



**TRABAJO FIN DE GRADO EN
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL**

**ESTRATEGIAS DE ECONOMÍA CIRCULAR
APLICADAS A UNA PLANTA DE ADEREZO DE
PRODUCCIÓN ANUAL DE 2.000.000 KG DE
ACEITUNAS VERDES AL ESTILO ESPAÑOL O
SEVILLANO**

María Jesús Peralías Hidalgo

Tutor: Laura Concepción Pozo Morales

Fecha de entrega: 13/11/2020

INDICE DE ABREVIATURAS

A/D: Adsorción-Desorción

AICA: Agencia de información y control alimentarios

ASEMESA: Asociación de exportadores de aceitunas de mesa

BAL: Bacterias ácido lácticas

BOE: Boletín Oficial del Estado

BOJA: Boletín Oficial de la Junta de Andalucía

BOP: Boletín Oficial de la Provincia

COI: Consejo Oleícola Internacional

D.G. ADUANAS: Dirección General de Aduanas

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno a los cinco días

DQO: Demanda química de oxígeno

EDAR: Estación depuradora de aguas residuales

ESYRCE: Encuesta sobre superficies y rendimiento de cultivos

ETP-P: Evaporación media neta mensual

GEI: Gases de efecto invernadero

HT: Hidroxitirosol

IDAE: Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía

IECA: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía

NF: Nanofiltración

p/v: peso/volumen

PAMA: Polígono de actividades medioambientales de Andalucía

PCI: Poder Calorífico Inferior

PIB: Producto interno bruto

RD: Real Decreto

REMTAVARES: Red madrileña de tratamientos avanzados para aguas residuales con contaminantes no biodegradables

T: Tirosol

tep: toneladas equivalentes de petróleo

TOC: Carbono orgánico total



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



UE: Unión Europea

UF: Ultrafiltración

ufc: unidades formadoras de colonias

INDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| INDICE DE CONTENIDOS | 1 |
| INDICE DE TABLAS | 7 |
| INDICE DE TABLAS ANEXO | 9 |
| INDICE DE ILUSTRACIONES | 11 |
| 1.RESUMEN | 13 |
| 2.INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN | 15 |
| 3.ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS | 19 |
| 3.1. Rasgos del sector de aceituna de mesa | 19 |
| 3.1.1. Superficie del olivar | 19 |
| 3.1.2. Producción mundial de aceitunas de mesa de la campaña 2018/2019 | 19 |
| 3.1.3. Producción de aceitunas de mesa en España y en Andalucía en la campaña 2019/2020 | 20 |
| 3.1.4. Producción de aceitunas en España según variedad | 22 |
| 3.1.5. Número de Industrias | 22 |
| 3.1.6. Sector relevante | 23 |
| 3.1.7. Consumo en los hogares | 23 |
| 3.1.8. Exportaciones en España | 23 |
| 3.2. Evolución del proceso de elaboración de aceitunas de mesa | 24 |
| 3.3. Estudios bibliográficos sobre el cocido de las aceitunas verdes al estilo español o sevillano | 25 |
| 3.4. Estudios bibliográficos sobre el tratamiento de las lejías | 28 |
| 3.5. Estudios bibliográficos sobre el tratamiento de las aguas de lavado | 29 |
| 3.6. Estudios bibliográficos sobre el tratamiento de las salmueras | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 3.7. Estudios bibliográficos sobre la valorización de subproductos del proceso de aderezo | 34 |
| 4.MARCO NORMATIVO | 37 |
| 5.MARCO TEÓRICO | 39 |
| 5.1. Definición de economía circular | 39 |
| 5.2. La economía circular en el sector agroalimentario | 39 |
| 5.3. Principales estrategias de economía circular aplicables al sector agroalimentario | 40 |
| 5.4. Definición de aceituna de mesa | 41 |
| 5.5. Clasificación de las aceitunas | 41 |
| 5.5.1. Tipos de aceitunas según el color | 41 |
| 5.5.2. Tipos de aceitunas según la forma de presentación..... | 43 |
| 5.5.3. Tipos de aceitunas según la categoría comercial | 44 |
| 5.6. Procesos básicos de elaboración de las aceitunas de mesa..... | 44 |
| 5.7. Principales variedades de las aceitunas de mesa | 45 |
| 5.8. Etapas del proceso de elaboración de aceitunas verdes al estilo español o sevillano | 48 |
| 5.8.1. Recolección..... | 50 |
| 5.8.2. Transporte..... | 51 |
| 5.8.3. Limpieza y preclasificación | 52 |
| 5.8.4. Cocido | 52 |
| 5.8.5. Lavado | 54 |
| 5.8.6. Colocación en salmuera | 55 |
| 5.8.7. Fermentación | 56 |
| 5.8.8. Conservación..... | 57 |
| 5.8.9. Escogido y clasificado | 58 |
| 5.8.10. Almacenamiento | 59 |
| 5.8.11. Envasado..... | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 5.9. Control de factores en el proceso de aderezo de aceitunas verdes | 60 |
| 5.9.1. Importancia de la concentración de la lejía de cocido | 61 |
| 5.9.2. Importancia de la penetración de la sosa en la pulpa | 61 |
| 5.9.3. Importancia de la intensidad del lavado | 62 |
| 5.9.4. Importancia de la acidez combinada o lejía residual..... | 64 |
| 5.9.5. Importancia de la concentración de la salmuera de fermentación | 64 |
| 5.9.6. Importancia de la acidez libre..... | 65 |
| 5.9.7. Importancia del pH en las salmueras..... | 66 |
| 5.9.8. Importancia de los azúcares reductores | 66 |
| 5.10. Aguas residuales procedentes del proceso de aderezo de aceitunas verdes | 67 |
| 6.HIPÓTESIS Y OBJETIVOS PROPUESTOS..... | 69 |
| 7.TÉCNICAS, MATERIALES Y MÉTODOS..... | 77 |
| 7.1. Técnicas..... | 77 |
| 7.2. Materiales..... | 78 |
| 7.3. Metodología | 81 |
| 7.3.1. Tratamiento de cocido con lejías a 18° C | 81 |
| 7.3.2. Reutilización de las lejías de cocido, reducción de dos lavados a un solo lavado y posterior eliminación en balsas de evaporación .. | 81 |
| 7.3.3. Regeneración de salmueras para el envasado | 83 |
| 7.3.4. Valorización de los subproductos | 86 |
| 8.RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 89 |
| 8.1. Tratamiento con lejías de cocido a 18 °C..... | 93 |
| 8.1.1. Evolución del pH durante la fermentación | 94 |
| 8.1.2. Evaluación de la acidez combinada..... | 95 |
| 8.1.3. Evaluación de la acidez libre | 96 |

| | |
|--|-----|
| 8.1.4. Evolución de la población microbiana | 97 |
| 8.1.5. Evaluación de la calidad del producto final | 98 |
| 8.2. Reutilización de lejías, reducción de dos a un solo lavado y posterior eliminación en balsas de evaporación | 100 |
| 8.3. Regeneración de salmueras para el envasado..... | 103 |
| 8.4. Valorización de los subproductos del proceso..... | 106 |
| 8.5. Fortalezas y limitaciones de la investigación..... | 110 |
| 9.CONCLUSIONES..... | 115 |
| 10. BIBLIOGRAFIA..... | 117 |
| ANEXO I. CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE EFLUENTES CONTAMINANTES DESTINADOS A LA Balsa DE EVAPORACIÓN SIN APLICAR LAS MEDIDAS PROPUESTAS..... | 127 |
| ANEXO II. DIMENSIONAMIENTO DE LA Balsa DE EVAPORACIÓN SIN APLICAR LAS MEDIDAS PROPUESTAS..... | 131 |
| ANEXO III. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE SOSA NECESARIA PARA EL TRATAMIENTO DE COCIDO A 18°C | 139 |
| ANEXO IV. CÁLCULO DE LA SOSA NECESARIA PARA UN COCIDO TRADICIONAL..... | 141 |
| ANEXO V. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE SOSA Y AGUA NECESARIAS PARA EL COCIDO APLICANDO LA PROPUESTA DE REUTILIZAR LAS LEJÍAS..... | 143 |
| ANEXO VI. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA NECESARIO APLICANDO LA PROPUESTA DE REDUCIR DE DOS A UN LAVADO..... | 149 |
| ANEXO VII. CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE EFLUENTES DESTINADOS A LA Balsa APLICANDO LAS MEDIDAS PROPUESTAS. | 151 |
| ANEXO VIII. REDIMENSIONAMIENTO DE LA Balsa APLICANDO LAS MEDIDAS PROPUESTAS..... | 153 |

| | |
|---|------------|
| ANEXO IX. CÁLCULO DEL AHORRO ECONÓMICO EN EL CONSUMO DE AGUA Y SOSA APLICANDO LAS MEDIDAS PROPUESTAS | 157 |
| ANEXO X. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE SALMUERA NECESARIO PARA LA FERMENTACIÓN Y LAS CANTIDADES DE SAL Y AGUA NECESARIAS PARA SU PREPARACIÓN..... | 159 |
| ANEXO XI. CÁLCULO DE LA SAL NECESARIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS ACEITUNAS..... | 161 |
| ANEXO XII. CÁLCULO DE LA SALMUERA NECESARIA PARA EL ENVASADO SIN REALIZAR EL TRATAMIENTO PROPUESTO, ASÍ COMO LAS CANTIDADES DE SAL Y AGUA NECESARIAS PARA SU PREPARACIÓN | 163 |
| ANEXO XIII. CÁLCULO DE AGUA Y SAL NECESARIAS PARA EL ENVASADO SI SE UTILIZAN LAS SALMUERAS REGENERADAS | 165 |
| ANEXO XIV. CÁLCULO DEL AHORRO ECONÓMICO QUE SUPONE REUTILIZAR LAS SALMUERAS REGENERADAS..... | 167 |
| ANEXO XV. DESGLOSE Y CÁLCULO DE LOS COSTES DEL TRATAMIENTO PROPUESTO PARA LA REGENERACIÓN DE SALMUERAS..... | 169 |
| ANEXO XVI. ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD DEL TRATAMIENTO DE REGENERACIÓN DE SALMUERAS PROPUESTO | 173 |
| ANEXO XVII. CÁLCULOS CORRESPONDIENTES A LA VALORIZACIÓN DEL HUESO DE LAS ACEITUNAS Y DEL HOJÍN | 175 |
| ANEXO XVIII. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL HOJÍN Y ESTIMACIÓN DE AHORRO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)..... | 179 |
| ANEXO XIX. DECLARACIONES MENSUALES DE AICA..... | 187 |



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 3.1. Producción de aceitunas de mesa en Andalucía, expresada en toneladas. | 21 |
| Tabla 3.2. Producción de aceitunas de mesa en las provincias de Andalucía en las campañas 2019/2020 y 2018/2019, expresada en toneladas. | 21 |
| Tabla 3.3. Producción por variedad de aceituna de mesa en España en la campaña 2019/2020, expresada en toneladasx1000 | 22 |
| Tabla 3.4. Número de instalaciones dedicadas al entamado en Andalucía. | 22 |
| Tabla 3.5. Exportaciones de España en los años 2019 y 2018, expresadas en toneladas. | 24 |
| Tabla 3.6. Cuadro-resumen de los principales estudios bibliográficos de tratamientos de salmueras..... | 34 |
| Tabla 5.1. Características del cocido y lavado de las principales variedades de aceitunas. | 55 |
| Tabla 5.2. Aguas residuales generadas en el proceso de aderezo de aceitunas de verdes al estilo sevillano, expresado en litros por kilogramo de aceituna producido. | 67 |
| Tabla 5.3. Características de las aguas residuales procedentes del proceso de aderezo de aceitunas verdes al estilo español o sevillano. | 68 |
| Tabla 8.1. Cuadro-resumen de los resultados obtenidos. | 91 |
| Tabla 8.2. Características de los procesos previos y cocidos de cada tratamiento..... | 94 |
| Tabla 8.3. Evolución de los valores de pH en la fermentación..... | 95 |
| Tabla 8.4. Evolución de la acidez combinada en la fermentación expresado en eq·L ⁻¹ | 96 |
| Tabla 8.5. Evaluación de la población microbiana en la población expresado en unidades formadoras de colonias por mL. | 97 |
| Tabla 8.6. Porcentaje de pulpa perdida y aceitunas rotas al deshuesar. .. | 99 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 8.7. Cálculo del ahorro de sosa y agua aplicando las medidas propuestas..... | 101 |
| Tabla 8.8. Cálculo del ahorro económico al reutilizar las lejías refrigeradas y reducir los lavados..... | 102 |
| Tabla 8.9. Dimensiones de las balsas de evaporación. | 102 |
| Tabla 8.10. Cálculo del ahorro de agua y sal reutilizando la salmuera regenerada. | 103 |
| Tabla 8.11. Cálculo del ahorro económico que supone reutilizar las salmueras regeneradas en el envasado..... | 104 |
| Tabla 8.12. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años..... | 104 |
| Tabla 8.13. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años teniendo en cuenta el ahorro de etanol..... | 106 |
| Tabla 8.14. Índices de producción y uso de los subproductos. | 106 |
| Tabla 8.15. Precios unitarios de los subproductos según el uso..... | 107 |
| Tabla 8.16. Ingresos totales procedentes de la valorización de los subproductos procedentes del proceso de aderezo. | 108 |
| Tabla 8.17. Evaluación desde el punto de vista de potencial energético y ahorro de emisiones de GEI. | 110 |

INDICE DE TABLAS ANEXO

| | |
|---|-----|
| Tabla ANEXO 1. Aguas residuales destinadas a la balsa de evaporación. | 129 |
| Tabla ANEXO 2. Evaporación neta mensual y coeficiente de determinación de la superficie de evaporación mínima del municipio de Aznalcóllar. | 132 |
| Tabla ANEXO 3. Cálculo de la concentración de lejía residual por interpolación. | 144 |
| Tabla ANEXO 4. Cálculo de la cantidad de NaOH que hay que añadir por cada 7 reutilizaciones de lejía..... | 145 |
| Tabla ANEXO 5. Aguas residuales destinadas a la balsa de evaporación aplicando las medidas propuestas..... | 151 |
| Tabla ANEXO 6. Cálculo del ahorro económico al reutilizar las lejías refrigeradas y reducir los lavados. | 158 |
| Tabla ANEXO 7. Cálculo del ahorro que resulta de reutilizar las salmueras regeneradas en el envasado. | 168 |
| Tabla ANEXO 8. Desglose de los precios correspondientes a la instalación del sistema de membranas..... | 170 |
| Tabla ANEXO 9. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años..... | 171 |
| Tabla ANEXO 10. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años teniendo en cuenta el ahorro de etanol..... | 174 |
| Tabla ANEXO 11. Ingresos totales procedentes de la valorización de los subproductos procedentes del aderezo. | 177 |
| Tabla Anexo 12. Consumo eléctrico de la población de Aznalcóllar en el año 2015..... | 180 |
| Tabla Anexo 13. Emisiones derivadas del consumo eléctrico en el municipio de Aznalcóllar en el año 2015, expresado en toneladas por año. | 184 |

| | |
|--|-----|
| Tabla ANEXO 14. Número de entamadoras, existencias finales e iniciales del balance de campaña 2019/2020 por ámbito territorial a fecha de 31/08/2020..... | 191 |
| Tabla ANEXO 15. Entradas de aceitunas del balance de campaña 2019/2020 por ámbito territorial, a fecha de 31/08/2020. | 191 |
| Tabla ANEXO 16. Salidas de aceitunas del balance de campaña 2019/2020 por ámbito territorial, a fecha de 31/08/2020. | 191 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 3.1. Distribución de la producción mundial de aceitunas de mesa en la campaña 2018/2019, expresada en toneladasx1000. | 20 |
| Ilustración 3.2. Aceitunas despellejadas. | 26 |
| Ilustración 3.3. Aceitunas alambradas. | 28 |
| Ilustración 3.4. Evolución de los usos del hojín en diferentes campañas. | 35 |
| Ilustración 5.1. Aceitunas verdes. | 42 |
| Ilustración 5.2. Aceitunas de color cambiante. | 42 |
| Ilustración 5.3. Aceitunas negras naturales. | 42 |
| Ilustración 5.4. Aceitunas negras oxidadas. | 43 |
| Ilustración 5.5. Aceituna "Manzanilla de Sevilla". | 46 |
| Ilustración 5.6. Aceitunas "Hojiblanca". | 47 |
| Ilustración 5.7. Aceitunas "Gordal". | 47 |
| Ilustración 5.8. Aceitunas "Cacereña". | 48 |
| Ilustración 5.9. Aceitunas "Aloreña". | 48 |
| Ilustración 5.10. Aceitunas "Verdial". | 48 |
| Ilustración 5.11. Etapas de la elaboración de aceitunas verdes al estilo español o sevillano. | 49 |
| Ilustración 5.12. Recolección manual de aceitunas. | 50 |
| Ilustración 5.13. Transportes y envases de campo. | 51 |
| Ilustración 5.14. Llenado del depósito de cocido. | 53 |
| Ilustración 5.15. Estructura de los compuestos fenólicos mayoritarios en las aceitunas. | 53 |
| Ilustración 5.16. Recipientes para el cocido (cocederas). | 54 |
| Ilustración 5.17. Bombonas de almacenamiento. | 59 |
| Ilustración 6.1. Esquema del proceso de tratamiento de salmueras residuales para la recuperación de compuestos fenólicos. | 74 |
| Ilustración 7.1. Medida propuesta para la regeneración de salmuera. | 84 |
| Ilustración 8.1. Evaluación de la acidez libre expresado en % de ácido láctico. | 97 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 8.2. Porcentaje de aceitunas molestadas antes del cocido (inicial) y después de la fermentación (final)..... | 98 |
| Ilustración 8.3. Porcentaje de aceitunas alambradas al final de la fermentación..... | 99 |

1. RESUMEN

El principal riesgo medioambiental en la industria aceitunera es producido por los efluentes del proceso de aderezo tales como las aguas de lavado, las lejías y las salmueras, tanto por la calidad como por el volumen de los mismos.

Este estudio parte de la hipótesis de que es posible convertir una planta de aderezo de aceitunas en un proceso de economía circular aplicando las estrategias adecuadas en aras de la consecución de un vertido cero y la valorización y/o reutilización de los subproductos generados.

El objetivo principal del presente trabajo es la definición de las estrategias de economía circular aplicables a una planta de aderezo de aceituna con una producción anual de 2.000.000 kg·año⁻¹ de aceitunas verdes al estilo español o sevillano.

Las medidas circulares estudiadas han sido: reutilización de las lejías (previa reactivación), modificaciones en las temperaturas del proceso de elaboración, reducción del consumo de agua, reutilización de las salmueras (previa regeneración), valorización de los residuos sólidos como biomasa y como materia prima en la elaboración de otros productos, y valorización de los subproductos del proceso con su venta al mercado.

Los resultados han confirmado que es posible un ahorro desde el punto de vista económico y medioambiental, así como una mejora de la calidad del producto final.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

El principal riesgo medioambiental en la industria aceitunera es producido por los efluentes del proceso de aderezo tales como las aguas de lavado, las lejías y las salmueras. No solo la escasa calidad del efluente si no también el elevado volumen que supone (alrededor de $2,5 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$ de aceituna producido (Junta de Andalucía, 2006) hace imprescindible la implementación de un adecuado sistema de gestión del uso del agua. Esta gestión consiste en controlar la cantidad de agua usada, minimizarla y separar los diferentes efluentes según sus características, previo al tratamiento correspondiente y siempre con miras a reciclado, reutilización o valorización de los mismos.

Minimizar efluentes y garantizar su calidad, de haberlos, es imprescindible en cualquier caso.

El tratamiento de estos efluentes no es sencillo debido a la complejidad de la materia orgánica que contiene, tales como fenoles, ácidos grasos y sólidos en suspensión contenidos en las lejías y, por otro lado, la elevada concentración de sales en las salmueras.

Además, la presencia de polifenoles hace inviables la depuración biológica mediante tratamientos anaerobios convencionales, debido a la estabilidad química del anillo bencénico frente a ataques químicos y microbianos.

No obstante, algunos polifenoles como el hidroxitirosol, HT en adelante, tienen un gran valor añadido en las industrias alimentaria y cosmética, por lo que, un análisis detallado en la recuperación del mismo favorecería a estas industrias.

Actualmente se utilizan métodos tradicionales de gestión de efluentes, como la acumulación y evaporación en balsas.

El procedimiento de evaporación por balsas se ha utilizado desde hace mucho tiempo para el tratamiento de aguas residuales.

La idea consiste en depositar las aguas residuales en una gran balsa abierta, de forma que el agua acabe evaporándose debido a la radiación solar y el viento, quedando en la balsa un concentrado de los residuos restantes para ser tratado.

A pesar de su sencillez, las balsas de evaporación pueden resultar muy útiles para el cometido de obtener el vertido cero en rechazos salinos y otros efluentes de componente mineral, ya que ningún efluente es vertido directamente en el entorno natural. La evaporación oscila entre 5 y 10 mm al día.

Actualmente, es la forma más extendida de tratar estos efluentes ya que es un sistema que no necesita el suministro de grandes cantidades de energía como puede ocurrir con otras alternativas de tratamiento.

No obstante, las balsas de evaporación presentan problemas relacionados con la generación de olores cuando se almacenan aguas con elevada carga orgánica. Por otra parte, es frecuente que en épocas de lluvia la balsa se llene mucho más que lo que evapora, pudiendo llegar a rebosar.

