de la aceituna.

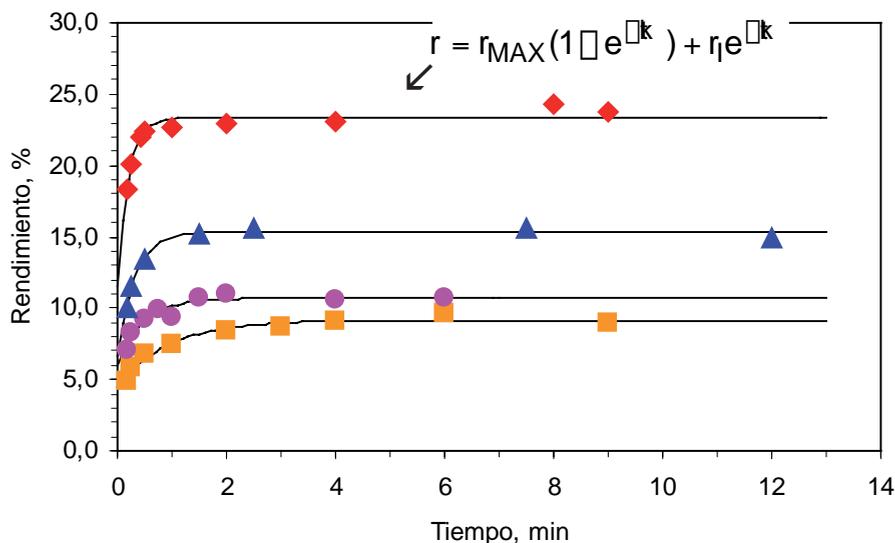


Figura 7. Modelo de centrifugación de la pasta de la aceituna para la obtención de aceite de oliva virgen. *Espínola et al. (2005b)*

HERRAMIENTAS DE OPTIMACIÓN: PROGRAMACIÓN LINEAL Y PROGRAMACIÓN DINÁMICA

La Programación Lineal es una potente herramienta basada en un algoritmo que permite resolver sistemas con más variables que ecuaciones. Por lo tanto, existen infinitas soluciones, pero sólo una de ellas es la mejor, es decir, la que genera más beneficio.

- Se utilizan las variables más relevantes
- Se buscan las relaciones lineales entre ellas que se transforman en ecuaciones y fundamentalmente inecuaciones de primer grado
- Sólo se da a las variables la oportunidad de ser nulas o positivas
- Se establece la función objetivo como la máxima realización económica, es decir:

Beneficio = Valor productos terminados - valor materias primas - costes operativos

Las ecuaciones son fundamentalmente balances de materia y las inecuaciones los límites máximo o mínimos de especificación.

La solución generada por la Programación Lineal considera que existe un flujo continuo de entradas y salidas y que todos los productos y materias primas seleccionadas están disponibles al mismo tiempo. Esto evidentemente no es cierto. Para ayudar a conseguir el camino óptimo indicado en la Programación Lineal, sobre todo cuando la disponibilidad de materias primas o tanques de almacenamiento es limitada, tenemos la Programación Dinámica. Ésta simula en el tiempo, es decir, organiza las operaciones que se realizan de una forma secuencial, luego es una herramienta que permite conocer en cualquier momento como se está desarrollando una actividad e identifica los puntos críticos donde pueden surgir las principales dificultades.

BIBLIOGRAFÍA

- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. Estadística para investigadores: introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos. Barcelona: Reverté, 2002.
- ESPÍNOLA, F. (2000) Centrifugación de la pasta de aceituna para la obtención del aceite de oliva virgen. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 5:71-78.
- ESPÍNOLA, F.; FERNÁNDEZ, D. G.; MORENO, M. V.; MOYA, M. (2005a) «Aplicación de las técnicas de superficie de respuesta al batido de la pasta de aceituna para optimizar rendimientos y calidad», en *XII Simposium Científico-Técnico de EXPOLIVA 2005*, Jaén.
- ESPÍNOLA, F.; MORENO, M. V.; FERNÁNDEZ, D. G.; MOYA, M. (2005b) «Modelo de centrifugación de la pasta de aceituna para la obtención de aceite de oliva virgen», en *XII Simposium Científico-Técnico de EXPOLIVA 2005*, Jaén
- HERMOSO, M.; GONZÁLEZ, J.; UCEDA, M.; GARCÍA-ORTIZ, A.; MORALES, J.; FRÍAS, L.; FERNÁNDEZ, A. (1998) Elaboración de aceite de oliva de calidad. Obtención por el sistema de dos fases. Serie Apuntes 61/98. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- HIMMELBLAU, D. M.; BISCHOFF, K. B. Análisis y simulación de procesos. Barcelona: Reverté, 2004.
- MONTGOMERY, D. C. Diseño y Análisis de Experimentos. Mexico: Limusa Wiley, 2002.
- POOL: Sistema de Información de Precios en Origen del Aceite de Oliva. Fundación del Olivar. <<http://www.oliva.net/poolred/>>