Subsanar estos problemas requiere de diseños que pasan por la ayuda de evaporación forzada, lo que permiten incrementar la velocidad de evaporación más de 20 veces sobre la evaporación natural.

Como alternativa, los procesos de tratamiento mediante la utilización de membranas tienen gran aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales.

Esta situación y las recientes políticas europeas de impulso de la economía circular demanda la implementación de estrategias que pueden ponerse de manifiesto con el estudio de un caso práctico. Una planta de aderezo de aceitunas con una producción de $2.000.000 \text{ kg}\cdot\text{año}^{-1}$ puede constituir un claro ejemplo de instalaciones sobre las que actuar en la cuenca del Mediterráneo.

La finalidad de la economía circular es mantener en la economía el valor de los productos, los materiales y los recursos durante el mayor tiempo posible, así como reducir al mínimo la generación de residuos. Las medidas básicas se basan en la reducción y reutilización de efluentes, la valorización de los subproductos generados en el proceso con fines térmicos o eléctricos o como materia prima en otras industrias; y en la mejora de la calidad del producto final. Con todo ello, redunda en un ahorro económico y ambiental.

Para llevar a cabo el estudio de un caso práctico se realiza en primer lugar la revisión del proyecto de una planta de aderezo ya elaborado pero que no aborda en ningún caso las medidas mencionadas en los párrafos anteriores.

La entamadora de partida (Mateos Martín, 2016) se localiza en la comunidad autónoma de Andalucía. Está ubicada en el polígono PAMA, dentro de la localidad de Aznalcóllar (Sevilla). Dispone de las conexiones adecuadas para su correcto funcionamiento: red eléctrica, abastecimiento de agua, saneamiento, etc. El proyecto de la planta recoge obra civil y equipos mecánicos de la planta para una elaboración de 2000 t·año⁻¹ de producto terminado, en concreto, “Aceituna Sevillana”, que es la aceituna verde de mesa de las variedades “Manzanilla” y “Gordal”.

Los objetivos del proyecto fueron *“obtener una calidad del producto que marque la diferencia con los productos de su entorno”* y *“el uso de tecnología actual, buscando la máxima automatización del proceso”*¹. No obstante, no se abordó ninguna de las medidas circulares que se proponen en esta investigación. Se optó por las balsas de evaporación para la eliminación de los efluentes de carácter alcalino; para los efluentes de carácter ácido, como las salmueras, no consideró ninguna medida.

¹ MATEOS MARTÍN, M., 2016. *Planta de Fabricación de Encurtidos. (Proyecto Fin de Carrera)*. [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30283/fichero/1.Memoria+Descriptiva+y+Anexos.pdf>

Por otro lado, en este trabajo también se estudian posibles mejoras en el tratamiento de las aceitunas, en concreto, en el tratamiento denominado “cocido”. Una modificación en este tratamiento permitirá la eliminación del reposo previo que requiere la variedad “Manzanilla”, y repercutirá positivamente en el rendimiento de producción, así como en la calidad del producto final.

Por último, pero no menos importante, el proyecto no contempla medidas de valorización de residuos sólidos, aspecto que si se considerará en el presente estudio. En concreto, se van a valorizar los subproductos del proceso tales como el hojín, las aceitunas de destrío y los huesos de las aceitunas, con fines térmicos, eléctricos o como materia prima para la elaboración de otros productos.

3. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

3.1. Rasgos del sector de aceituna de mesa

3.1.1. Superficie del olivar

Según datos del Consejo Oleícola Internacional, COI en adelante, el olivar mundial está constituido por unos 850 millones de árboles que ocupan una superficie de más de 10 millones de hectáreas. De éstas, más de un millón se dedica a la producción de aceitunas de mesa.

Según la encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos de 2019, ESYRCE en adelante, España cuenta con 2.733.620 hectáreas de olivar, de las que 189.794 (6,94%) se dedican a la aceituna de mesa. Estas últimas se concentran principalmente en Andalucía y Extremadura, que cuentan con un 86,98% y un 11,01% del total respectivamente, es decir, el 97,99% de estos cultivos se dan en las dos comunidades citadas (ASEMESA, 2020).

3.1.2. Producción mundial de aceitunas de mesa de la campaña 2018/2019

La producción mundial de aceitunas de mesa en la campaña 2018/2019 fue de 2,75 millones de toneladas.

En la Ilustración 3.1 se muestra que, España, con 602 mil toneladas, fue el principal país productor, representando un 22 % de toda la producción mundial.

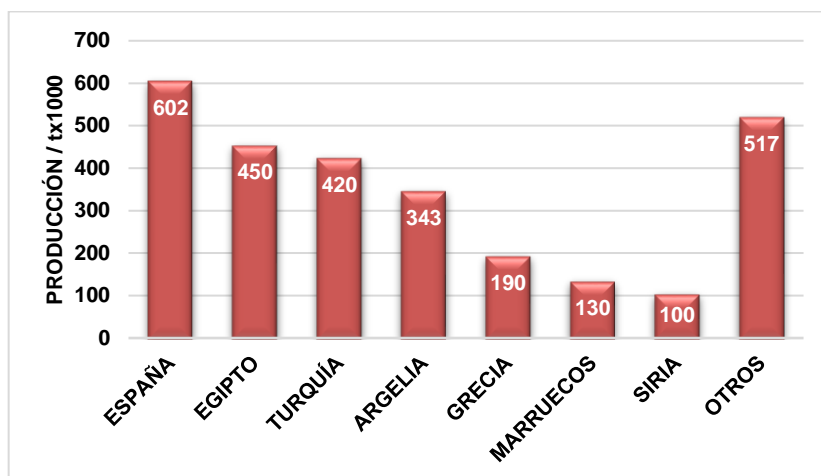


Ilustración 3.1. Distribución de la producción mundial de aceitunas de mesa en la campaña 2018/2019, expresada en toneladasx1000.
(Elaboración propia con datos del COI)

3.1.3. Producción de aceitunas de mesa en España y en Andalucía en la campaña 2019/2020

Según datos del balance de la campaña 2019/2020 a fecha de 31 de julio de 2020 y extraídos de la Agencia de Información y Control Alimentarios, AICA en adelante, la producción nacional de aceitunas de mesa en dicha campaña ha sido de 458.082 toneladas, de las cuales 336.948 se han producido en la comunidad autónoma de Andalucía, lo que supone aproximadamente un 74% del total nacional (AICA, 2020a).

En la Tabla 3.1 se muestra detalladamente la producción por provincias dentro de la Comunidad Autónoma de Andalucía destacando por su producción la provincia de Sevilla con 217.811,7 toneladas, lo que supone un 65% de la producción autonómica.

| PROVINCIA | Producción / t |
|--------------|------------------|
| Córdoba | 55.299,5 |
| Jaén | 449,4 |
| Málaga | 59.420,6 |
| Sevilla | 217.811,7 |
| Otras | 33.967,1 |
| TOTAL | 336.948,2 |

Tabla 3.1. Producción de aceitunas de mesa en Andalucía, expresada en toneladas.
(Elaboración propia con datos de AICA)

En la Tabla 3.2 se refleja una disminución considerable de la producción de aceitunas de mesa en Andalucía en la campaña 2019/2020, respecto a la campaña anterior.

Dicho descenso de producción se debe principalmente a la caída de producción en la provincia de Sevilla (-38 %), muy afectada por la sequía y la vecería², tras una buena campaña anterior.

| PROVINCIA | 2019/2020 / t | 2018/2019 / t | Variación |
|--------------|------------------|------------------|-------------|
| Córdoba | 55.299,5 | 63.945,2 | -14% |
| Jaén | 449,4 | 470 | -4% |
| Málaga | 59.420,6 | 62.658,1 | -5% |
| Sevilla | 217.811,7 | 353.512,5 | -38% |
| Otras | 3997,1 | 4877,1 | -19% |
| TOTAL | 336.948,2 | 485.462,9 | -31% |

Tabla 3.2. Producción de aceitunas de mesa en las provincias de Andalucía en las campañas 2019/2020 y 2018/2019, expresada en toneladas.
(Elaboración propia con datos de AICA)

² La vecería o alternancia es el fenómeno por el cual árboles frutales alternan fuertes cosechas con años de poca o ninguna cosecha. Esta alternancia es proporcional, es decir, un año tiene buena producción y al siguiente mala.

3.1.4. Producción de aceitunas en España según variedad

Según datos de AICA, de las 458.082 toneladas de aceitunas producidas en España, un 51 % correspondieron a la variedad “Hojiblanca”, un 25 % de “Manzanilla” y 11% de “Cacereña” y otras variedades minoritarias, entre ellas la variedad “Gordal”. (Ver Tabla 3.3)

| Variedad | Producción / tx1000 |
|--------------|---------------------|
| Manzanilla | 114,88 |
| Gordal | 20,50 |
| Hojiblanca | 230,59 |
| Cacereña | 48,35 |
| Carrasqueña | 19,43 |
| Otras | 24,34 |
| TOTAL | 458,08 |

Tabla 3.3. Producción por variedad de aceituna de mesa en España en la campaña 2019/2020, expresada en toneladasx1000
(Elaboración propia a partir de datos de AICA)

3.1.5. Número de Industrias

Según datos de AICA se han contabilizado 426 instalaciones dedicadas al entamado en España, de las cuales 227 pertenecen a Andalucía.

En la Tabla 3.4 se muestra la distribución por provincias de las instalaciones dedicadas al entamado en Andalucía.

La mayor concentración de industrias se sitúa en Sevilla con un total de 141, lo que supone un 62,4% del total autonómico.

| | Córdoba | Jaén | Málaga | Sevilla | Otras | Total |
|----------------------------|---------|------|--------|---------|-------|------------|
| Nº de instalaciones | 38 | 6 | 34 | 142 | 7 | 227 |

Tabla 3.4. Número de instalaciones dedicadas al entamado en Andalucía.
(Elaboración propia a partir de datos de AICA)

3.1.6. Sector relevante

El sector es de gran relevancia en el conjunto de la industria agroalimentaria nacional, tanto por el número de empleos que genera como por su volumen de producción y exportación, liderando España el mercado mundial en ambos conceptos.

Genera más de 8.000 empleos directos, más de seis millones de jornales por la recolección y el cultivo del olivo, a los que hay que añadir los creados por las empresas y fábricas auxiliares como las de vidrio, hojalata, cartónaje, maquinaria, transportes, etc. Esto supone el 27% del empleo generado por el sector nacional de conservas y preparados de productos vegetales, participando con un 22% en el valor nacional de este sector y aportando al PIB alrededor de 1000 millones de euros (ASEMESA, 2020).

3.1.7. Consumo en los hogares

Según datos del COI, el consumo mundial promedio de las últimas cinco campañas (2014-2019) ha sido de 2.684.700 toneladas donde España ocupa el quinto lugar del ranking con un consumo de 188.500 toneladas, precedida de Egipto, Turquía, Argelia y EEUU (ASEMESA, 2020).

3.1.8. Exportaciones en España

Según datos de la D.G. ADUANAS en el año 2019 las exportaciones de aceitunas de mesa de España, incluyendo los envíos a países de la UE, alcanzaron la cifra de 345.197 toneladas³, cuyo valor asciende a más de 758 millones de euros.

³ Peso neto escurrido

Las exportaciones españolas en el año 2019 han experimentado un ascenso de 17,92% respecto a 2018.

En la Tabla 3.5 se muestra que las exportaciones han aumentado un 11,72% en la UE y un 24,65% en Norteamérica.

Por otra parte, también ha aumentado un 8,50% en los Países Árabes, un 25,18% en los Países del Este y Balcánicos, un 47,76% en Centro y Sudamérica y un 21% en otros países (ASEMESA 2020).

| Países | 2019 | 2019 | 2018 | 2018 | Variación |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | t | €x1000 | t | €x1000 | |
| UE | 147.290 | 318.218 | 131.554 | 302.554 | 11,72% |
| Norteamérica | 95.543 | 207.156 | 76.647 | 193.414 | 24,65% |
| Países Árabes | 32.197 | 60.626 | 29.675 | 61.171 | 8,5% |
| Países del Este y Balcánicos | 31.349 | 89.913 | 25.043 | 76.678 | 25,18% |
| Centro y Sudamérica | 16.937 | 31.378 | 11.643 | 25.528 | 47,76% |
| Otros | 21.881 | 51.193 | 18.082 | 46.669 | 21,01% |
| Total | 345.197 | 758.484 | 292.744 | 706.014 | 17,92% |

Tabla 3.5. Exportaciones de España en los años 2019 y 2018, expresadas en toneladas. (ASEMESA, 2020)

3.2. Evolución del proceso de elaboración de aceitunas de mesa

En general, la evolución de los métodos de elaboración de aceitunas de mesa desde los tiempos de los griegos y romanos hasta nuestros días ha sido muy lenta, particularmente la del método tradicional de elaboración de aceitunas verdes al estilo español o sevillano.

La utilización de vasijas de barro como recipientes de fermentación se sustituyó por bocoyes de madera que a su vez dieron paso a los fermentadores actuales de fibra de vidrio o plástico a partir de 1970.

De la misma forma, las cenizas alcalinas que utilizaron griegos y romanos para cocer los frutos se sustituyeron por sosa cáustica a principios del siglo XX.

Estos cambios tecnológicos se propiciaron gracias a las investigaciones que demostraron el papel esencial que jugaban las bacterias ácido lácticas, BAL en adelante, en dicha fermentación, cuyo desarrollo adecuado en las salmueras de fermentación era imprescindible para lograr un producto final con las características organolépticas apropiadas, evitando a la vez el deterioro de los frutos (Ruiz Barba and Jiménez Díaz, 2002).

3.3. Estudios bibliográficos sobre el cocido de las aceitunas verdes al estilo español o sevillano

El cocido, tratamiento con una solución de hidróxido sódico al 1,5 – 4,5%, (p/v) en adelante, es la operación fundamental del aderezo de aceitunas verdes (Rodríguez de la Borbolla, 1981).

En sus inicios, sólo se indicaba como objetivo del cocido la eliminación del amargor producido por la presencia, en el fruto, del glucósido amargo “oleuropeína”. Aunque el amargor también puede eliminarse de diversas formas, el cocido comunica unas características especiales y favorece, una vez colocadas en salmuera, una fermentación adecuada (Rejano et al., 1977) (Rejano et al. 1983) que, en conjunto, comunican a las aceitunas verdes de mesa, aderezadas estilo sevillano, las características sensoriales que las hacen tan apreciadas en el mundo.

En este proceso se producen una serie de efluentes altamente contaminantes (Fernández-Diez et al., 1985) por lo que, para su control, se establecieron una

serie de modificaciones al proceso que implican la reutilización de las lejías de cocido.

Por otra parte, los estudios sobre la recolección mecánica (Vega et al., 2004) (Vega et al., 2005) han establecido una serie de tratamientos para el transporte de las aceitunas que, en principio, pudieran tener consecuencias sobre el propio cocido.

El transporte en una solución diluida de hidróxido sódico (Rejano Navarro et al., 2008) tiene como consecuencia favorable evitar el despellejado de las aceitunas “Manzanillas”, sin tener que aplicar el reposo durante más de 24 horas, por lo que se reduce el desarrollo e intensidad del “molestado⁴”.

Este reposo implica el sobrecalentamiento de los frutos haciendo los cocidos más enérgicos y, por tanto, se generan mayor cantidad de frutos alambrados, molestados y rotos al deshuesar.



Ilustración 3.2. Aceitunas despellejadas.
(Estrada Cabezas, 2011)

Estos resultados tan favorables, se aplican, incluso, para aceitunas recolectadas manualmente, dando lugar al tratamiento denominado “precocido” que se viene utilizando de forma generalizada por diversas industrias.

Finalmente, en los últimos años, también con el objetivo de racionalizar el cocido y evitar el despellejado, sin necesidad de aplicar el reposo en la variedad

⁴ Manchas asociadas a los golpes recibidos durante la recolección.

“Manzanilla”, se viene aplicando por parte de la propia industria la utilización de lejías de cocido refrigeradas para realizar un tratamiento menos enérgico.

Con los mismos objetivos generales anteriores y además para poder aplicar un cocido directo, sin precocido ni reposo, en aceitunas “Manzanillas” recolectadas mecánicamente, Rejano Navarro et al. (2008) estudiaron la adición de diferentes sales (cloruros de sodio o calcio) a la lejía de cocido, refrigeradas o no.

Los estudios de Rejano Navarro et al. (2008) fueron a nivel de laboratorio, aunque años más tarde fueron estudiados a nivel industrial (Jaramillo Carmona et al., 2011) llevando a cabo cuatro tratamientos:

- 1) Tratamiento R: Aceitunas mantenidas en reposo durante las 48 horas previas requeridas para evitar el despellejado y posterior cocido a temperatura ambiente.
- 2) Tratamiento R+F: Aceitunas mantenidas en reposo durante las 48 horas previas requeridas para evitar el despellejado y posterior cocido a bajas temperaturas, 18°C.
- 3) Tratamiento P: Tratamiento previo de las aceitunas con lejía diluida (precocido) y posteriormente cocidas a 18°C.
- 4) Tratamiento F: Aceitunas sin reposo ni precocido, cocidas a 18°C.

Estudiada a escala industrial la evolución del proceso fermentativo en los cuatro casos y la calidad del producto final se concluyó que la colocación de aceitunas en lejías de baja graduación antes del cocido –estudiada anteriormente por Rejano Navarro *et al.* (2008) para evitar el molestado en aceitunas “Manzanillas” recolectadas mecánicamente– es un método efectivo también para reducir el molestado en aceitunas sin reposo.

Los mismos autores investigaron, a escala de laboratorio, los efectos del cocido con lejías a bajas temperaturas. En el trabajo de Jaramillo Carmona et al. (2011), se confirmó a escala industrial que la utilización de lejías a 18°C para el cocido

de aceitunas sin reposo previo, da lugar a productos finales con características superiores a las obtenidas con otros tratamientos produciéndose un menor porcentaje de frutos alambrados⁵, molestados o rotos al deshuesar.



Ilustración 3.3. *Aceitunas alambradas.*
(Estrada Cabezas, 2011)

3.4. Estudios bibliográficos sobre el tratamiento de las lejías

Las primeras investigaciones se centran en el estudio de las aguas residuales en la industria del aderezo (Garrido Fernández, 1975), más tarde, (Garrido Fernández et al., 1977).

El estudio de la reutilización de las lejías de cocido y supresión de lavados (Garrido Fernández et al., 1979) demostró que, reutilizándola 10 veces, la carga contaminante sólo se multiplica por 3 y no se altera la calidad del producto. Por otra parte, es una operación sencilla, pues basta con una bomba y un depósito auxiliar.

Años más tarde también se estudiaron la reutilización de lejías y supresión de lavados en la variedad “Gordal” (Castro Gómez-Millán et al., 1983). En la actualidad se suele reutilizar la lejía en mayor o menor número de veces, eliminándose el sobrante en balsas de evaporación (Santos Siles, 1999).

⁵ El alambrado se manifiesta por la aparición de fisuras externas en los frutos acompañadas por huecos o bolsas de gas en la parte de pulpa inmediatamente adyacente a las fisuras.

3.5. Estudios bibliográficos sobre el tratamiento de las aguas de lavado

Como se comentó anteriormente, las modificaciones ensayadas por ciertos autores en los años 80 (Castro Gómez- Millán et al., 1983) abarcaron la supresión de una o las dos aguas de lavado.

En el primer caso, los resultados demostraron que se obtiene una fermentación y un producto final que no se diferenciaban de los obtenidos por el proceso tradicional. De hecho, hoy ya se considera normal la aplicación de un solo lavado.

En el caso de suprimir todo el lavado los frutos presentaban un sabor más concentrado de lo normal que, en general, se consideraba excesivo.

En este caso, aunque permanecen más azúcares y se puede desarrollar más acidez libre (debido a que las BAL consumen estos azúcares formando ácido láctico) el hecho de quedar mayor contenido de lejía residual, también llamada alcalinidad residual o acidez combinada, hace que sea más difícil obtener bajos valores de pH, lo que dificulta una buena conservación del producto a largo plazo.

En este caso se debe corregir añadiendo ácido clorhídrico, que se recomienda aportar en dos fases, al principio y al final de la fermentación láctica, para evitar fermentaciones detenidas; además, un exceso de este ácido puede afectar de forma desfavorable al sabor.

Por ello, es más recomendable rebajar la acidez combinada sustituyendo parte de la salmuera madre⁶ por blanca⁷, aunque esta operación implica un nuevo aporte de vertido.

⁶ La salmuera madre es aquella que participa en el proceso de fermentación.

⁷ La salmuera blanca es la salmuera nueva de envasado.

Por consiguiente, se concluyó que era más favorable la eliminación del segundo lavado y alargar el primero a 12-15 horas, ya que no representa ningún inconveniente para las características químicas, microbiológicas y organolépticas.

3.6. Estudios bibliográficos sobre el tratamiento de las salmueras

La composición de estas aguas residuales provoca dificultades de tratamiento, por lo que se han venido desarrollando diferentes métodos para su eliminación o reutilización.

En cuanto a su eliminación, es posible reducir la mayor parte del agua contenida por procesos de evaporación y destruir la materia orgánica resultante.

El sistema más generalizado por las industrias del sector para la eliminación de salmueras es la utilización de balsas de evaporación, pero como ya se justificó en el apartado 2, sus inconvenientes tienen mayor peso que sus ventajas.

Procesos forzados de evaporación son posibles, sin embargo, el alto contenido en sal al concentrarse las aguas, provoca un incremento del punto de ebullición y por consiguiente el peligro de corrosión de los evaporadores por cloruros.

Los nuevos evaporadores trabajan al vacío, evitando las altas temperaturas y por tanto el peligro de corrosión. La concentración llega a obtener un residuo completamente seco, lo que implica que la evaporación al vacío minimiza el volumen de residuo. El agua se hierve, permitiendo su evaporación y es condensada posteriormente, lo que le confiere una alta calidad y permite su reutilización en diferentes aplicaciones. En paralelo, la cristalización permite obtener el conjunto de sales en formato sólido y seco susceptibles de valorización. De este modo se cierra el ciclo del producto, modelo de economía circular, alcanzándose el reto de vertido cero.

Sin embargo, esta medida supone un alto coste económico (Santos Siles, 1999).

Se han contemplado en la bibliografía métodos físicos, químicos, biológicos o algunas de sus diversas combinaciones, con el fin de poder reutilizar la salmuera.

Los primeros estudios se basaban en la aplicación de tratamientos por membranas, concretamente de ultrafiltración, UF en adelante, (Brenes Balbuena et al., 1988) (Garrido Fernández et al., 1992) (Brenes et al., 2000).

Mediante estos métodos se consigue separar los microorganismos y parte de la carga orgánica, obteniéndose una salmuera que puede ser reutilizada tanto en nuevos procesos de fermentación como en disolución para el envasado (Garrido Fernández et al., 1992).

Aun así, en estos procesos se genera una corriente de rechazo que debe ser tratada. Estudios de estos autores proponen un tratamiento biológico mediante lodo activo consiguiendo una reducción de DQO entre un 75 – 85% (Brenes et al., 2000). Sin embargo, se obtuvo una eliminación muy baja de compuestos fenólicos. Además, diferentes artículos científicos han destacado los diversos problemas generados a la hora de la puesta en marcha de reactores biológicos para tratar aguas hipersalinas (Lefebvre Olivier y Moletta René, 2006) (Mc Adam and Judd, 2008) (Chowdhury et al., 2010).

Con la finalidad de eliminar los compuestos fenólicos, se estudiaron diversos procesos de oxidación previos al tratamiento biológico (Benitez et al., 2003). Mediante estos tratamientos se consiguió una reducción de compuestos

aromáticos del 92%, combinando ozonización⁸, tratamiento Fenton⁹ y radiación ultravioleta.

A partir de estos resultados, se trató de optimizar el proceso de oxidación avanzada-Fenton utilizando como catalizadores Fe(II) y Fe(III), con el objetivo de mejorar la reducción de compuestos orgánicos (Rivas et al., 2003).

Con vías a optimizar también el tratamiento de oxidación avanzada, en 2008 se estudió la oxidación por ozonización modificando el pH de la disolución (Segovia-Bravo et al., 2008). Mediante este trabajo se estableció que la degradación de compuestos fenólicos mediante ozonización se produce más rápidamente a pH básico. Además, dichos autores proponen un proceso de UF previo a la reutilización.

En 2011, diversos autores propusieron la utilización de un proceso de electrocoagulación¹⁰ para reducir la carga orgánica, consiguiendo una reducción del 40% y eliminando la mayor parte de los compuestos fenólicos (García-García et al., 2011).

En los últimos años se ha estudiado la depuración de estas aguas residuales mediante tratamientos biológicos (Ferrer-Polonio et al., 2015) (Ferrer-Polonio et al., 2016), adaptando a los microorganismos de los reactores biológicos a

⁸ La ozonización es ampliamente utilizada en el tratamiento de las aguas, tanto potables como residuales. Permite la eliminación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, reduciéndose el TOC, olor, color, sabor y turbidez de las aguas, así como compuestos refractarios (sustancias tóxicas y compuestos farmacéuticos). Aunque es necesaria su generación "in situ" (mediante "descargas eléctricas silenciosas") y su coste inicial es alto, es un potente desinfectante debido a su alta reactividad y poder de reducción (RENTAVARES, 2008).

⁹ El tratamiento Fenton es un proceso de tratamiento de oxidación avanzada.

¹⁰ La electrocoagulación es un método alternativo para la depuración de aguas residuales. Consiste en un proceso de desestabilización de los contaminantes del agua ya estén en suspensión, emulsionados o disueltos, mediante la acción de corriente eléctrica directa de bajo voltaje y por la acción de electrodos metálicos de sacrificio, normalmente aluminio/hierro (Tusset, 2013).

trabajar con aguas hipersalinas y con elevada concentración de compuestos fenólicos. En estos estudios, se ha conseguido una reducción de la DQO del 80% y de compuestos fenólicos superior al 90%.

Según la bibliografía expuesta, a pesar de que se han obtenido corrientes que han permitido la reutilización de la salmuera de fermentación, la mayoría de los resultados conseguidos no terminan de proporcionar una solución definitiva o económicamente viable. Además, se debe tener en cuenta que, en muchos de estos procesos, se acaba generando una corriente adicional que debe ser tratada.

Asimismo, no existe ningún estudio hasta la fecha que trate de recuperar alguna de las fracciones de estas aguas residuales, por lo que la perspectiva de obtener un subproducto que pueda reducir el costo de los diferentes tratamientos es una opción prometedora.

Otros autores analizaron la composición de los compuestos fenólicos presentes en las aguas residuales de fermentación, estableciendo que su recuperación es factible, resultando una buena fuente de obtención de tirosol, T en adelante, e HT y proponiendo su recuperación (Bouaziz M. et al., 2008).

Carbonell Alcaina (2017), en su tesis doctoral, investigó un proceso para la regeneración de salmueras para su envasado y recuperación de compuestos fenólicos de gran valor añadido mediante un sistema de UF y nanofiltración, NF en adelante, para eliminar la materia orgánica, seguida de una adsorción con resinas para la separación final de los compuestos fenólicos.

En la Tabla 3.6 se recoge en forma de resumen todo lo expuesto anteriormente.

| Tratamiento | Referencia |
|--|-------------------------------|
| UF | (Brenes et al., 1988) |
| UF | (Brenes et al., 1990) |
| UF y adsorción con carbón activo | (Garrido et al., 1992) |
| Tratamiento biológico | (Brenes et al., 2000) |
| Oxidación avanzada y tratamiento biológico | (Benitez et al. 2003) |
| Oxidación avanzada | (Rivas et al., 2003) |
| Oxidación avanzada | (Segovia-Bravo et al. 2008) |
| Electrocoagulación | (García-García et al., 2011) |
| Tratamiento biológico | (Ferrer-Polonio et al., 2015) |
| Tratamiento biológico | (Ferrer-Polonio et al., 2016) |
| UF, NF y A/D | (Carbonell Alcaina, 2017) |

Tabla 3.6. Cuadro-resumen de los principales estudios bibliográficos de tratamientos de salmueras.

3.7. Estudios bibliográficos sobre la valorización de subproductos del proceso de aderezo

Los restos de hojas y ramas finas, material comúnmente denominado hojín, se generan como resultado de la limpieza de las aceitunas antes de su procesado. La cantidad de hojín obtenida en las entamadoras no es excesiva, ya que la recolección se realiza de forma manual. Representa como media el 1,7% de la aceituna procesada en las mismas (Callejo López et al., 2015). AICA no ofrece datos en este sentido.

Entre los usos de este hojín destacan la incorporación directa a los suelos, generación eléctrica y alimentación animal (caprino y ovino, principalmente); de no destinarse a ningún uso debe gestionarse como residuo¹¹.

¹¹ La gestión como residuo del hojín comprende su tratamiento como un residuo asimilable urbano para su depósito en vertederos controlados.

La Ilustración 3.4 destaca el crecimiento que ha experimentado la proporción de hojín destinada a generación eléctrica respecto al periodo 2006/07-2007/08, cuando representaba el 5,8%. En este proyecto se va a destinar el hojín a valorización con fines eléctricos.

No obstante, aumentó también el porcentaje destinado a alimentación animal y a incorporación directa a los suelos.

En contraste, se reduce de forma muy notable la gestión como residuo, lo que indica que el hojín de las entamadoras se ha convertido prácticamente en su totalidad en un subproducto con un uso posterior.

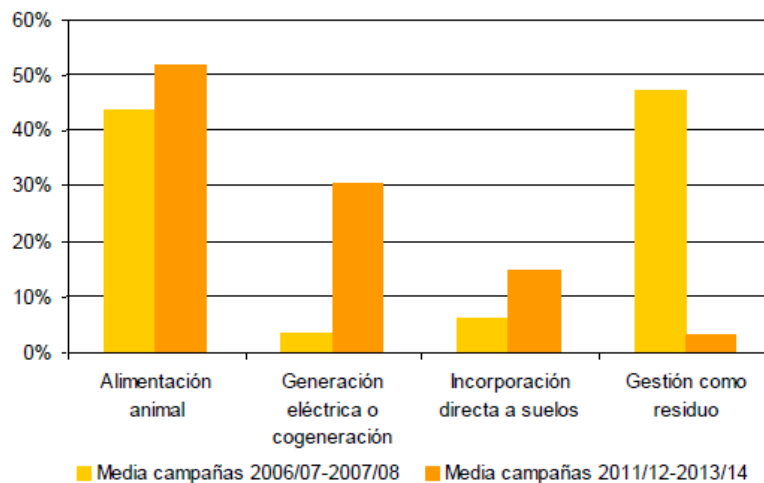


Ilustración 3.4. Evolución de los usos del hojín en diferentes campañas.
(Callejo López et al., 2015)

Otro subproducto generado en este proceso es el hueso de la aceituna, obtenido de las operaciones de deshuesado.

La aceituna está compuesta por un 85% de pulpa y un 15% de hueso.

De acuerdo con Callejo López et al. (2015) la aplicación más común de los huesos de aceituna es llevarlo junto con las aceitunas de destrío¹² a las

¹² Aceituna que, por sus características, normalmente su aspecto, no es apta para su transformación posterior.

almazaras para formar parte del ciclo de elaboración del aceite de oliva. Ambos representan el 5,6% de las aceitunas que se procesan. Sólo una parte minoritaria destina este subproducto a la obtención de calor de proceso de una caldera de biomasa.

4. MARCO NORMATIVO

DECRETO 281/2002, de 12 de noviembre, por el que se regula el régimen de autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias.

DECRETO 167/2005, de 12 de julio, por el que se modifica el Decreto 281/2002, de 12 de noviembre, por el que se regula la autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias.

Norma Comercial aplicable a las aceitunas de mesa COI/OT/NC nº 1 de diciembre de 2004

NORMA UNE – ISO 690:2013. Información y documentación. Directrices para la dirección de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

REAL DECRETO 679/2016 de 16 de diciembre, por el que se establece las normas de calidad de las aceitunas de mesa.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



5. MARCO TEÓRICO

5.1. Definición de economía circular

Según la Fundación de la Economía Circular, es *“un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía”*¹³(«Fundación para la Economía Circular», [sin fecha]).

5.2. La economía circular en el sector agroalimentario

Las empresas de la industria agroalimentaria tienen la capacidad y el compromiso de conducir a toda su cadena de valor hacia una gestión más sostenible que se base en un modelo de producción circular, en el que prospere el desarrollo de estrategias encaminadas a la reutilización y aprovechamiento de subproductos.

La integración de modelos de producción circular supone un ahorro de costes en cuanto a la adquisición de materias primas y de energía, debido a que favorece una mejor gestión y uso de ellos, como también favorecen a un ahorro para las empresas innovar en procesos más eficientes, reutilizar recursos y una buena gestión de los residuos.

¹³ Fundación para la Economía Circular. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 April 2020]. Disponible en: <http://economiacircular.org/>

El reto principal en el tema de los residuos es la valorización energética, es decir, uso de la biomasa o los residuos para producir energía, o la valorización material, que se basa en obtener de desechos nuevos productos.

Otras de las líneas de actuación para dar paso a un modelo de economía circular es impulsar mejoras tecnológicas para aumentar la eficiencia productiva de los recursos naturales, como el agua o el suelo, y de esta forma reducir su consumo.

Aplicar prácticas circulares contribuye a un mejor posicionamiento de las empresas respecto de sus competidores, en lo que a reputación e imagen de marca se refiere, lo que a su vez puede derivar en que la demanda de sus productos aumente y dé como resultado un incremento de sus ingresos (Cerantola y Ortiz Pinilla, 2018).

5.3. Principales estrategias de economía circular aplicables al sector agroalimentario

Según Cerantola y Ortiz Pinilla (2018), las principales estrategias de economía circular aplicables al sector agroalimentario son:

1. Gestión del agua, la energía, y la materia orgánica para su reutilización u otro tipo de aprovechamiento, así como la sustitución de combustibles fósiles.
2. Producción alimentaria más limpia.
3. Optimización en los diseños de envase y productos de embalaje.
4. Desarrollar nuevos productos a través del aprovechamiento de subproductos.
5. Incentivar la economía colaborativa a través de la reventa de equipos y bienes a otras empresas del sector o el uso compartido de recursos.
6. Prevención de las pérdidas y el desperdicio alimentario a lo largo de toda la cadena agroalimentaria

-
7. La tendencia al residuo cero mediante la prevención, reducción, reutilización y reciclaje de materiales.

5.4. Definición de aceituna de mesa

Según el Artículo 3 del RD 679/2016, “*se denomina aceituna de mesa al fruto de determinadas variedades del olivo cultivado, sano, obtenido en el estado de madurez adecuado y de calidad tal que, sometido a las elaboraciones adecuadas proporcione un producto listo para el consumo y de buena conservación*”¹⁴ (BOE, 2016).

5.5. Clasificación de las aceitunas

5.5.1. Tipos de aceitunas según el color

Según el Artículo 4 del RD 679/2016 (BOE, 2016) las aceitunas se clasifican según su coloración en los diferentes tipos:

- Verdes. Son las obtenidas de frutos recogidos en el ciclo de maduración anterior al envero y cuando han alcanzado su tamaño normal.

Estas aceitunas serán firmes, sanas, y no tendrán otras manchas distintas de las de su pigmentación natural.

¹⁴ BOE, 2016. Real Decreto 679/2016, de 16 de diciembre, por el que se establece la norma de calidad de las aceitunas de mesa. *Boletín Oficial del Estado* [en línea], no. 304, 17 de diciembre, pp. 88526–88527. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/17/pdfs/BOE-A-2016-11953.pdf>.

La coloración del fruto podrá variar del verde al amarillo paja. Algunas aceitunas que se comercializan como verdes son la “Gordal”, la “Manzanilla” y la “Hojiblanca”.



Ilustración 5.1. *Aceitunas verdes.*
(Barranco Navero et al., 2017)

- De color cambiante. Son las obtenidas de frutos con color rosado, rosa vino o castaño, recogidos durante el envero, antes de su completa madurez.



Ilustración 5.2. *Aceitunas de color cambiante.*
(Barranco Navero et al., 2017)

- Negras naturales. Son las obtenidas de frutos recogidos en plena madurez o poco antes de ella, pudiendo presentar, según la zona de producción y la época de la recogida, color negro rojizo, negro violáceo, violeta, negro verdoso o castaño oscuro.



Ilustración 5.3. *Aceitunas negras naturales.*
(Barranco Navero et al., 2017)

- Negras. Son las obtenidas de frutos que, no estando totalmente maduros, han sido oscurecidos mediante oxidación.



Ilustración 5.4. *Aceitunas negras oxidadas.*
(Barranco Navero et al., 2017)

5.5.2. Tipos de aceitunas según la forma de presentación

Según el Artículo 6 del RD 679/2016 las aceitunas de mesa destinadas al consumidor final, pueden presentarse de una de las siguientes formas:

- Aceitunas enteras o con hueso: aceitunas que conservan su forma original y no se les ha sacado el hueso.
- Aceitunas deshuesadas o sin hueso: aceitunas a las que se ha sacado el hueso y conservan prácticamente su forma original.
- Aceitunas rellenas: aceitunas deshuesadas, rellenas con uno o más productos alimenticios como pimienta, cebolla, almendras, apio, anchoa, cáscara de naranja o limón, avellana, alcaparra¹⁵, sin carácter limitativo, o con sus pastas preparadas para relleno, en las que se puede cerrar el espacio de relleno con la parte correspondiente de la aceituna seccionada.

¹⁵ La alcaparra es una planta arbustiva originaria de la región mediterránea. Conocida por sus capullos comestibles, las alcaparras normalmente se consumen encurtidos.

-
- Aceitunas segmentadas: aquellas que han sido cortadas o troceadas.

5.5.3. Tipos de aceitunas según la categoría comercial

Según el Artículo 10 del RD 679/2016 las aceitunas enteras, deshuesadas y rellenas se clasificarán en las categorías comerciales siguientes:

- Extra. Se considerarán comprendidas dentro de esta categoría las aceitunas de calidad superior que posean en grado máximo las características propias de su variedad y un grado de madurez adecuado.
- Primera, «I» o selecta. En esta categoría se incluyen las aceitunas de buena calidad, con un grado de madurez adecuado, que presenten las características de su variedad.
- Segunda, «II» o estándar. Comprende las aceitunas que no hayan podido clasificarse en las dos categorías anteriores.

5.6. Procesos básicos de elaboración de las aceitunas de mesa

Según el Artículo 5 del RD 679/2016 los procesos básicos de elaboración de las aceitunas son:

- Aderezo: es el proceso por el que las aceitunas verdes, de color cambiante o negras naturales, son sometidas a un tratamiento alcalino para eliminar el principio amargo y acondicionadas posteriormente en salmuera en la que sufren una fermentación parcial o completa.

-
- En salmuera: es el proceso por el que las aceitunas verdes, de color cambiante o negras naturales, son tratadas directamente con una salmuera, donde sufren una fermentación completa o parcial.
 - Aliñado: es el proceso de añadir a la salmuera condimentos o especias, eventualmente vinagre, y cualquier otro producto alimenticio.
 - Oxidación: es el proceso por el cual las aceitunas de los tipos verde y de color cambiante, que en una fase previa se conservan en salmuera, fermentadas o no, son ennegrecidas por oxidación en medio alcalino.
 - Deshidratación: es el proceso por el que las aceitunas pierden parte de su humedad por tratamiento con sal seca, aplicación de calor o cualquier otro proceso tecnológico.
 - Otros procesos de elaboración: las aceitunas pueden elaborarse de formas diferentes o complementarias de las antes indicadas, siempre que los frutos utilizados respondan a los requisitos establecidos en la correspondiente norma de calidad.

5.7. Principales variedades de las aceitunas de mesa

Las variedades de olivo cultivado que se emplean para la elaboración de aceitunas de mesa son muy diversas y su número se ha ampliado en los últimos años. Muchas de ellas son autóctonas y otras son importadas, adquiriendo en este caso, características distintas a las originales.

Los principales factores a considerar para la elección de variedades son, que la planta posea adecuados caracteres agronómicos y que los frutos presenten buenas características tecnológicas. Entre estas, destacan las propiedades siguientes: buen tamaño, forma regular del fruto, alta relación pulpa/hueso, hueso recto y pequeño (facilita el deshuesado mecánico), color (verde-amarillo) y textura (pulpa delicada).

Las variedades que en España reúnen en mayor medida estas características son las siguientes:

- “Manzanilla de Sevilla”. Es la variedad de aceituna de mesa más tradicional para este tipo de elaboración debido a su productividad, la calidad del fruto y a sus características sensoriales.

Se cultiva principalmente en la provincia de Sevilla y también en Badajoz, donde recibe el nombre de “Carrasqueña”.



Ilustración 5.5. Aceituna “Manzanilla de Sevilla”.
(Estrada Cabezas, 2011)

- “Hojiblanca”. Esta variedad de aceitunas presenta doble aptitud ya que, además de para la tradicional elaboración de aceite, su dedicación en los últimos años como aceitunas de mesa va en aumento.

Su cultivo se encuentra extendido principalmente por las provincias de Córdoba, Sevilla, Málaga y Granada.



Ilustración 5.6. Aceitunas "Hojiblanca".
(Estrada Cabezas, 2011)

- "Gordal Sevillana". Esta variedad es muy apreciada por su gran tamaño y su cultivo se localiza exclusivamente en la provincia de Sevilla.



Ilustración 5.7. Aceitunas "Gordal".
(Estrada Cabezas, 2011)

- Otras variedades de menor producción son "Manzanilla Cacereña", "Morona", "Verdial de Huévar" y "Aloreña".



Ilustración 5.8. *Aceitunas "Cacereña".*
(Estrada Cabezas, 2011)



Ilustración 5.10. *Aceitunas "Aloreña".*
(Estrada Cabezas, 2011)



Ilustración 5.9. *Aceitunas "Verdial".*
(Estrada Cabezas, 2011)

5.8. Etapas del proceso de elaboración de aceitunas verdes al estilo español o sevillano

En este procedimiento, los frutos, de color verde a verde amarillento, una vez recolectados, se transportan a las plantas de aderezo.

Después de ser escogidos, y parcialmente clasificados, se tratan con una solución diluida de hidróxido sódico, operación denominada cocido, para eliminar el amargor.

Seguidamente, los frutos se lavan con agua por períodos variables de tiempo, para eliminar el exceso de lejía.

Finalmente se colocan en una salmuera al 10-11%, donde sufren la típica fermentación láctica de duración variable.

Los frutos, una vez fermentados, se seleccionan y se clasifican por tamaños para ser envasados como enteros, deshuesados, o rellenos con diversos ingredientes. La Ilustración 5.11 muestra un esquema de este proceso. A continuación, se describen cada una de las etapas.



Ilustración 5.11. *Etapas de la elaboración de aceitunas verdes al estilo español o sevillano.*
(Elaboración propia)

5.8.1. Recolección

El momento óptimo de la recolección de las aceitunas verdes es cuando adquieran su mayor tamaño y antes del envero, es decir, cuando la coloración externa es verde amarillo – paja y aún no ha comenzado a tomar color rosado.

Si se recolectan antes, la fermentación se desarrolla con dificultad, resultan duras y de sabor poco agradable; si son tardías el producto resulta blando y se conserva mal.

La recolección para las variedades “Gordal” y “Manzanilla” con preparación al estilo sevillano se realiza en septiembre en zonas cálidas, y en octubre en zonas frías.

El sistema de recogida más utilizado es el de ordeño o manual, que perjudica menos al fruto.



Ilustración 5.12. *Recolección manual de aceitunas.*
(Barranco Navero et al., 2017)

5.8.2. Transporte

El transporte se realiza normalmente en contenedores; estos contenedores son unos recipientes metálicos de unos 500 kg de capacidad con paredes recubiertas de material plástico que permita el paso del aire o a granel, aunque este sistema produce un cierto daño a los frutos.



Ilustración 5.13. *Transportes y envases de campo.*
(Barranco Navero et al., 2017)

Antes de realizar el transporte a la industria se suelen separar los frutos de pequeños tamaños, no comerciales, junto a las hojas y ramillas, en el propio campo. Si no se hubiera realizado en campo, esta operación se realiza en la industria antes del tratamiento alcalino.

En algunas variedades de aceitunas como la “Manzanilla”, es preciso un período de reposo de 2 o 3 días después de la recolección para evitar la rotura de la piel (despellejado) en el siguiente proceso de cocido.

Otro proceso para evitar la rotura de la piel consiste en sumergir los frutos recién recogidos en una disolución de NaOH de 0,8% durante 6 o 8 horas antes del cocido.

5.8.3. Limpieza y preclasificación

Cuando las aceitunas llegan a las industrias, se limpian para separar el polvo, así como las hojas, tierra y ramas pequeñas que suelen venir en los recipientes, denominado hojín.

Posteriormente, las aceitunas se pueden preclasificar según tamaño y se toman los datos necesarios para identificar la partida durante todo el proceso de elaboración. Esta preclasificación permite unos tratamientos posteriores más homogéneos.

Para facilitar los procesos de escogido y clasificado se realiza una eliminación previa del pedúnculo del fruto en máquinas desrabadoras automáticas.

El escogido de las aceitunas se realiza en cintas transportadoras, donde se separan las de mala calidad automáticamente.

5.8.4. Cocido

Para llevar a cabo el proceso de cocido, se llenan los depósitos destinados para ello con agua hasta una quinta parte, previamente a la carga de la aceituna y vaciado posterior, evitando los daños de la aceituna. El llenado de los depósitos con aceituna se efectúa como máximo en 30 minutos con el objeto de tener una homogeneidad del producto final.



Ilustración 5.14. *Llenado del depósito de cocido.*
(Barranco Navero et al., 2017)

En el proceso de cocido, las aceitunas se tratan con solución diluida de hidróxido sódico (lejía) para eliminar y transformar la oleuropeína, responsable del amargor de los frutos y cuya presencia es considerada como inhibidora del desarrollo de los procesos fermentativos normales, y los azúcares, y así formar ácidos orgánicos que favorezcan la fermentación posterior y permitan aumentar la permeabilidad del fruto.

La oleuropeína, juntos con otros compuestos fenólicos, se hidrolizan durante el proceso de fermentación, dando lugar a T e HT. Estos dos últimos tienen grandes propiedades antioxidantes, por tanto, la producción, extracción o recuperación de estos compuestos fenólicos se ha convertido en un tema de gran interés para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

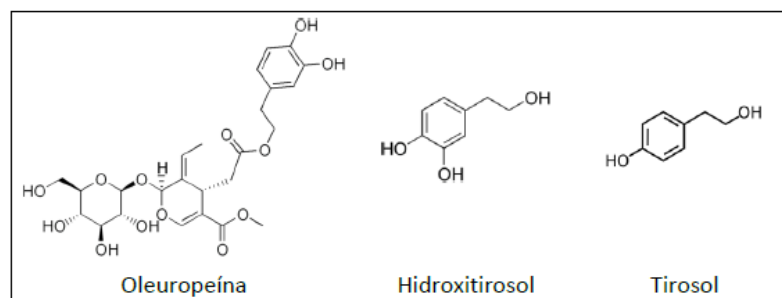


Ilustración 5.15. *Estructura de los compuestos fenólicos mayoritarios en las aceitunas.*
(Carbonell Alcaina, 2017)

La concentración de NaOH que generalmente se utiliza, varía entre 1,3 y 2,6 %, aunque en algunos casos de zonas frías se puede alcanzar hasta el 3,5%. En cualquier caso, debe ajustarse en función de la temperatura ambiente.

Si el cocido no se aplica correctamente pueden aparecer manchas pardas en la superficie de los frutos.

La duración del tratamiento suele ser distinta para cada variedad y calibre del fruto; está entre 6 y 8 horas para la variedad “Manzanilla”, y de 10 a 12 horas para la variedad “Gordal”, pero con una lejía más diluida.

El tratamiento se lleva a cabo en recipientes de capacidad variable, generalmente de 16 m³ de capacidad, lo que equivale a 10 toneladas de frutos (Barranco Navero et al., 2017) de forma que la disolución cubra perfectamente los frutos, que permanecerán en esta situación hasta que la lejía penetre hasta los 2/3 de la pulpa.



Ilustración 5.16. *Recipientes para el cocido (cocederas).*
(Barranco Navero et al., 2017)

5.8.5. Lavado

Al finalizar el cocido se retira la lejía y se cubren las aceitunas con agua, operación denominada lavado, cuyo principal objetivo es la eliminación de

la mayor cantidad posible de la sosa que cubre a las aceitunas y de la que penetró en la pulpa.

Como ya se describió en el apartado 3.5 generalmente el lavado se realiza en una o dos etapas.

Si se realiza sólo en una etapa ésta será más prolongada.

Si se hace en dos, a la primera se le llamará cocido por ser de corta duración y permitir que el cocido continúe durante este lavado, suele durar 2-3 horas; y un segundo lavado que dura 10-12 horas.

En la Tabla 5.1 se recogen los valores de concentración de lejía y las duraciones del cocido y lavado, respectivamente, en función de la variedad de aceituna.

| Cocido | | | | Lavado |
|------------|----------------------|---------------|------------|------------|
| Variedad | Temperatura media/°C | Lejía /% NaOH | Duración/h | Duración/h |
| Manzanilla | 20 | 2,2 – 2,5 | 6-8 | 8-10 |
| Hojiblanca | 15 | 3 – 3,5 | 6-8 | 8-10 |
| Gordal | 25 | 1,8 – 2 | 10-12 | 8-10 |

Tabla 5.1. Características del cocido y lavado de las principales variedades de aceitunas.

(Barranco Navero et al., 2017)

5.8.6. Colocación en salmuera

Una vez terminado el lavado, las aceitunas se colocan en una salmuera de concentración 10-11% donde se mantienen durante las fases de fermentación y conservación.

Para la fermentación, se pasan a unos recipientes, distintos a los de cocido, que son aéreos para facilitar el trasvase de los frutos, denominados fermentadores.

Normalmente se hace un reposado de la aceituna en el depósito, hasta que el fruto deje de flotar y permita la descarga a los depósitos de fermentación.

5.8.7. Fermentación

Durante la fermentación se controla el pH, ya que, en los primeros días de la colocación de las aceitunas en salmuera, debido a la lejía residual que va saliendo de la pulpa, el valor de pH resulta superior a 10 unidades.

Por otra parte, a lo largo de las diversas etapas de la fermentación, el pH descienda a valores de 4 unidades o menos, lo que facilita la adecuada conservación a largo plazo. El uso de una mezcla de BAL y de levaduras durante el proceso fermentativo es un método prometedor para la estandarización de la producción de aceituna de mesa al tiempo que se minimizan los riesgos de contaminación externas. Además, alterando los parámetros físico-químicos y biológicos se optimiza el proceso fermentativo.

La fermentación se divide en tres fases:

- 1ª fase: va desde que los frutos se colocan en salmuera hasta el crecimiento exponencial de las BAL, que ocurre a pH 6.
- 2ª fase: dura hasta la desaparición total de bacilos Gram-negativos (20-25 días). El pH será de 4,5.
- 3ª fase: termina con el cese de producción de ácido por parte de los lactobacilos, provocado por la ausencia de nutrientes para su consumo. En este momento el pH resulta igual o inferior a 4.

Para dirigir y controlar todo el proceso de la fermentación, se realiza el descenso inicial del pH, ya indicado, unido al mantenimiento de una temperatura adecuada, 22-25°C, durante, al menos, unos 30 días, utilizando un intercambiador de calor. Asimismo, se añade un cultivo puro de BAL, y si es necesario, se añade materia fermentable para completar la fermentación y conseguir un buen valor de pH final.

Con el objetivo de obtener una buena fermentación, se hacen controles a lo largo de las distintas fases:

- Contenido de cloruro sódico: con valor inicial de 10 a 12 %, hasta alcanzar un valor final de equilibrio.
- pH: Cada 7 días, durante 3 semanas, con valor inicial entre 10 a 12 unidades. Cada 20 días a partir de la tercera semana hasta el final de la fermentación, obteniendo un valor final de pH entre 4,2 a 4,5 unidades.
- Acidez libre: Cada 7 días durante 3 semanas, con valor inicial de 0 %. Cada 20 días de acidez libre a partir de la tercera semana hasta el final de la fermentación, con un valor mínimo de 0,6 %.
- Acidez volátil: al final de la fermentación.

Hay que tener en cuenta que las correcciones de pH son graduales, buscando el valor final de equilibrio y el mantenimiento de la calidad y cualidades organolépticas de la aceituna, y que se efectúa la retirada de los fondos alcalinos al final de la primera semana de fermentación y posteriormente cada mes.

5.8.8. Conservación

Una vez terminada la fermentación láctica, se inicia la conservación de las aceitunas y, si no se cuida especialmente, puede darse una nueva fase de la fermentación por desarrollo de bacterias del género

Propionibacterium, originándose un aumento del pH, pues estos microorganismos consumen el ácido láctico formado.

Para evitar este efecto, se aumenta, al final de la fermentación láctica principal, la concentración de sal hasta niveles de entre 8 y 9 %, lo que evita el desarrollo de estas bacterias y garantiza una adecuada conservación al mantener un bajo valor de pH (Sánchez Gómez et al., 2006).

La subida de sal se realiza en dos etapas para evitar el posible arrugado de los frutos, y otros problemas que resulten en una disminución de la calidad final del producto.

Al finalizar la fermentación láctica, las aceitunas alcanzan, en equilibrio con la salmuera de conservación, unos valores óptimos que son los dados para los siguientes parámetros:

- pH: < 4,2
- Sal: 8-9%
- Acidez libre: 0,7-1% Ácido láctico
- Alcalinidad residual (lejía residual): < 0,12 N

Durante toda la fase de fermentación y conservación se procede a una limpieza de las bocas de depósitos, retirada de los velos superficiales en los fermentadores y la limpieza de los fondos. La periodicidad con la que se lleva a cabo esta limpieza dependerá de las condiciones ambientales.

5.8.9. Escogido y clasificado

Tiene por objeto hacer una separación por calidad y eliminar los frutos dañados, molestados, partidos o picados. Esta operación puede ser manual o automática.

En esta operación se separan las aceitunas de su salmuera madre. Dichas salmueras se corrigen antes de ser añadidas de nuevo a las aceitunas escogidas y clasificadas, en caso de ser regeneradas; o de lo contrario, se añade salmuera blanca, aunque como se indicó en el apartado 3.5 esto implicaría un nuevo aporte de efluente, lo cual iría en contra de la filosofía de este proyecto.

El resultado de estas operaciones conduce a la obtención de recipientes con aceitunas del mismo tamaño, con calidad organoléptica uniforme, y con niveles de sal y acidez homogéneos y suficientemente elevados para garantizar su conservación. Todo ello facilita su posterior envasado.

5.8.10. Almacenamiento

Una vez que las aceitunas están clasificadas por tamaños y calidades, son almacenadas en bombonas o devueltas a los depósitos hasta su expedición, bien a granel (en bombonas o cisternas), o bien hasta su envasado como aceituna entera o pasando previamente por los procesos de deshuesado como aceituna deshuesada, o del proceso de deshuesado y relleno como aceituna deshuesada y rellena de sus pastas.



Ilustración 5.17. *Bombonas de almacenamiento.*
(Barranco Navero et al., 2017)

5.8.11. Envasado

Los productos se conservan pasteurizados. Su vida en el envase es más duradera debido al proceso de pasteurización.

Las aceitunas, una vez envasadas, se conservan por medio del ajuste de sus características químicas entre los niveles de acidez y sal siguientes: 0,7-1 % y 8-9 %, respectivamente. Como la tendencia actual de los consumidores es por valores más bajos de acidez y sal, esto tiene como consecuencia que gran parte de las aceitunas envasadas no se conserve adecuadamente. Para conseguir una buena conservación, se añaden ácidos sórbico y benzoico, los cuales están permitidos por las normas en las dosis máximas siguientes según la Norma Comercial aplicable a las aceitunas de mesa COI/OT/NC nº 1 de diciembre de 2004 (COI, 2004).

Dosis máxima de aditivos¹⁶ expresada como g/kg (expresada en peso m/m de la pulpa):

- Ácido benzoico y sus sales de sodio o potasio: $1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (expresada en ácido benzoico)
- Acido sórbico y sus sales de sodio o potasio: $0,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (expresada en ácido sórbico)

5.9. Control de factores en el proceso de aderezo de aceitunas verdes

Para obtener una buena calidad en el producto final, es importante tener en cuenta una serie de factores a lo largo de todo el proceso productivo (Gascón, 2009).

¹⁶ Las siguientes sustancias podrán utilizarse solas o en cualquier combinación.

5.9.1. Importancia de la concentración de la lejía de cocido

Como ya se relató en el apartado 5.8.4, la solución de hidróxido de sodio es utilizada para efectuar la destrucción de oleuropeína. Las concentraciones normalmente utilizadas son las comprendidas entre 1,3 y 2,6%, dependiendo de la temperatura ambiente.

Una concentración elevada puede provocar graves defectos en la materia prima tales como ablandamiento químico de la pulpa y despellejado de la piel que desvaloriza categóricamente el producto.

A mayor concentración de lejía y temperatura, la acción es más enérgica y provoca una mayor permeabilidad de la piel, pero permanece más cantidad de sosa en el interior de la pulpa, lo que dificulta un buen valor de pH al final de la fermentación.

La dificultad de obtener valores bajos de pH se debe a que esta lejía residual reacciona con los ácidos de fermentación formándose sales de ácidos orgánicos.

Por el contrario, una concentración muy baja es insuficiente para obtener la energía necesaria y en consecuencia alarga considerablemente el tiempo de cocido pudiendo ser causa de ablandamientos.

5.9.2. Importancia de la penetración de la sosa en la pulpa

El cocido se da por terminado cuando la lejía penetra 2/3 de la pulpa.

Si la penetración es insuficiente, las aceitunas resultan amargas y fermentan mal, quedando una zona próxima al hueso que con el tiempo

vira a un color violeta y la piel adquiere un color pardo; por otro lado, si se van a deshuesar el hueso no queda limpio y arrastra mucha pulpa.

Si la penetración es excesiva, resulta difícil obtener unas buenas características químicas para su conservación a largo plazo, la textura es deficiente y, si van a ser deshuesadas, dan un elevado porcentaje de unidades rotas durante dicha operación.

Para facilitar que todos los frutos alcancen una penetración adecuada en el mismo tiempo, las aceitunas destinadas al cocido deben ser lo más homogéneas posibles en tamaño medio y madurez.

5.9.3. Importancia de la intensidad del lavado

Como se indicó en el apartado 3.5 es importante no exagerar los lavados posteriores al cocido porque se empobrecería el medio en el que van a actuar los microorganismos en los valores de azúcares (principalmente) y otros compuestos hidrosolubles varios (factores de crecimiento).

Si los lavados son insuficientes, dejarían un exceso de lejía residual que pone en peligro la selección de la flora microbiana deseable y por lo tanto la normal fermentación láctica.

Debido a la reutilización de lejías y reducción del número de lavados las salmueras retienen una lejía residual o acidez combinada algo más alta de lo que era habitual en procesos tradicionales.

Como consecuencia, la actividad de los lactobacilos se puede prolongar durante períodos más amplios debido a la presencia de azúcares, y hace que se produzcan niveles más altos de acidez, debido a que los

lactobacilos consumen estos azúcares, formando ácido láctico, aunque con niveles superiores de pH.

Por otro lado, como ya se mencionó en el apartado anterior, este exceso de lejía residual puede dificultar la obtención de valores bajos de pH en el envasado final debido a la presencia de sales sódicas de ácidos orgánicos. Estas sales se producen por reacción de la lejía residual con los ácidos de la fermentación. El problema se puede evitar añadiendo un ácido fuerte, lo cual puede provocar repercusiones negativas en el crecimiento de las BAL dando lugar a fermentaciones detenidas. Normalmente, se usa clorhídrico que está admitido por las normas.

Estas fermentaciones detenidas son debidas, por un lado, a que las BAL no son tolerantes a la bajada drástica de pH; y por otro, a la menor disponibilidad de nutrientes en el medio provocado por la precipitación de aminoácidos y proteínas ocasionado por el ácido.

Si la adición de este ácido se hace en dos fases, una en la solución salina inicial y otra al final de la fermentación, el problema descrito en los dos párrafos anteriores, se soluciona (Durán Quintana et al., 1997).

El tratamiento con lejía y el lavado con agua aumenta la permeabilidad en la piel y en la pulpa, lo que hace que el nivel de materia fermentable sea alto; si el número de lavado es excesivo, la materia fermentable disminuye.

El concepto moderno de controlar la eficiencia de lavados es a través de la determinación de la “lejía residual” en frutos (**no** en salmueras a los 15 días) y verificar que este valor se halle entre 0,12 y 0,40 eq·L⁻¹ (0,12 a 0,40 N).

5.9.4. Importancia de la acidez combinada o lejía residual

Con la denominación de acidez combinada o lejía residual se entiende a la lejía residual que queda contenida en los frutos o las salmueras iniciales en equilibrio y se expresa en equivalentes de hidróxido de sodio por litro o normalidad.

El nombre deriva de que se trata de una alcalinidad combinada con los ácidos orgánicos naturales de los frutos que tras el cocido se combinan químicamente con el álcali formando sales que tendrán un efecto amortiguador del pH lo que dificulta el descenso lineal del mismo conforme aumente la acidez del medio.

En la bibliografía se citan como valores normales de lejía residual en salmueras a los 15 días de contacto con las aceitunas, 0,1 a 0,2 Normal. De esta forma se logra un pH final adecuado para la conservación si la fermentación es normal y alcanza valores de acidez superiores al 0,6% expresado en láctico.

Cuando la lejía residual en estos momentos es superior a los valores indicados debería procederse a la adición del ácido de corrección.

5.9.5. Importancia de la concentración de la salmuera de fermentación

La concentración inicial de la salmuera desciende a medida que se va estabilizando con los frutos y este valor es el que se debe considerar para hacer selectivo el medio de fermentación.

Si la concentración inicial de sal es superior al 10% provoca una salida excesiva de jugo, debido a la mayor presión osmótica exterior, lo que tiene como consecuencia el arrugado permanente de los frutos, y además la

velocidad de fermentación se ve alterada, ya que el desarrollo de la flora deseable no transcurre adecuadamente.

Si la concentración de sal es mucho más baja (2-3%), se pueden favorecer ciertas alteraciones, ya que resulta insuficiente para impedir el desarrollo de la flora indeseable.

De lo dicho se deduce la necesidad de controlar la salmuera que se adicione, como así también su concentración durante el proceso de fermentación.

El criterio general es una concentración inicial del 10-11% para que estabilice en 4-5% y a partir de allí ir efectuando los refuerzos necesarios para que en 20-25 días quede en valores estables próximos al 8%.

5.9.6. Importancia de la acidez libre

Durante el proceso fermentativo normal se produce, por actividad de microorganismos, un incremento en los valores de acidez, debido a la producción de ácido láctico por consumo de azúcares.

En consecuencia, la valoración de acidez en forma periódica permite establecer si el proceso se está llevando a cabo con normalidad o si se detiene o frena la fermentación por cualquier motivo.

En el tipo de aceitunas verdes, los valores de acidez van aumentando progresivamente hasta valores próximos al 0,6 – 0,8% expresados en ácido láctico.

El criterio general es que la marcha de la fermentación puede ser controlada periódicamente por el incremento de acidez y que, a su vez, condiciona el pH del medio y lo va haciendo selectivo para la flora deseable.

Los valores de acidez en la etapa inicial de la colocación en salmuera permiten deducir si la adición del ácido de corrección efectuada para ajustar la lejía residual (en caso de haber sido necesaria) ha sido correcta.

5.9.7. Importancia del pH en las salmueras

El aumento de acidez durante la fermentación hace que el pH del medio descienda gradualmente, de ahí que su medición periódica sea importante y complementaria de los controles tecnológicos del proceso.

Su importancia radica en que hay ciertas enfermedades y defectos de las aceitunas verdes fermentadas, que se han señalado como de manifestación NO probable por debajo de ciertos valores de pH, tal es el caso de las denominadas “zapateras” que no desarrollarían por debajo de 4,5 unidades y las llamadas “rancias” por debajo de 4,0.

Como ya se ha indicado en apartados anteriores, es ideal alcanzar valores iguales o inferior a 4,2.

El valor de pH se correlaciona también, junto con la acidez, a la lejía residual o acidez combinada dado que, para alcanzar el mismo valor de pH, con lejías residuales bajas se necesita menor cantidad de ácidos formados en la fermentación, esto es, unos valores de acidez más bajos.

5.9.8. Importancia de los azúcares reductores

Los azúcares reductores son el principal sustrato fermentativo, dado que constituyen la fuente hidrocarbonada de energía para los microorganismos que, al consumirla, van metabolizando y produciendo la acidez láctica que caracteriza este tipo de fermentación.

Los azúcares naturales del fruto se ven disminuidos notablemente por solubilización durante los procesos de cocido y lavado, de ahí que cuando

se exageran los tiempos y números de lavados, se puede comprometer la normal marcha del proceso y es necesario incluso tener que prever su adición si la fermentación se paralizara.

Se considera que 1 gramo de azúcar se metabolizará por los microorganismos dando 1 gramo de ácido láctico, por lo que, si se considera un aumento de acidez desde el inicio hasta alcanzar 0,6% en láctico, se necesitarán como mínimo un 0,6% de azúcares reductores en la salmuera.

5.10. Aguas residuales procedentes del proceso de aderezo de aceitunas verdes

Tal y como se indicó en la introducción de este proyecto, uno de los principales problemas de estudio del sector de la industria aceitunera reside en el volumen de residuos que genera.

En la Tabla 5.2 se muestra la cantidad de aguas residuales generadas por kilogramo de aceituna producido.

| Tipo de preparación | Lejías/L·kg ⁻¹ | Aguas de lavado/L·kg ⁻¹ | Salmueras/L·kg ⁻¹ |
|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Aceitunas verdes al estilo sevillano | 0,5 | 1 | 0,5 |

Tabla 5.2. Aguas residuales generadas en el proceso de aderezo de aceitunas de verdes al estilo sevillano, expresado en litros por kilogramo de aceituna producido.
(Mateos Martín, 2016)

Los efluentes originados en la producción de aceitunas verdes aderezadas se distinguen en dos grupos diferenciados: alcalinos, donde se incluyen las lejías de cocido y las aguas de lavado y, por otro lado, ácidos, donde se incluyen las salmueras de fermentación.

En la Tabla 5.3 se reflejan las características de la carga contaminante de las aguas residuales de las aceitunas verdes.

Cabe destacar que la carga contaminante en el segundo lavado es superior a la del primer lavado; por esta razón, y por las ya mencionadas en el apartado 3.5 es interesante estudiar la posibilidad de eliminar el segundo lavado, además del ahorro de agua que supone.

Por otro lado, tal y como se mencionó al inicio de este proyecto, la alta cantidad de polifenoles dificulta el tratamiento de dichas aguas debido a la estabilidad del anillo bencénico frente a ataques químicos y microbianos.

| Características | Lejías | 1º Agua de lavado | 2º Agua de lavado | Salmuera |
|--|-------------|-------------------|-------------------|--------------|
| pH | 12,2 | 11,2 | 9,8 | 3,9 |
| NaOH libre / g·L ⁻¹ | 11 | 1,5 | - | - |
| NaCl / g·L ⁻¹ | - | - | - | 97,0 |
| Acidez libre (Ac láctico) /g·L ⁻¹ | - | - | - | 6,0 |
| Azúcares reductores /g·L ⁻¹ | 8,6 | 8,0 | 7,1 | - |
| Polifenoles (ac. tánico) /g·L ⁻¹ | 4,1 | 4,0 | 6,3 | 6,3 |
| DQO / g·L ⁻¹ | 23,0 | 24,6 | 28,4 | 10,7 |
| DBO ₅ / g·L ⁻¹ | 15,0 | 12,3 | 15,6 | 9,5 |
| Sólidos en disolución/ g·L ⁻¹ | | | | |
| Volátiles | 30,2 | 35,1 | 39,7 | 17,8 |
| Fijos | 18 | 11,4 | 9,9 | 100,7 |
| TOTALES | 48,2 | 46,5 | 49,6 | 118,5 |

Tabla 5.3. Características de las aguas residuales procedentes del proceso de aderezo de aceitunas verdes al estilo español o sevillano.
(Fernández-Santos et al., 1997)

6. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS PROPUESTOS

Se desarrolla el presente trabajo bajo la siguiente hipótesis:

Es posible convertir una planta de aderezo de aceitunas en un proceso de economía circular aplicando las estrategias adecuadas en aras de la consecución de un vertido cero y la valorización y/o reutilización de los subproductos generados.

El objetivo principal del presente trabajo es la definición de las estrategias de economía circular aplicables a una planta de aderezo de aceituna con una producción anual de 2.000.000 kg-año⁻¹ de aceitunas verdes al estilo español o sevillano.

Para ello se establecen los siguientes objetivos específicos:

1. Revisión del concepto de economía circular, principales estrategias, logros y beneficios.
2. Revisión del estado del arte en la industria de la aceituna de mesa y los últimos avances en eliminación de vertidos y valorización de subproductos.
3. Análisis crítico del proceso industrial para propuesta de mejoras con especial detenimiento en los siguientes puntos:
 - 3.1. Temperaturas en el tratamiento de cocido.
 - 3.2. Posibilidades de reutilización de lejías, reducción de lavados y posible eliminación en balsas de evaporación.
 - 3.3. Posibilidades de regeneración de salmueras de fermentación.
 - 3.4. Valorización de subproductos.

Los objetivos específicos detallados en el punto 3 se orientan de la siguiente manera:

3.1. Temperaturas en el tratamiento de cocido

El reposo previo al cocido que requiere la variedad “Manzanilla” es esencial para evitar la rotura y el desprendimiento de la piel (despellejado) cuando, posteriormente, son tratadas con lejía, sobre todo, al principio de la campaña, debido a las altas temperaturas del mes de septiembre.

Sin embargo, ese tiempo de espera genera las siguientes consecuencias negativas:

- Disminución de la calidad del producto final debido a que comienzan procesos degradativos derivados de la alta actividad fisiológica de los frutos.
- Aumento del número y grado de aceitunas manchadas o con diversos defectos en la epidermis. Estos defectos se denominan “molestado” de las aceitunas.
- Disminución del peso de la aceituna en un 5%.

Por otra parte, las altas temperaturas del mes de septiembre hacen que el cocido sea más enérgico, lo que ocasiona:

- Problemas de despellejado.
- Los frutos resultan más blandos.
- Frutos rotos al deshuesar.
- Aumento de lejía residual que produce valores altos de pH lo que dificulta una buena conservación a largo plazo ya que facilitan el desarrollo de ciertas alteraciones como el alambrado.

Todo ello tiene repercusiones económicas en la industria; esto se traduce en pérdidas de hasta 4 millones de euros sobre un volumen de 15.000 toneladas (Jaramillo Carmona et al., 2011), debido a:

- Aumento del número de aceitunas molestadas.

- Aumento de los gastos de producción para solucionar alteraciones como el alambrado y el despellejado. Estas alteraciones pueden alcanzar que hasta un 50% de las aceitunas pasen de 1º a 2º categoría.

Tal y como se ha comprobado en los antecedentes bibliográficos y en los últimos párrafos, aplicar un reposo previo al cocido en esta variedad tiene importantes consecuencias negativas, con lo que estudiar diferentes alternativas que supongan su supresión, y eviten el despellejado, alambrado y molestado, resultaría interesante.

En este trabajo se propone suprimir el reposo previo en esta variedad y tratar estas aceitunas con lejías de cocido a 18º C. De esta manera, la calidad del producto final no se verá alterada y se disminuirán la cantidad de frutos rotos, molestados y alambrados. Estas lejías se considerarán reutilizables. Este tratamiento será llevado a cabo de manera cualitativa.

El tratamiento propuesto se aplica a la variedad “Manzanilla”, aunque en la planta objeto de estudio se producen variedades “Gordal” y “Manzanilla”.

De la bibliografía se conoce que la variedad “Gordal” requiere de un cocido más lento, pero con una más lejía diluida.

Dado que no se tienen datos de la planta sobre la cantidad de aceitunas que se producen de cada variedad, se ha recurrido a la base de datos de AICA.

Según las estadísticas de AICA, en la campaña 2019/2020 se han producido a nivel nacional 458.082 toneladas de aceitunas, de las cuales 265.850 toneladas han sido cocidas como aceitunas verdes.

De la variedad “Manzanilla” se han producido 110.138 toneladas, lo que supone un 41,5% del total; de la variedad “Gordal” se han producido 20.039 toneladas, lo que supone un 7,5%.

Se deduce, por tanto, que la variedad “Gordal” supone la quinta parte de la producción de la variedad “Manzanilla”.

Se justifica, pues, como limitación de este estudio, que no se van a aplicar cocidos diferentes para cada variedad; esto es, se van a incluir las aceitunas de variedad “Gordal” en el tratamiento propuesto para la variedad “Manzanilla”.

3.2. Posibilidades de reutilización de lejías, reducción de lavados y posible eliminación en balsas de evaporación

Las lejías de cocido son aguas fuertemente alcalinas con alto contenido en materia orgánica disuelta y DQO elevada.

La reutilización de las lejías de cocido es una operación sencilla y requiere pocas instalaciones complementarias, pues basta una bomba y un depósito auxiliar.

Es una modificación que resulta muy rentable, pues se aprovecha gran parte del hidróxido sódico que se perdería. La concentración de compuestos contaminantes, después de diez o doce reutilizaciones, no llega a ser tres veces la carga de las de un solo uso. Con ello, se reduce el volumen de los efluentes, se evita una gran cantidad de materia contaminante, y también se ahorra agua, lo que, en algunas zonas tiene una gran importancia.

Se ha comprobado, repetidamente, que la fermentación y las características organolépticas de los frutos elaborados con lejías reutilizadas no se diferencian de los obtenidos por el proceso tradicional.

Por su parte, las aguas de lavado no son reutilizables, tienen inferior contenido en sosa cáustica libre que las lejías, aunque el resto de

características son similares, es decir, fuertemente alcalinas, alto contenido en materia orgánica y DQO elevada.

Al reducir de dos lavados a uno, además del ahorro de agua que supone, el efluente contaminante destinado a las balsas se reduce a la mitad; de esta forma, la balsa se puede redimensionar, con la consiguiente disminución de costes.

3.3. Posibilidades de regeneración de salmueras de fermentación

Las salmueras residuales, aunque suponen sólo un 30% de las aguas residuales dentro de la planta, aportan el 70% de la contaminación.

Es decir, estos efluentes tienen una importante carga contaminante medida en términos de DQO, DBO₅ y sólidos orgánicos en disolución.

Cabe destacar que la presencia de los dos primeros proviene, en gran parte, del ácido láctico libre y combinado en forma de lejía residual.

Las salmueras residuales tienen un contenido de NaCl del 7-9% y acidez láctica de 0,6-1,5% lo cual garantiza la estabilidad del producto durante la conservación y, además, podría ser aprovechable en caso de reutilización.

Por otro lado, la presencia de polifenoles con estructuras químicas muy estables (y muchos de ellos con propiedades bactericidas) y su alto contenido en sal, dificulta el tratamiento biológico, por lo que se han desarrollado diferentes métodos para su eliminación o reutilización, ya mencionados en el apartado 3.6.

Actualmente continúan realizándose investigaciones en la regeneración de las salmueras de fermentación para su reutilización.

En cuanto a los estudios para su reutilización en posteriores procesos fermentativos no resultaron satisfactorios.

Por el contrario, los resultados han sido aceptables para otros usos como el envasado.

Si las salmueras se regeneran, se produciría la recuperación de la sal, del ácido láctico y otros subproductos de gran valor añadido, lo cual contribuiría a rebajar los costes globales del tratamiento de depuración del conjunto de efluentes.

De esta forma, se reduciría el volumen de efluentes de forma considerable, y se ahorraría en cantidad de sal, ácido láctico y agua necesarias para preparar la salmuera de envasado.

Dicho esto, se propone un tratamiento de salmueras mediante un sistema de UF, NF y adsorción/desorción, A/D en adelante, con dos objetivos principales: recuperación de HT y T para su valorización como subproducto; y regeneración de salmueras para su posterior uso en el envasado, como líquido de gobierno.

En la Ilustración 6.1 se muestra un esquema de la medida propuesta, la cual se explicará en el apartado 7.3.3.

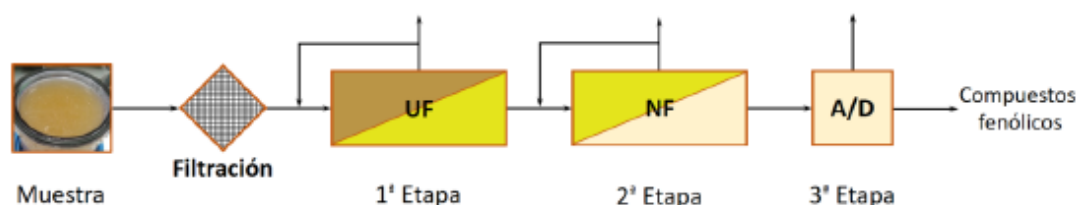


Ilustración 6.1. Esquema del proceso de tratamiento de salmueras residuales para la recuperación de compuestos fenólicos.
(Carbonell Alcaina, 2017)

3.4. Valorización de los subproductos del proceso

Como último objetivo se propone valorizar los huesos de la aceitunas, las aceitunas de destrío y el hojín.

Dado que a priori no necesitan de ningún proceso físico-químico de tratamiento previo a su venta, al menos dentro de la entamadora, la planta recibirá un ingreso económico totalmente íntegro por ello.

Además de evaluar el ingreso económico, se va a evaluar el proceso de valorización del hojín en términos de potencial energético y ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero, GEI en adelante.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



7. TÉCNICAS, MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Técnicas

En primer lugar, para poder trabajar con datos de partida reales, se ha realizado una revisión de las bases de datos de AICA, y de las publicaciones del COI.

En el ANEXO XIX se describe detalladamente cómo se han utilizado las bases de datos de AICA.

Con el fin de elegir qué medidas circulares se podrían adoptar en una planta de aderezo para “cerrar el ciclo de vida” de los residuos, se realizó una búsqueda exhaustiva de trabajos sobre aderezadoras en Andalucía, con el objetivo de conocer, en primer lugar, en qué consistía el proceso de aderezo y qué efluentes contaminantes o residuos sólidos se generaban en cada parte del proceso, así como la cantidad y composición de los mismos; en segundo lugar, conocer cómo se podía mejorar la economía circular del proceso, en cuanto a reducción y eliminación de los efluentes, y valorización de subproductos. Y, por último, que medidas se habían abarcado hasta la fecha y cuáles eran más prometedoras desde el punto de vista económico y ambiental.

Para el desarrollo de esta revisión sistemática, se realizó una detallada búsqueda literaria electrónica. Para ello, se utilizaron diferentes combinaciones de las siguientes palabras clave: *aceitunas verdes, plantas de aderezo, aderezadora, entamadora, cocido, lejías, salmueras, fermentación, reutilización, regeneración, eliminación, balsas, reducción, recuperación, envasado, lavado, vertido, efluente*, entre otros.

Las bases de datos y buscadores en las que se llevaron a cabo las búsquedas fueron: *AENORMás, e-REDING, Dialnet, SciFinder, Catálogo Fama, BOE Legislación y Google Académico, entre otros.*

Gran parte de los artículos utilizados para realizar esta investigación pertenecen a la revista *Grasas y Aceites*.

En las búsquedas no se limitó el período temporal, recogándose todos los documentos incluidos en las bases de datos hasta la fecha, escritos tanto en español como en inglés.

Para la selección de los estudios se tuvo en cuenta que estuviesen estrictamente relacionadas con aceitunas verdes, específicamente variedades “Gordal” y “Manzanilla”, que son las que se abarcan en este proyecto, ya que muchos estudios hacen investigaciones sobre las medidas de reducción y eliminación de efluentes en otro tipo de aceitunas, con diferentes características a las tratadas en la planta objeto de investigación.

Una vez leídos los artículos completos, se seleccionaron los artículos finales para el análisis, incluidos en la bibliografía de este estudio (ver apartado 10).

7.2. Materiales

Se describen a continuación los materiales necesarios en el caso de aplicar las medidas propuestas.

Tratamiento de cocido con lejías refrigeradas a 18° C

En primer lugar, para llevar a cabo el tratamiento de cocido a 18°C se necesitarían (Jaramillo Carmona et al., 2011):

- Depósitos horizontales especiales para el cocido de aceitunas, fabricado en poliéster reforzado con fibra de vidrio de 16 m³, lo que equivale a una capacidad de 10 toneladas de aceitunas. (5 unidades).

- NaOH comercial y agua para preparar las lejías a 1,6%.
- Equipo de frío VNEA 120-2S de la casa *Plusinox*
La enfriadora consiste en dos compresores de 60 CV tipo semihermético alternativo, condensada por aire y con una potencia frigorífica de 198 KW.

Reutilización de las lejías

En el caso de reutilizar las lejías (Garrido Fernández et al., 1977), se requiere:

- NaOH comercial para añadir a las lejías residuales después de cada cocido.
- Bomba.
- Depósito auxiliar.

Reducción de lavados

Para la reducción de lavados bastaría con el agua necesaria para un solo lavado.

Regeneración de salmueras para su envasado

Los equipos necesarios para aplicar el tratamiento de regeneración de salmueras son (Carbonell Alcaina, 2017):

- Equipo de filtración.
- Equipos de UF y NF.
- Equipo de A/D.

-
- Equipo de evaporación.
 - Sal bruta y agua para añadir a las salmueras.

Valorización de subproductos

Los índices de producción y usos de los subproductos a valorizar se elaboraron a partir de los resultados obtenidos en las encuestas realizadas al sector por Callejo López et al. (2015).

El objetivo de estas encuestas fue obtener información sobre la producción y destinos de los subproductos, así como otros datos de interés como la humedad y los precios de venta de los mismos.

Para la realización de las encuestas se elaboraron cuestionarios específicos para cada tipo de agroindustria, entre las cuales estaban incluidas las entamadoras.

El principal medio empleado para contactar con las empresas y realizar las encuestas fue el correo electrónico. Los cuestionarios cumplimentados se recibieron mayoritariamente por correo electrónico, y en menor medida por fax. Asimismo, se cumplimentaron cuestionarios telefónicamente en los casos que fue necesario completar el tamaño de muestra representativo, como en el caso de las extractoras y entamadoras.

En cuanto al periodo de referencia de las encuestas, se consideraron representativas de las campañas 2011/12, 2012/13 y 2013/14, a efectos del análisis y estimación realizados, teniendo en cuenta que en ellas se solicitaba información media de las últimas campañas, y éstas se realizaron entre mayo y julio de 2014.

7.3. Metodología

7.3.1. Tratamiento de cocido con lejías a 18° C

El cocido se realizará en cocederos de 10.000 kg de capacidad, con una disolución de NaOH 1,6% a 18°C, durante 7 horas, según las condiciones expuestas por Jaramillo Carmona et al. (2011).

En primer lugar, se procede a preparar las disoluciones de lejía necesarias a 1,6 %. Los cálculos necesarios están detallados en el ANEXO III.

El descenso de temperatura se realizará con el equipo propuesto para tal fin, tanto para las lejías nuevas, como para las reutilizadas.

El ajuste de la concentración de la lejía se lleva a cabo para que, según la temperatura empleada, el cocido tenga la energía adecuada para obtener un producto final de buena calidad.

El tiempo necesario para un adecuado cocido se determina en cada partida midiendo el grado de penetración del hidróxido sódico en la pulpa de la aceituna.

7.3.2. Reutilización de las lejías de cocido, reducción de dos lavados a un solo lavado y posterior eliminación en balsas de evaporación

El proceso propuesto para la reducción de los efluentes contaminantes procedentes de las lejías de cocido es su reutilización y posterior eliminación en balsas de evaporación.

A medida que la lejía se reutiliza su carga contaminante aumenta por lo que sería aconsejable someterla a procesos de filtración, microfiltración o decantación, proceso que se realiza en un depósito auxiliar.

Para llevar a cabo su reutilización basta con adicionar la sosa necesaria para ajustar la concentración de la lejía residual a la concentración de la lejía del proceso de cocido.

De la bibliografía se conoce que la concentración de la lejía de cocido varía entre 1,3-2,6% y se generan 0,5 L por kg de aceituna producido.

Por otro lado, según el estudio de Carbonell Alcaina (2017), la concentración de lejía residual varía entre 0,7 – 1 %.

En este estudio, se van a considerar 7 reutilizaciones, por ser una práctica que ya realizan muchas empresas, teniendo en cuenta que la capacidad de cada depósito donde se realiza el cocido (cocederas) es de 10.000 kg de aceituna (Sánchez Gómez et al., 2006).

Una vez reutilizadas, el efluente sobrante se elimina vertiéndose a la balsa de evaporación.

El proceso propuesto para la reducción de las aguas de lavado consiste en reducir de dos lavados a un solo lavado más largo, de unas 12-15 horas.

De esta manera se generan 0,5 L por kg aceituna producido, que también serán vertidos a la balsa de evaporación.

Para determinar las dimensiones de la balsa de evaporación, una vez conocido el volumen total de efluentes, se va a seguir el procedimiento descrito en el ANEXO II.

7.3.3. Regeneración de salmueras para el envasado

A partir de la revisión bibliográfica inicial sobre las técnicas estudiadas para la separación de compuestos fenólicos presentes en corrientes líquidas residuales, generadas durante el procesado de la aceituna, se propone el proceso descrito en el proyecto de Carbonell Alcaina (2017).

En esta medida se propone realizar la implantación de un proceso de membranas (UF y NF) seguido de una etapa de adsorción con resinas en vista a tratar las aguas residuales procedentes de la salmuera de fermentación para así recuperar los compuestos fenólicos (HT y T) de alto valor añadido en el mercado. Además, cuenta con un proceso de evaporación para concentrar los compuestos fenólicos, después de la etapa de desorción, utilizando etanol como disolvente orgánico.

De esta manera se obtiene una salmuera regenerada, apta para utilizarse en el envasado.

En la Ilustración 7.1 se muestra un esquema del tratamiento.

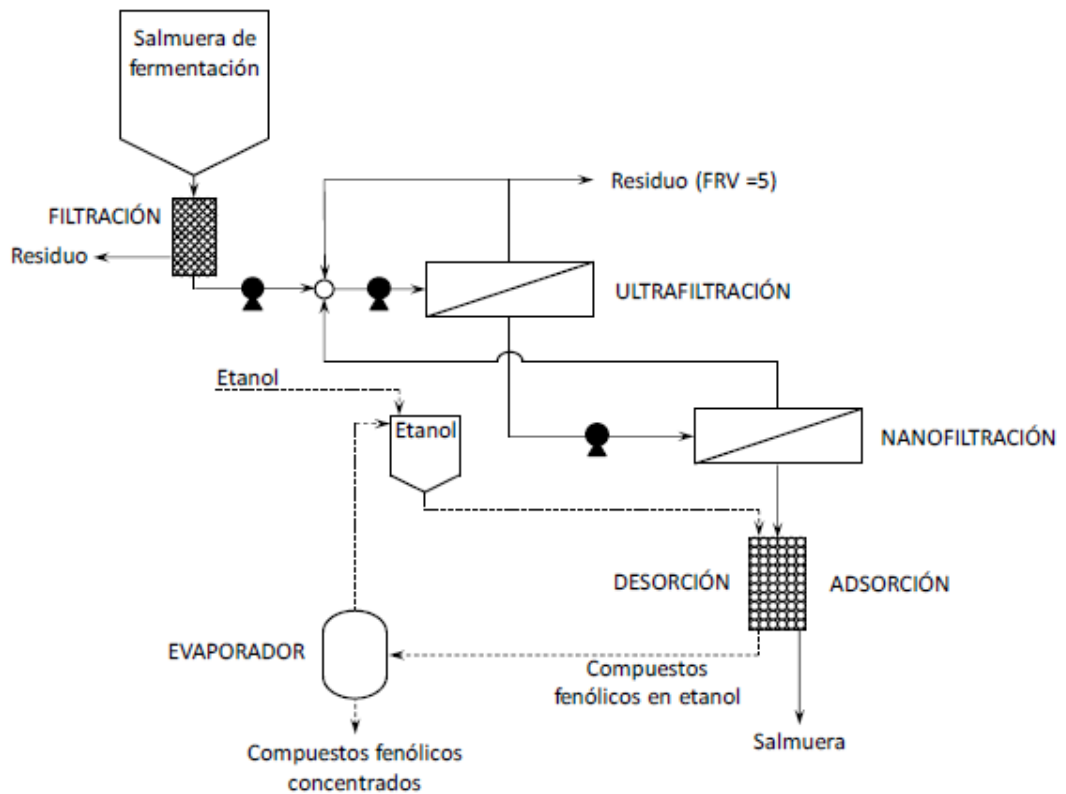


Ilustración 7.1. Medida propuesta para la regeneración de salmuera.
(Carbonell Alcaina, 2017)

En primer lugar, y con el fin de proteger los equipos de UF, se estudió el efecto de un pretratamiento mediante filtración con cartuchos, con el objeto de eliminar posibles restos sólidos de gran tamaño, que acompañan a dichos efluentes, como son residuos de pulpa de aceitunas y restos de huesos.

En la etapa de UF, la corriente de rechazo separa compuestos orgánicos no deseados de alto peso molecular, mientras que la corriente de permeado contiene parte de los compuestos fenólicos presentes en la disolución salina.

En la tesis doctoral de Carbonell Alcaina (2017), se trató un volumen de 40 m³ al día de salmuera residual, y tras este proceso se obtuvo un permeado de 32 m³, y un rechazo de 8 m³.

En la etapa de NF se trata este permeado para obtener una mayor pureza de compuestos fenólicos en la nueva corriente de permeado. Por tanto, en la corriente de permeado final se obtiene una corriente salina con un elevado contenido en compuestos fenólicos y un bajo contenido del resto de materia orgánica.

Finalmente, el permeado obtenido en la etapa de NF, se somete a un proceso de adsorción con resinas, con el objeto de separar los compuestos fenólicos de la sal y del resto de compuestos presentes.

Las resinas utilizadas en la adsorción poseen la ventaja de que son reutilizables; para este tipo de agua residual, estas resinas se podían regenerar más de 10 veces, con una pérdida de eficiencia inferior al 5% (Ferrer-Polonio et al., 2016). Por lo que se consideran 10 ciclos de reutilización.

Tal y como se comentó, la desorción se realiza con etanol. Para ello, se consideró, a partir de los resultados experimentales realizados por Carbonell Alcaina (2017), que el volumen de etanol para la desorción debía ser el mismo que el utilizado en la adsorción, es decir, 32 m³.

Por último, se implantó una etapa de evaporación con el fin de reducir el volumen de etanol y concentrar los compuestos fenólicos en la disolución. Esto además de facilitar el transporte, reduciría el volumen de etanol consumido, permitiendo la reutilización de una parte. De la práctica se contempla una reducción del volumen de etanol del 80%.

Considerando una eficacia de desorción del 90%, la recuperación de compuestos fenólicos resulta de $608.6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, lo que supondría aproximadamente $19.5 \text{ kg}\cdot\text{día}^{-1}$ de una mezcla de compuestos fenólicos (HT y T), con una riqueza del 97%.

Tras finalizar el proceso, se obtiene una salmuera regenerada de $40 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ apta para su envasado; basta con que cumpla con las condiciones de sal necesarias para su conservación, esto es 8%. Para ello, se añade la sal y el agua necesarias.

En este procedimiento no se va a realizar el seguimiento de la acidez de las disoluciones.

Es importante destacar, para futuros cálculos, que el volumen necesario para el envasado de las aceitunas de mesa resulta superior al volumen de salmuera desechada (Garrido Fernández et al., 1992).

De acuerdo con estos autores, una empresa que deseche unos 20 m^3 de salmuera residual requerirá unos 35 m^3 para el envasado.

7.3.4. Valorización de los subproductos

Los subproductos a valorizar son, por un lado, el hojín y, por otro lado, los huesos de las aceitunas y las aceitunas de destrío.

La metodología utilizada en la investigación de Callejo López et al. (2015) para estimar el balance de la producción y usos de los subproductos se basó en el empleo de índices que relacionan la cantidad de materia prima de entrada con la cantidad de subproducto generada y empleada en los diferentes usos.

Estos índices se elaboraron para cada tipo de agroindustria y subproductos a partir de los resultados obtenidos por las encuestas realizadas por estos autores.

La estimación de la producción de subproductos a nivel de agroindustria se realiza mediante la expresión:

$$\text{Subproducto} = I_p \times \text{Entrada de materia prima} \quad (1)$$

Donde:

Subproducto: es la cantidad de subproducto generado (unidades de masa)

I_p : índice de producción del subproducto (adimensional)

Entrada de materia prima: cantidad de materia prima de entrada (unidades de masa)

El I_p es específico de cada subproducto y agroindustria y se ha calculado como la relación entre la producción del mismo y la cantidad de materia prima de entrada que se ha obtenido como media de las encuestas realizadas.

Por otro lado, el cálculo de la cantidad dedicada al uso se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Uso subproducto} = I_U \times \text{Subproducto} \quad (2)$$

Donde:

Uso subproducto: cantidad de subproducto dedicado a un uso concreto (unidades de masa)

Subproducto: es la cantidad de subproducto generado (unidades de masa)

I_u : índice de uso del subproducto (adimensional)

En resumen, de la ecuación (1) se calculó la cantidad de hojín destinado a valorizarse, y de la ecuación (2) la cantidad de hojín que se destina a los diferentes usos por las diferentes entamadoras encuestadas.

En el caso de las aceitunas de destrío y los huesos de aceitunas el porcentaje de producción fue calculado por Callejo López et al. (2015) como la diferencia entre la entrada de aceituna cruda y la aceituna de salida transformada, y fue de 5,6%.

Los datos correspondientes a los precios unitarios según el uso se han obtenido de la misma bibliografía.

Con todos estos datos se han evaluado la reducción de residuos sólidos que supone la valorización del hojín y el ingreso económico que supone para la entamadora.

Por otro lado, se ha evaluado esta valorización en términos de potencial energético, a partir de la cantidad de hojín y su poder calorífico inferior, PCI en adelante.

Conocido este potencial, se ha calculado su equivalencia en producción eléctrica y se ha hecho una comparativa al consumo de hogares, además de una estimación del ahorro de emisiones de GEI tomando como referencias las emisiones de un ciclo combinado, si el uso del hojín como biomasa se destinara a fines eléctricos, y del gasóleo C, en caso de fines térmicos. Ver ANEXO XVIII.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue presentar diferentes estrategias de economía circular en un proyecto de una entamadora de 2.000.000 kg de aceitunas de producción anual, localizada en el municipio de Aznalcóllar.

Su proceso productivo se basó en una economía lineal; es decir, no cerró el ciclo de vida de los productos, residuos o el agua.

A lo largo del proyecto se han ido desarrollando cada una de las medidas circulares propuestas, así como las justificaciones teóricas o prácticas necesarias que corroboren las mejoras en el proceso y el ahorro económico o medioambiental que suponen.

Los resultados indican que la realización de una economía circular en la planta de aderezo objeto de estudio es viable, pues tras aplicar las medidas propuestas se evidencian las hipótesis descritas.

Los resultados generales, que se detallarán en este apartado, son los siguientes: (Ver Tabla 8.1)



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



| Descripción | Método tradicional | Coste | Aplicando medidas | Coste | Ahorro material/efluente | Ahorro económico | Observaciones |
|---|---------------------|-------------|---|--------------|--------------------------|---------------------|--|
| TRATAMIENTO DE COCIDO CON LEJÍAS A 18º C | | | | | | 50.600 € | - |
| NaOH necesaria para lejías de cocido | 20.000 kg | 253.000 € | 16.000 kg | 202.400 € | 4.000 kg | 50.600 € | - |
| Equipos complementarios | - | - | Equipo de refrigeración | - | - | - | - |
| REUTILIZACIÓN DE LEJÍAS Y REDUCCIÓN DE LAVADOS | | | | | | 137.675,25 € | - |
| NaOH necesaria para lejías de cocido | 20.000 kg | 253.000 € | 9.262,5 kg | 117.171,62 € | 10.737,5 kg | 135.828,37 € | - |
| Agua para las lejías | 1000 m ³ | 985 € | 125 m ³ | 123,15 € | 875 m ³ | 861,87 € | - |
| Agua para los lavados | 2000 m ³ | 1970 € | 1000 m ³ | 985 € | 1000 m ³ | 985 € | - |
| Otras operaciones | 275 m ³ | 270,87 | 275 m ³ | 270,87 € | - | 0 | Las aguas procedentes de los baldeos, limpieza de fondos y de la máquina de desrabado permanecen inalterables. |
| Aguas residuales a la balsa | 3275 m ³ | - | 1400 m ³ | - | 1875 m ³ | - | - |
| Equipos complementarios | - | - | Bomba y depósito auxiliar. | - | - | - | - |
| REGENERACIÓN DE SALMUERAS | | | | | | 457.108 € | - |
| NaCl para fermentación | 100.000 kg | 1.276.000 € | 100.000 kg | 1.276.000 € | 0 | 0 | Las salmueras regeneradas no se pueden utilizar en la fermentación. |
| Agua para fermentación | 1000 m ³ | 985 | 1000 m ³ | 985 € | 0 | 0 | Idem. |
| NaCl para conservación | 40.000 kg | 510.400 € | 40.000 kg | 510.400 € | 0 | 0 | - |
| NaCl para envasado | 140.000 kg | 1.786.400 € | 108.000 kg | 1.378.080 € | 32.000 kg | 408.320 € | - |
| Agua para el envasado | 1750 m ³ | 1723,75 | 950 m ³ | 935,75 € | 800 m ³ | 788 € | - |
| Salmueras residuales | 1000 m ³ | 50.000 | 200 m ³ | 2000 € | 800 m ³ | 48.000 € | Se ha considerado vertido a la red de alcantarillado |
| Equipos | - | - | Equipo de filtración, UF, NF, A/D y evaporación | 323.362 € | - | - | Se ha considerado el ahorro de etanol si se reutiliza en su totalidad. |
| INGRESOS | - | - | 323.362 € | - | - | - | Venta de la mezcla de HT y T en el mercado |
| VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS | | | | | | +8768,42 € | Ingresos totales |
| HOJÍN | - | - | 34.588 kg | - | - | - | Venta para generación eléctrica |
| Ingresos | - | - | 574,50 € | - | - | - | - |
| Potencial energético | - | - | 8,16 tep·año ⁻¹ | - | - | - | - |
| Producción eléctrica | - | - | 20,5 MWh·año ⁻¹ | - | - | - | - |
| Ahorro emisiones GEI fines eléctricos | - | - | 7,79 tCO ₂ ·año ⁻¹ | - | - | - | - |
| Ahorro emisiones GEI fines térmicos | - | - | 24,98 tCO ₂ ·año ⁻¹ | - | - | - | - |
| ACEITUNAS DE DESTRÍO Y HUESOS | - | - | 112.000 kg | - | - | - | Venta a las almazaras, para entrar en el proceso de obtención de aceite de oliva |
| Ingresos | - | - | 8193,92 € | - | - | - | - |

Tabla 8.1. Cuadro-resumen de los resultados obtenidos.
(Elaboración propia)



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



Haciendo una comparativa minuciosa con la investigación de Mateos Martín (2016), la cual no abordó ninguna práctica circular, se procede a evaluar cada uno de los resultados procedentes de aplicar dichas medidas propuestas desde el punto de vista del proceso, económico y ambiental.

8.1. Tratamiento con lejías de cocido a 18 °C

Al realizar el cocido con lejía fría se obtienen unos tratamientos más favorables en textura y ausencia de vejigas; además, se suprime el reposo previo de la variedad “Manzanilla” por lo que disminuyen la cantidad de frutos alambrados, rotos y molestados.

En la revisión bibliográfica se mencionó que Jaramillo et al. (2011) llevaron a cabo cuatro tratamientos. En el presente trabajo se ha elegido el más favorable por los motivos que se justifican a continuación.

Como se indicó en el apartado 3.3, estos autores llevaron a cabo cuatro tratamientos:

Tratamiento R. Reposo 48 horas + Cocido a temperatura ambiente.

Tratamiento R + F. Reposo 48 horas + Cocido a 18°C.

Tratamiento P. Precocido + Cocido a 18°C.

Tratamiento F. Cocido a 18°C.

En la Tabla 8.2 se muestran las características de los procesos previos y cocidos de cada tratamiento.

| Tratamiento | Reposo o precocido | | | Cocido | | |
|---------------------|--------------------|------------|------------------|-------------|------------|------------------|
| | NaOH (%p/v) | Tiempo (h) | Temperatura (°C) | NaOH (%p/v) | Tiempo (h) | Temperatura (°C) |
| Reposo (R) | - | 48 | Ambiente | 1,56 ± 0,04 | 7,0 ± 0,4 | 25 ± 1,2 |
| Reposo + Frío (R+F) | - | 48 | Ambiente | 1,56 ± 0,02 | 7,7 ± 0,6 | 18 ± 1,6 |
| Precocido (P) | 0,24 ± 0,0 | 3,0 ± 0,0 | 25 ± 0,8 | 1,56 ± 0,01 | 7,3 ± 0,6 | 18 ± 0,8 |
| Frío (F) | - | - | - | 1,60 ± 0,20 | 7,0 ± 0,1 | 18 ± 1,1 |

Tabla 8.2. Características de los procesos previos y cocidos de cada tratamiento.
Valor medio ± error estándar de cuatro medidas
(Jaramillo Carmona et al., 2011)

Tras el cocido en los diferentes tratamientos se realizó un lavado con agua y, pasado el tiempo necesario, las aceitunas fueron colocadas en las salmueras de fermentación.

Durante la fermentación se realizó un análisis microbiológico y se cuantificaron los valores de pH, acidez combinada y acidez libre.

Finalizada la fermentación, se analizó la calidad del producto final, refiriéndose a la cantidad de aceitunas molestadas, alambradas y rotas en los cuatro tratamientos.

8.1.1. Evolución del pH durante la fermentación

En el apartado 5.8.7 ya se mencionó que es importante alcanzar valores de pH inferiores a 4,5 en el menor tiempo posible, ya que dicho valor inhibe el desarrollo de bacterias alterantes, tanto las responsables del alambrado como de otras alteraciones.

Como se observa en la Tabla 8.3 el tratamiento que antes alcanza este valor es el Tratamiento F.

No obstante, en todos los casos todos los valores de pH son aptos para una adecuada conservación del producto.

| Días | Reposo (R) | Reposo + Frío (R+F) | Precocido (P) | Frío (F) |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| pH | | | | |
| 1 | 7,53 ± 0,60a | 7,46 ± 0,09a | 7,92 ± 0,07a | 8,70 ± 0,60b |
| 5 | 5,63 ± 0,10ab | 5,46 ± 0,08a | 5,71 ± 0,1bc | 5,79 ± 0,06c |
| 10 | 5,42 ± 0,04a | 4,82 ± 0,14a | 4,83 ± 0,17a | 4,89 ± 0,62a |
| 15 | 4,52 ± 0,04a | 4,77 ± 0,23ab | 4,74 ± 0,06ab | 4,58 ± 0,14b |
| 25 | 4,55 ± 0,05a | 4,68 ± 0,16ab | 4,75 ± 0,03b | 4,59 ± 0,12ab |
| 35 | 4,51 ± 0,02a | 4,69 ± 0,04b | 4,69 ± 0,02b | 4,52 ± 0,09a |
| 50 | 4,43 ± 0,04a | 4,62 ± 0,30a | 4,59 ± 0,09a | 4,45 ± 0,06a |
| 80 | 4,22 ± 0,05a | 4,55 ± 0,03b | 4,39 ± 0,08c | 4,28 ± 0,02a |
| 120 | 4,06 ± 0,05a | 4,52 ± 0,08c | 4,24 ± 0,06b | 4,12 ± 0,05ab |
| 160 | 3,91 ± 0,01a | 4,22 ± 0,1b | 4,18 ± 0,07a | 3,98 ± 0,07a |
| 200 | 3,91 ± 0,01a | 4,10 ± 0,09b | 3,95 ± 0,03a | 3,89 ± 0,05a |
| 240 | 3,80 ± 0,02a | 4,22 ± 0,27b | 3,80 ± 0,06a | 3,75 ± 0,05a |

Tabla 8.3. Evolución de los valores de pH en la fermentación.
Valor medio ± error estándar de cuatro medidas. En cada efecto, los valores de una columna con letras diferentes son significativamente distintos ($p < 0,05$)
(Jaramillo Carmona et al., 2011)

8.1.2. Evaluación de la acidez combinada

Los resultados de acidez combinada fueron semejantes en los cuatro ensayos y dentro de los márgenes adecuados, indicando que tanto el cocido como el lavado fueron adecuados (Ver Tabla 8.4).

Según la bibliografía el valor de acidez combinada debe ser inferior a 0,12 N.

| Días | Reposo (R) | Reposo + Frío (R+F) | Precocido (P) | Frío (F) |
|---|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Acidez combinada / eq·L⁻¹ | | | | |
| 10 | 0,096 ± 0,006a | 0,110± 0,006a | 0,093± 0,001a | 0,093± 0,004a |
| 25 | 0,095 ± 0,002a | 0,112± 0,003a | 0,096± 0,011a | 0,093± 0,003a |
| 50 | 0,093 ± 0,002a | 0,109± 0,003a | 0,105± 0,004a | 0,085± 0,001a |
| 125 | 0,086 ± 0,003a | 0,108± 0,003b | 0,095± 0,001ab | 0,080± 0,003a |
| 200 | 0,084 ± 0,004a | 0,100± 0,002b | 0,091± 0,001ab | 0,079± 0,001a |
| 240 | 0,081 ± 0,002a | 0,099± 0,002a | 0,088± 0,003a | 0,093± 0,080a |

Tabla 8.4. Evolución de la acidez combinada en la fermentación expresado en eq·L⁻¹. Valor medio ± error estándar de cuatro medidas. En cada efecto, los valores de una columna con letras diferentes son significativamente distintos (p<0,05) (Jaramillo Carmona et al., 2011)

8.1.3. Evaluación de la acidez libre

En la Ilustración 8.1 se observa un aumento exponencial durante los primeros 25 días de fermentación hasta alcanzar un valor de 0,4% debido al descenso de pH. Posteriormente continuó aumentando, pero de forma más lenta y variable entre los diferentes tratamientos hasta el final de la fermentación.

A excepción del tratamiento R + F, las salmueras alcanzaron en los diferentes tratamientos los valores adecuados para su conservación (0,7 – 1% acidez).

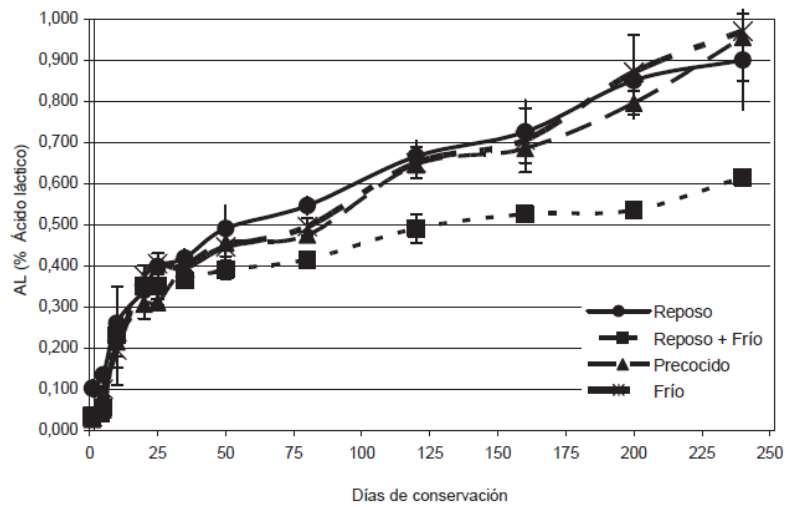


Ilustración 8.1. Evaluación de la acidez libre expresado en % de ácido láctico. (Jaramillo Carmona et al., 2011)

8.1.4. Evolución de la población microbiana

En la Tabla 8.5 se indica la presencia de BAL y levaduras necesarias para llevar a cabo el proceso fermentativo sin que se puedan establecer diferencias entre los tratamientos.

| Días | Reposo (R) | Reposo + Frío (R+F) | Precocido (P) | Frío (F) |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| BAL / ufc·mL⁻¹ | | | | |
| 10 | >1,0 x 10 ⁶ | >1,0 x 10 ⁶ | >1,0 x 10 ⁶ | >1,0 x 10 ⁶ |
| 35 | 1,0 x 10 ⁶ | 1,0 x 10 ⁶ | 1,0 x 10 ⁶ | 2,0 x 10 ⁶ |
| 160 | 2,0 x 10 ⁶ | 2,0 x 10 ⁶ | 2,5 x 10 ⁶ | 2,5 x 10 ⁶ |
| 240 | 3,1 x 10 ⁶ | 2,5 x 10 ⁶ | 2,8 x 10 ⁶ | 3,0 x 10 ⁶ |
| Levaduras / ufc ·mL⁻¹ | | | | |
| 10 | 4,1 x 10 ³ | 3,1 x 10 ³ | 4,0 x 10 ³ | 4,0 x 10 ³ |
| 35 | 7,6 x 10 ⁴ | 1,0 x 10 ⁴ | 7,0 x 10 ⁴ | 7,0 x 10 ⁴ |
| 160 | 2,3 x 10 ⁴ | 3,7 x 10 ⁴ | 5,0 x 10 ⁵ | 1,0 x 10 ⁵ |
| 240 | 1,8 x 10 ⁵ | 1,0 x 10 ⁵ | 2,0 x 10 ⁶ | 2,0 x 10 ⁵ |

Tabla 8.5. Evaluación de la población microbiana en la población expresado en unidades formadoras de colonias por mL. (Jaramillo Carmona et al., 2011)

8.1.5. Evaluación de la calidad del producto final

8.1.5.1. Aceitunas molestadas

En la Ilustración 8.2 se muestra un aumento importante en el porcentaje de aceituna molestada registrado durante el período de reposo (Tratamiento R).

En el tratamiento P y en el tratamiento F el molestado escasamente fue superior al 5%.

En el tratamiento R + F el porcentaje de frutos molestados superó el 20%, alcanzándose incluso el 25%. Aunque el tratamiento de cocido y posterior fermentación hace disminuir el porcentaje de aceitunas inicialmente manchadas, la cantidad de éstas al final del proceso fermentativo siguió siendo significativamente superior cuando hay reposo con respecto a los otros dos tratamientos.

El tratamiento con mejores resultados fue el tratamiento F con sólo un 4% de aceitunas molestas (96% aceitunas de primera categoría) y un % menor de aceitunas molestadas tras la fermentación respecto al % inicial.

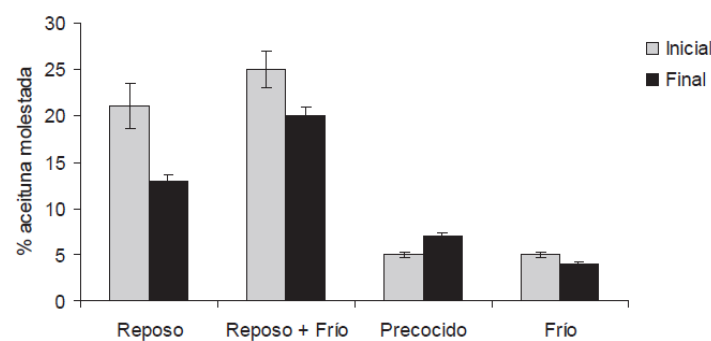


Ilustración 8.2. Porcentaje de aceitunas molestadas antes del cocido (*inicial*) y después de la fermentación (*final*).
(Jaramillo Carmona et al., 2011)

8.1.5.2. Aceitunas alambradas

En la Ilustración 8.3 se observa de forma clara que el Tratamiento F es el que obtiene menor porcentaje de aceitunas alambradas. La mayoría de los frutos se incluyeron dentro de las categorías extras y primera.

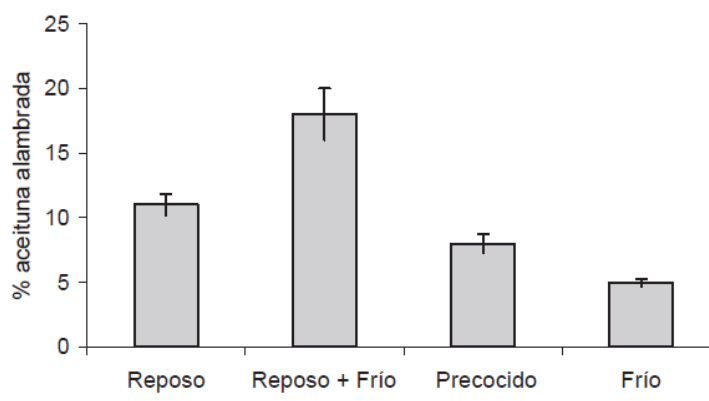


Ilustración 8.3. Porcentaje de aceitunas alambradas al final de la fermentación. (Jaramillo Carmona et al., 2011)

8.1.5.3. Aceitunas rotas al deshuesar

En la Tabla 8.6 se observa que el tratamiento con menos porcentaje de pulpa perdida y aceitunas rotas es el tratamiento F.

| | % Pulpa en hueso | % Aceitunas rotas |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| Reposo | 8,1 ± 0,6a | 1,9 ± 0,7a |
| Reposo + Frío | 11,6 ± 0,7b | 4,1 ± 0,9b |
| Precocido | 8,4 ± 0,5a | 1,9 ± 0,8a |
| Frío | 7,5 ± 0,4a | 1,4 ± 0,3c |

Tabla 8.6. Porcentaje de pulpa perdida y aceitunas rotas al deshuesar. Valor medio ± error estándar de cuatro medidas. En cada efecto, los valores de una columna con letras diferentes son significativamente distintos ($p < 0,05$) (Jaramillo Carmona et al., 2011)

Además de todos los beneficios expuestos anteriormente, aplicar un cocido a 18°C supone un ahorro de NaOH de 4.000 kg anuales, frente a aplicar un cocido tradicional a 25°C y 2% de NaOH, método llevado a cabo en el trabajo de Mateos Martín (2016). (Ver ANEXO IV).

Todo lo expuesto anteriormente, justifica la elección del Tratamiento F.

8.2. Reutilización de lejías, reducción de dos a un solo lavado y posterior eliminación en balsas de evaporación

La planta diseñada en el trabajo de Mateos Martín (2016) genera un volumen de efluentes de 3275 m³·año⁻¹. El volumen total de efluentes ha sido calculado de forma detallada en el ANEXO I.

Al reutilizar las lejías y reducir los lavados, tal y como se observa en la Tabla 8.7 se produce una disminución del efluente contaminante, destinado a evaporarse en la balsa, y cuyo valor es de 1400 m³·año⁻¹, lo que significa una reducción de 1875 m³·año⁻¹, es decir, un 57,25% menos.

Todo lo anterior, implica un descenso en el consumo de agua y de NaOH, así como en el tamaño de la balsa, que puede ser redimensionada.

En concreto, al llevar a cabo estas dos medidas de reutilización y reducción se ahorran 875 m³ de agua y 10.737 kg de NaOH anuales para preparar las lejías, y 1000 m³ de agua para los lavados.

Los cálculos referentes al consumo, ahorros y generación de efluentes contaminantes, aplicando y sin aplicar las medidas propuestas, se han detallado en el ANEXO I y del ANEXO III al ANEXO VII.

En la Tabla 8.7 se recoge todo lo descrito en los párrafos anteriores:

| Tipos de aguas de proceso | Método tradicional | Método propuesto | Ahorro | %Ahorro |
|--|--------------------|------------------|-----------------|---------------|
| Cocido / m ³ | 1000 | 125 | 875 | 87,5% |
| Lavado / m ³ | 2000 | 1000 | 1000 | 50% |
| Eliminación de fondos / m ³ | 100 | 100 | - | - |
| Clasificado / m ³ | 50 | 50 | - | - |
| Baldeos / m ³ | 125 | 125 | - | - |
| TOTAL / m³ | 3275 | 1400 | 1875 | 57,25% |
| NaOH cocido / kg | 20.000 | 9262,5 | 10.737,5 | 53,69% |

Tabla 8.7. Cálculo del ahorro de sosa y agua aplicando las medidas propuestas.
(Elaboración propia)

Por otro lado, la evaluación económica ha permitido identificar, según la Tabla 8.8, que de aplicar estas dos medidas circulares se produce un ahorro económico total anual de 137.675,25 €, lo que supone un ahorro del 54%.

Para realizar dicho balance económico, tal y como se ha descrito en el ANEXO IX, se ha tenido en cuenta como coste de suministro de agua 0,985 €·m⁻³ (BOP, 2019) y 12,65 €·kg⁻¹ el coste del NaOH (Panreac, España).

En primer lugar, el suministro de agua tiene un coste de 3225,87 € anuales en caso de no aplicar las medidas propuestas; si se aplican estas medidas este coste desciende a 1379 € al año, lo que supone un ahorro de 1846,87 €·año⁻¹.

Del mismo modo, la reducción de NaOH como materia prima para preparar las lejías se traduce en un ahorro de 135.828,37 € anuales.

El coste de construcción de la balsa no se ha considerado en este estudio, aunque es evidente que, al disminuir el volumen de vertido a evaporar, puede ser redimensionada, lo que conllevaría a una disminución de costes.

| | MÉTODO TRADICIONAL | | | MÉTODO PROPUESTO | | AHORRO |
|--------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| | €·m ⁻³ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| Agua | 0,985 | 3275 | 3225,87 | 1400 | 1379 | 1846,87 |
| Balsa | - | 12.314 | - | 5405 | - | - |
| | €·kg ⁻¹ | Kg· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | Kg· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| NaOH | 12,65 | 20.000 | 253.000 | 9262,5 | 117.171,62 | 135.828,37 |
| | | | 256.225,87 | TOTAL | 118.550,62 | 137.675,25 |

Tabla 8.8. Cálculo del ahorro económico al reutilizar las lejías refrigeradas y reducir los lavados.
(Elaboración propia)

La Tabla 8.9 recoge las dimensiones de las balsas necesarias para albergar el efluente a evaporar.

En el ANEXO II se ha justificado lo siguiente:

- Elección de una balsa con forma de prisma trapezoidal de base cuadrada.
- Determinación de la altura total a partir de la altura de resguardo, altura de vertido y altura de precipitación.
- Determinación del volumen a partir de la fórmula geométrica del volumen de un prisma trapezoidal de base cuadrada.

| Dimensiones de la balsa | METODO TRADICIONAL | METODO PROPUESTO | AHORRO | %AHORRO |
|--------------------------|--------------------|------------------|-------------|------------|
| H _{total} (m) | 1,76 | 1,73 | | |
| A ¹⁷ (mxm) | 80,1 x 80,1 | 52,4 x 52,4 | | |
| B ¹⁸ (mxm) | 87,14 x 87,14 | 59,32 x 59,32 | | |
| Volumen / m ³ | 12.314 | 5405 | 6909 | 56% |

Tabla 8.9. Dimensiones de las balsas de evaporación.
(Elaboración propia)

¹⁷ Dimensiones de la base menor

¹⁸ Dimensiones de la base mayor

8.3. Regeneración de salmueras para el envasado

Con respecto a la medida propuesta de regeneración de salmueras, los datos de la Tabla 8.10 recogen que se ahorraría hasta 32.000 kg de sal anualmente (23% de ahorro) así como 800 m³ de agua al año (46% de ahorro).

Los cálculos correspondientes a los valores de la Tabla 8.10 se encuentran detallados del ANEXO X al ANEXO XIII.

| | NaCl/kg ³ ·año ⁻¹ | Agua/m ³ · año ⁻¹ |
|--|---|---|
| Fermentación | 100.000 | 1000 |
| Conservación | 40.000 | - |
| Envasado sin reutilización de salmueras | 140.000 | 1750 |
| Envasado con reutilización de salmueras | 108.000 | 950 |
| Ahorro | 32.000 | 800 |
| % Ahorro | 23 % | 46% |

Tabla 8.10. Cálculo del ahorro de agua y sal reutilizando la salmuera regenerada.
(Elaboración propia)

En la Tabla 8.11 se muestra el ahorro económico generado de reutilizar las salmueras regeneradas en el envasado, lo cual supone un ahorro derivado del consumo de agua (788 €·año⁻¹), del consumo de sal (408.320 €·año⁻¹) y del transporte y vertido de los efluentes generados (48.000 €·año⁻¹). Todo ello suma un ahorro total de 457.108 € anuales (ver Anexo XIV).

| | MÉTODO TRADICIONAL | | | MÉTODO PROPUESTO | | AHORRO |
|------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| | €·m ⁻³ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| Agua | 0,985 | 2750 | 2708,75 | 1950 | 1920,75 | 788 |
| Efluentes | 50/10 | 1000 | 50.000,00 | 200 | 2000,00 | 48.000,00 |
| | €·kg ⁻¹ | kg· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | kg· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| NaCl | 12,76 | 280.000 | 3.572.800 | 248.000 | 3.164.480 | 408.320 |
| | | | 3.625.508,75 | TOTAL | 3.168.400,75 | 457.108 |

Tabla 8.11. Cálculo del ahorro económico que supone reutilizar las salmueras regeneradas en el envasado.
(Elaboración propia)

Otros rasgos de interés son los relativos al coste de instalación de los equipos requeridos para llevar a cabo esta última medida.

En la Tabla 8.12 se muestran los resultados del coste total.

| Tipo de coste | Precio unitario/€·m ⁻³ | Volumen/m ³ ·año ⁻¹ | Coste total/€·año ⁻¹ |
|-----------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| Transporte + vertido | 10 | 200 | 2000 |
| Filtrado | 0,07 | 1000 | 70 |
| UF + NF | 11,34 | 1000 | 11.340 |
| Resinas | 147,44 | 800 | 117.952 |
| Etanol | 1200 | 800 | 960.000 |
| TOTAL | | | 1.091.362 |

Tabla 8.12. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años.
(Elaboración propia)

Cabe señalar que este cálculo se ha llevado a cabo utilizando los precios unitarios estimados en la tesis de Carbonell Alcaina (2017), detallados en el ANEXO XV, lo que supone un coste de inversión de 1.091.362 € con un período de amortización de 5 años.

Para llevar a cabo este cálculo, tal y como se describe en el Anexo correspondiente, se han tenido en cuenta los costes referentes a las etapas de transporte, filtración, UF, NF, el coste de las resinas de adsorción y los costes de etanol necesarios para la desorción.

La implantación de esta medida, supone dos grandes beneficios para la planta; por un lado, la regeneración de las salmueras para el envasado, que supone un ahorro de sal y de agua, ya explicado anteriormente; y, por otro lado, la recuperación de compuestos fenólicos de gran valor añadido que puede ser vendido al mercado y así abaratar los costes de los equipos.

Para estudiar si es viable implantar el sistema de membranas para tal fin, se impone como condición que el precio en el mercado de la mezcla de HT y T obtenida, sea como mínimo el coste de inversión del equipo (Ver ANEXO XVI).

Una primera estimación ha determinado que el precio de mercado de la mezcla de compuestos fenólicos debería de ser superior a $2.24 \text{ €}\cdot\text{g}^{-1}$.

Sin embargo, si se tiene en cuenta la reutilización del etanol recuperado en el proceso de evaporación, el coste total desciende a 323.362 € anuales, y de esta forma el precio de mercado debe ser al menos de $0,66 \text{ €}\cdot\text{g}^{-1}$. (Tabla 8.13)

Tal y como explica Carbonell Alcaína (2017) en su investigación, tras el proceso de evaporación el etanol se reduce en un 80% pudiéndose recuperar una parte. En esta investigación se va a considerar que se recupera en su totalidad.

Los gastos energéticos asociados al proceso de evaporación no se han tenido en cuenta en la siguiente tabla.

| Tipo de coste | Precio unitario/€·m ³ | Volumen/m ³ ·año ⁻¹ | Coste total/€·año ⁻¹ |
|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------------|
| Transporte + vertido | 10 | 200 | 2000 |
| Filtrado | 0,07 | 1000 | 70 |
| UF + NF | 11,34 | 1000 | 11.340 |
| Resinas | 147,44 | 800 | 117.952 |
| Etanol | 1200 | 160 | 192.000 |
| TOTAL | | | 323.362 |

Tabla 8.13. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años teniendo en cuenta el ahorro de etanol.
(Elaboración propia)

Se concluye, por tanto, que para el tratamiento propuesto sea rentable, la mezcla de HT y T en etanol obtenida debe venderse al menos a 660 €·kg⁻¹.

8.4. Valorización de los subproductos del proceso

La Tabla 8.14 muestra los valores de los índices de producción y uso obtenidos de las encuestas realizadas por Callejo López et al. (2015):

| | I _p | I _u Alimentación animal | I _u Generación eléctrica | I _u Incorporación a suelos | I _u Gestión residuo |
|--------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Hojín | 0,017 | 0,516 | 0,306 | 0,147 | 0,031 |
| Huesos | 0,056 | - | - | - | - |

Tabla 8.14. Índices de producción y uso de los subproductos.
(Callejo López et al., 2015)

Los valores de la Tabla 8.14 indican que se obtienen un 1,7% de hojas y ramas de la limpieza de las aceitunas que llegan a la planta, de los cuales, en Andalucía,

el 51,6% se usa para alimentación animal, el 30,6% para generación eléctrica, el 14,7% para incorporación a los suelos y el 3,1% se gestiona como residuo.

Por otro lado, el 5,6% de las aceitunas que se procesan corresponden a huesos y aceitunas de destrío.

En esta investigación se ha destinado el hojín a la generación de energía eléctrica, ya que, según la bibliografía su uso ha aumentado en los últimos años, debido a que las entamadoras y almazaras perciben ingresos por este destino, al contrario que por el resto.

Los huesos de aceitunas y aceitunas de destrío se venderán a las almazaras para formar parte del proceso de elaboración de aceite de oliva.

De estas encuestas también se obtuvieron los precios por tonelada del subproducto para los diferentes usos (Tabla 8.15).

| Subproducto | USO | Precio ¹⁹ unitario/€·t ⁻¹ |
|------------------|----------------------|---|
| Hojín | Generación eléctrica | 16,61 |
| Huesos y destrío | Almazaras | 73,16 |

Tabla 8.15. Precios unitarios de los subproductos según el uso.
(Callejo López et al., 2015)

Valorizar los subproductos del proceso permitiría generar unos ingresos anuales de 8.768,42 € anuales (Ver Tabla 8.16).

Los cálculos correspondientes a la Tabla 8.16 se han desarrollado en el ANEXO XVII.

Dichos subproductos no requieren ningún tratamiento dentro de la entamadora, por tanto, los ingresos son del 100%.

¹⁹ Impuestos no incluidos

| Subproducto | Cantidad/t·año ⁻¹ | Precio/ €·t ⁻¹ | Ingreso total/€·año ⁻¹ |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Hojín | 34,588 | 16,61 | 574,50 |
| Hueso y destrío | 112 | 73,16 | 8.193,92 |
| | | TOTAL | 8.768,42 |

Tabla 8.16. Ingresos totales procedentes de la valorización de los subproductos procedentes del proceso de aderezo.
(Elaboración propia)

Como se mencionó en el apartado 7.3.4 además de una evaluación económica, se ha realizado una evaluación desde el punto de vista de potencial energético y se ha hecho una estimación de la reducción de GEI.

En la Tabla 8.17 se recogen los resultados de esta evaluación.

Para llevar a cabo esta evaluación, se ha partido de una cantidad de subproducto de 34.588 kg de hojín anuales, el cual se considera, según la bibliografía, de humedad 37,46%. Para dicha humedad se tiene un PCI de 2360 kcal·año⁻¹.

Con estos datos se calcula el potencial energético, de valor 8,16 toneladas equivalentes de petróleo²⁰ al año, tep·año⁻¹ en adelante.

Para determinar la producción eléctrica se ha tomado un factor de conversión de 0,3982 tep·MWh⁻¹, obteniéndose una producción eléctrica de 20,5 MWh·año⁻¹, lo cual representa el consumo doméstico de 5,19 habitantes o 1,84 hogares.

Para ello se ha tenido en cuenta el consumo eléctrico de la localidad de Aznalcóllar en el año 2015 (24.375 MWh·año⁻¹) con un total de 6.168 habitantes y con una relación de 2,82 habitantes por hogar, en ese mismo año.

Para la determinación del ahorro de emisiones de GEI con fines eléctricos se ha tomado como referencia que dicha cantidad de energía sustituya la electricidad generada en un ciclo combinado de gas natural del 54% de rendimiento con un factor de emisión de 0,38 tep·MWh⁻¹.

²⁰ La tonelada equivalente de petróleo equivale a la energía que rinde una tonelada de crudo de petróleo y su valor es de 41,87 GJ.

Finalmente se tiene una reducción de emisiones de 7,79 tCO₂-eq²¹ anuales.

Teniendo en cuenta el consumo eléctrico de la localidad y un total de emisiones derivadas de este consumo de 8.288 tCO₂-eq en el año 2015 se tiene que la reducción de emisiones si el hojín se destina a fines eléctricos es del 0,09% con respecto al total emitido en esta localidad.

Para la determinación del ahorro de emisiones de GEI con fines térmicos se ha tomado como referencia el gasóleo C para calefacción con un factor de emisión de 3,06 tCO₂-tep⁻¹, obteniéndose un ahorro de 24,98 tCO₂-eq anuales, lo que supone un 0,30 % de ahorro respecto al total emitido en el año 2015.

En comparación con la investigación de Callejo López et al. (2010), cabe destacar que, estos autores realizaron un estudio similar, pero a nivel autonómico, donde se incluyeron los subproductos procedentes de todas las entamadoras de Andalucía, además de todos los subproductos procedentes de las almazaras.

Finalmente obtuvo un porcentaje de reducción de emisiones cuando los subproductos se destinaban a fines eléctricos de 0,8%; y a fines térmicos del 2,7% (Callejo López et al., 2010).

La diferencia obtenida con los resultados que arroja esta investigación se debe a que el potencial energético procede, en mayor medida, del orujillo (63%), subproducto procedente de las almazaras, y que no está incluido en este estudio, seguidos del hueso de la aceituna y del hojín, con una participación este último del 18%.

²¹ En una tonelada de CO₂ hay 22.727 moles, lo que equivale a un volumen de 510 m³ en condiciones normales.

| | |
|--|--------------------------------|
| Cantidad de hojín / kg-año ⁻¹ | 34.588 |
| PCI / kcal·kg ⁻¹ | 2360 |
| Humedad / % | 37,46 |
| Potencial energético / tep-año ⁻¹ | 8,16 |
| Producción eléctrica / MWh-año ⁻¹ | 20,5 |
| Consumo eléctrico población / MWh-año ⁻¹ | 24.375 |
| Número de habitantes | 6.168 |
| Número de hogares | 2.187 |
| Equivalencia de potencial energético en habitantes | 5,19 |
| Equivalencia de potencial energético en hogares | 1,84 |
| Emisiones población derivadas del consumo eléctrico / tCO _{eq} -año ⁻¹ | 8.288 |
| Ahorro de emisiones GEI fines eléctricos/ tCO _{2-eg} -año ⁻¹ | 7,79 (0,09% del total) |
| Ahorro de emisiones GEI fines térmicos/ tCO _{2-eg} -año ⁻¹ | 24,98 (0,3 % del total) |

Tabla 8.17. Evaluación desde el punto de vista de potencial energético y ahorro de emisiones de GEI.
(Elaboración propia)

Los cálculos de los resultados de la Tabla 8.17 están detallados en el ANEXO XVIII y los datos utilizados están justificados con su referencia bibliográfica en dicho Anexo.

8.5. Fortalezas y limitaciones de la investigación

Teniendo en cuenta que son numerosos los estudios que han constatado la importancia de reducir el impacto ambiental en este tipo de industrias, es de suponer que aplicar medidas circulares es de gran importancia.

Una aportación relevante de este estudio ha sido evidenciar que es posible cerrar el ciclo de vida de los residuos y subproductos favoreciendo económicamente tanto a la propia industria como a otras, y siendo más amigable con el medioambiente.

No obstante, este estudio no está exento de limitaciones. Estas limitaciones se van a exponer siguiendo el orden del proceso.

- Se ha considerado una concentración de 1,6% para la lejía de cocido en ambas variedades.

La planta produce aceitunas de las variedades “Gordal” y “Manzanilla”; sin embargo, en este estudio no se ha hecho distinción entre ellas al aplicar los tratamientos.

Según la Tabla 5.1 para cada variedad de aceituna, las condiciones de cocido son diferentes, en lo que se refiere a concentración de la lejía de cocido y duración del mismo.

En el apartado 6 se justificó, según datos de AICA, que la producción de aceitunas “Manzanilla” es mayoritaria, por tanto, se han considerado todas como tal.

Hay que tener en cuenta, en el caso de la variedad “Gordal” que, una concentración muy baja y con temperaturas frías, es insuficiente para obtener la energía necesaria y en consecuencia alarga considerablemente el tiempo de cocido pudiendo ser causa de ablandamientos.

- No se ha tenido en cuenta el coste del equipo de refrigeración de las lejías.
- La concentración de lejía residual ha sido estimada a un valor de 0,77% por interpolación; partiendo de un intervalo de porcentaje teórico de cocido entre 1,3 y 2,6 % y un porcentaje teórico de lejía residual entre 0,7 y 1%.
- El agua procedente del lavado de los frutos, previo al cocido, no se ha tenido en cuenta en este estudio debido al desconocimiento del volumen que se genera por kg de aceituna.
- No se ha considerado pérdida de volumen en los ciclos de reutilización de las lejías, ya que las aceitunas absorben parte de esa lejía.

-
- No se ha tenido en cuenta el coste de la bomba y el depósito auxiliar requeridos para llevar a cabo la reutilización de las lejías.
 - Se considera que no existen pérdidas de volumen en el trasvase de efluentes en las diferentes operaciones del proceso ya que se realiza por tuberías adaptadas para ello.
 - No se ha considerado ningún tratamiento para el concentrado de residuos que queda en la balsa ni el coste de construcción de la misma.
 - Los precios estipulados para el NaOH y para el NaCl obtenidos de la casa Panreac se tomaron para lotes de 25 kg; para pedidos a granel era necesario pedir presupuesto por parte de una empresa.
 - No se han tenido en cuenta las aguas de proceso procedentes de operaciones como el deshueso y relleno, de características similares a la salmuera de fermentación y que, por tanto, deberían recibir tratamientos similares, aunque no tan exigentes, puesto que para estas operaciones la salmuera no tiene por qué ser totalmente transparente.
 - Se ha considerado un único aporte de sal al final de la fermentación para garantizar la conservación de las aceitunas; no se han contabilizado aportes periódicamente durante el proceso de fermentación para estabilizar la concentración de la salmuera, dado que la fermentación no se ha llevado a cabo de forma experimental, y por tanto, desconoce el número de aportes necesarios.
 - No se ha considerado cuantitativamente la adición de los ácidos sórbico y benzoico para su buena conservación, ni la de otros ingredientes como azúcar, vinagre, rellenos o especias.

-
- La corriente de rechazo que procede del proceso de UF se ha considerado vertida a la red de alcantarillado y equivale a 200 m³ anuales, por lo que, no se ha conseguido el vertido cero. El coste asociado al transporte y al canon de vertido ha sido tomado de la investigación de Carbonell Alcaina (2017), obtenido de una estación depuradora de aguas residuales, EDAR en adelante, de la Comunidad de Valencia.
 - No se han tenido en cuenta los costes asociados al proceso de regeneración de las resinas del equipo de adsorción.
 - La salmuera regenerada resulta con un pH de valor 5,3 según los resultados experimentales obtenidos por Carbonell Alcaina (2017). No obstante, el valor máximo permitido según las normas es de 4 (COI, 2004). Esto se puede solucionar añadiendo cualquiera de los acidificantes permitidos por esta norma. Dado que no se ha realizado el seguimiento del grado de acidez de las disoluciones resulta imposible determinar el ahorro en ácido láctico o cualquier otro acidificante usado.
 - Para realizar el estudio de rentabilidad del sistema de membranas, se considera, en una segunda estimación, un ahorro en etanol debido a que se evapora y es reutilizable.

Según Carbonell Alcaina (2017) se produce una reducción del 80% de etanol, pudiéndose recuperar una parte.

En este estudio, se ha considerado que se reutiliza en su totalidad, dado que se desconoce, de la investigación de partida, el porcentaje reutilizable.

Asimismo, no se han considerado los gastos energéticos asociados al proceso de evaporación.

-
- Realizado el estudio de rentabilidad del tratamiento propuesto para la regeneración de salmueras, se obtiene que la mezcla de HT y T en etanol obtenida se debe vender en el mercado, como mínimo a $0,66 \text{ €}\cdot\text{g}^{-1}$.

Según precios de la casa Sigma Aldrich los precios de HT y T puros son de $18,5 \text{ €}\cdot\text{mg}^{-1}$ y $11,5 \text{ €}\cdot\text{mg}^{-1}$, respectivamente.

Sin embargo, el precio de una mezcla resulta muy difícil de estimar, por lo que, a priori no se puede conocer si el precio mínimo que se establece en este trabajo satisface las necesidades del mercado.

- Los precios estipulados para el hojín y los huesos junto con las aceitunas de destrío para los diferentes usos se han tomado de campañas anteriores, por lo que es posible que el precio haya variado en la actualidad.
- El factor de conversión tomado para conocer la equivalencia de potencial energético con producción eléctrica supone que toda la biomasa es eléctrica, no considera que parte de ella puede ser utilizada para cogeneración.
- En la evaluación de la reducción de emisiones de GEI, se han tomado los datos de las emisiones derivadas del consumo eléctrico correspondiente al año 2015, por ser el último año que constaba en las bases de datos de la Junta de Andalucía; por tanto, se ha tomado el consumo eléctrico, el número de habitantes y el número de hogares correspondientes a ese mismo año.

Aunque el presente estudio aporta información relevante y beneficiosa para el medioambiente, es necesario tener en cuenta las limitaciones expuestas para futuras investigaciones.

9. CONCLUSIONES

Globalmente, los resultados del presente estudio muestran que las medidas circulares propuestas son aplicables a la planta de partida, las cuales suponen ciertas mejoras desde el punto de vista económico, medioambiental y de calidad del producto final.

Los resultados han confirmado que:

- El tratamiento con lejías refrigeradas elimina el reposo previo que requiere la variedad “Manzanilla” reduciendo, de este modo, el molestado, alambrado y número de aceitunas rotas al deshuesar, con el consiguiente ahorro de materia prima, dado que se utilizan lejías más diluidas respecto al cocido tradicional.
- La reutilización de las lejías permite una reducción de efluentes de 57% destinados a la balsa, así como una reducción de materia prima para la preparación de las mismas, con el consiguiente ahorro que supone.
- La reducción de lavados con agua se traduce en una reducción de efluentes del 50% destinados a la balsa evaporación.
- Debido a los dos puntos anteriores, la balsa de evaporación requiere unas dimensiones dos veces menor, con la consiguiente disminución de costes.
- Es posible implantar un sistema de regeneración de las salmueras de fermentación para su posterior uso en el envasado cuyo coste será rentabilizado con la venta al mercado del subproducto obtenido del proceso (mezcla de HT y T en etanol); estos resultados ponen de manifiesto un ahorro de materia prima en la preparación de salmueras, así como la reducción de efluentes en un 80%.
- La valorización de los residuos sólidos del proceso ponen de manifiesto, por un lado, el ingreso económico que supone para la empresa, y, por otro lado, el aprovechamiento del hojín como biomasa y el de los huesos y aceitunas de destrío como materia prima para la elaboración del aceite de oliva.

Por consiguiente, la hipótesis de que es posible convertir una planta de aderezo de aceituna en un proceso de economía circular aplicando las estrategias adecuadas en aras de la consecución de un vertido cero y la valorización y/o reutilización de los subproductos generados se cumple parcialmente, dado que no se ha conseguido vertido cero en los dos tipos de efluentes que se generan, pero sí se han reducido hasta más de la mitad.

En cuanto a los residuos sólidos y subproductos, sí se han conseguido valorizar y se han optimizado el proceso de elaboración (cocido) para mejorar la calidad del producto final.

En función de estos hallazgos es necesario seguir priorizando la reducción de efluentes y residuos sólidos en este tipo de empresas.

No obstante, es necesario realizar estudios adicionales en los que se evalúe la posibilidad de realizar el proceso de transformación de la aceituna con otros productos químicos que no den lugar a efluentes tan altamente contaminantes.

10. BIBLIOGRAFIA

AICA, 2018. Ayuda para la cumplimentación de las declaraciones mensuales de las industrias oleícolas vía telemática. *Agencia de información y control alimentarios* [en línea], vol. 1, pp. 7–8. Disponible en: https://www.aica.gob.es/data/Upload/Ayuda_declaracion_Entamadora_y_Envasadora_de_Aceitunas_20181001.pdf.

AICA, 2020a. Agencia de información y control alimentarios. *Balance entamadoras campaña 2019/2020* [en línea]. [Consulta: 3 October 2020]. Disponible en: <https://www.aica.gob.es/>.

AICA, 2020b. Agencia de información y control alimentarios. *Datos mensuales de producción, movimiento y existencias* [en línea]. [Consulta: 26 September 2020]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/datosdeproduccionmovimientosyexistenciasdeaceitedeolivayaceitunademesajulio2020_tcm30-543180.pdf.

ASEMESA, 2020. Asociación de Exportadores de Aceitunas de Mesa. [en línea]. [Consulta: 24 April 2020]. Disponible en: asemesa.es.

AYUSO MUÑOZ, J., JIMÉNEZ ROMERO, J.R., FRANCISCO AGRELA SAINZ, CABALLERO REPULLO, A., MERINO CRESPIÓN, J. and LÓPEZ AGUILAR, M., 2008. *Proyecto de depósitos de almacenamiento de efluentes de industrias agroalimentarias*. 1. S.I.: Secretaría General Técnica. Servicio de Publicaciones y Divulgación. ISBN 978-84-8474-242-5.

BARRANCO NAVERO, D., FERNÁNDEZ ESCOBAR, R. and RALLO ROMERO, L., 2017. Elaboración de aceitunas de mesa. *El cultivo del olivo*. 7. S.I.: Multi-prensa, ISBN 9788484767145.

BENITEZ, Fco.J., ACERO, J.L. and LEAL, A.L., 2003. Purification of storage brines from the preservation of table olives. *Journal of*

Hazardous Materials, vol. 96, no. 2–3, pp. 155–169. DOI 10.1016/s0304-3894(02)00183-8.

BOE, 2016. Real Decreto 679/2016, de 16 de diciembre, por el que se establece la norma de calidad de las aceitunas de mesa. *Boletín Oficial del Estado* [en línea], no. 304, 17 de diciembre, pp. 88526–88527. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/17/pdfs/BOE-A-2016-11953.pdf>.

BOJA, 2002. DECRETO 281/2002, de 12 de noviembre, por el que se regula el régimen de autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias. *Boletín oficial de la Junta de Andalucía* [en línea], vol. 152, pp. 24.895-99. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2002/152/d1.pdf>.

BOJA, 2005. DECRETO 167/2005, de 12 de julio, por el que se modifica el Decreto 281/2002, de 12 de noviembre, por el que se regula la autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias. *Boletín oficial de la Junta de Andalucía* [en línea], vol. 137, pp. 7–8. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2005/137/d1.pdf>.

BOP, 2019. Mancomunidad de Municipios del Aljarafe: Ordenanza reguladora. *Boletín oficial de la provincia de Sevilla* [en línea], vol. 8, pp. 17–18. Disponible en: <https://www.dipusevilla.es/system/modules/com.saga.sagasuite.theme.diputacion.sevilla.corporativo/handlers/download-bop.pdf?id=080929b8-14cd-11e9-b108-0050569fe27b>.

BOUAZIZ M., LASSOUED S., BOUALLAGUI Z., SMAOUI S., GARGOUBI A., DHOUIB A. and SAYADI S., 2008. Synthesis and recovery of high bioactive phenolics from table-olive brine process

- wastewater. *Bioorg. Med. Chem.* [en línea], vol. 16, pp. 9238–9246. Disponible en: DOI: 10.1016/j.bmc.2008.09.012.
- BRENES BALBUENA, M., GARCÍA GARCÍA, P. and GARRIDO FERNÁNDEZ, A., 1988. Regeneration of Spanish Style Green Table Olive Brines by Ultrafiltration. *Food Science*, vol. 53, no. 6, pp. 1733–1736. DOI 10.1111/j.1365-2621.1988.tb07829.x.
- BRENES, M., GARCÍA, P., ROMERO, C. and GARRIDO, A., 2000. Treatment of green table olive waste waters by an activated-sludge process. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 75, pp. 459–463. DOI 10.1002/1097-4660(200006)75:6<459::AID-JCTB234>3.0.CO;2-D.
- CALLEJO LÓPEZ, J.A., PARRA HERAS, T. and MANRIQUE GORDILLO, T., 2015. Evaluación de la producción y usos de los subproductos de las agroindustrias del olivar en Andalucía. [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=DownloadS&table=11030&element=1585171&field=DOCUMENTO>.
- CALLEJO LÓPEZ, J.A., PARRA HERAS, T. and MANRIQUE GORDILLO, T., 2010. Potencial energético de los subproductos de la industria olivarera en Andalucía. En: JUNTA DE ANDALUCÍA. and CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA (eds.) [en línea]. 1. Sevilla: Secretaría General Técnica. Servicio de publicaciones y divulgación. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Potencial%20energ%C3%A9tico.pdf>.
- CARBONELL ALCAINA, C., 2017. *Recuperación de compuestos fenólicos contenidos en la salmuera residual del proceso de fermentación de las aceitunas de mesa mediante procesos de membrana: Combinación de la ultrafiltración y la nanofiltración (Tesis Doctoral)* [en línea]. Valencia: s.n. Disponible en:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86142/Carbonell%20-%20Recuperaci%C3%B3n%20de%20compuestos%20fen%C3%B3licos%20contenidos%20en%20la%20salmuera%20residual%20del%20proceso%20d....pdf?sequence=1>.

CASTRO GÓMEZ- MILLÁN, A., DURÁN QUINTANA, M.C., GARCÍA GARCÍA, P., GARRIDO FERNÁNDEZ A., GONZÁLEZ CANCHO, F., REJANO NAVARRO, L., SÁNCHEZ ROLDÁN F., SÁNC SÁNCHEZ ROLDÁN F. and SÁNCHEZ TEBAR, J.C., 1983. Elaboración de aceitunas verdes estilo español de la variedad Gordal con reutilización de lejías y supresión de lavados. Estudio de sus aguas residuales y algunos ensayos de purificación. *Grasas y Aceites*, vol. 34, no. 3, pp. 162–167. ISSN 0017-3495.

CERANTOLA, N. and ORTIZ PINILLA, M.T., 2018. La economía circular en el sector agroalimentario. [en línea]. 1. S.I.: ADICAE. Asociación de usuarios de bancos, cajas y seguros. Disponible en: <https://www.otroconsumoposible.es/publicacion/economia-circular.pdf>.

CHOWDHURY, P., VIRARAGHAVAN T and SRINIVASAN A., 2010. Biological treatment processes for fish processing wastewater – A review. *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 2, pp. 439–449. DOI 10.1016/j.biortech.2009.08.065.

COI, 2004. Norma Comercial aplicable a las aceitunas de mesa COI/OT/NC nº 1 de diciembre de 2004. *Consejo Oleícola Internacional* [en línea], vol. 1, pp. 11–11. Disponible en: <http://www.internationaloliveoil.org/>.

DURÁN QUINTANA, M.C., ROMERO BARRANCO, C., GARCÍA GARCÍA, P., BRENES BALBUENA, M. and GARRIDO FERNÁNDEZ, A., 1997. Bacterias del ácido láctico en la fermentación de aceitunas de mesa. *Grasas y aceites* [en línea], vol. 48, no. 5, pp. 297–311. ISSN 0017-3495. Disponible en:

<http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/download/806/815>.

ESTRADA CABEZAS, J.M., 2011. *La aceituna de mesa: nociones sobre sus características, elaboración y cualidades* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 28 October 2020]. Disponible en: <http://www.besana.es/sites/default/files/libroaceitunamaqueta080411.pdf>.

FERNÁNDEZ-DIEZ, M.J., CASTRO, R., GARRIDO, A., GONZÁLEZ, F., NOSTI, M., HEREDIA, A., MÍNGUEZ, M.I., REJANO, L., DURÁN, M.C., SÁNCHEZ, F., GARCÍA, P. and CASTRO, A., 1985. *Bioteología de la aceituna de mesa*. Sevilla Madrid: Servicio de publicaciones del CSIC. ISBN 84-00-06018-0.

FERNÁNDEZ-SANTOS ORTIZ-YRIBAS, F.X., RODRIGUEZ PADILLA, L.M. and CÁRDENAS FERNÁNDEZ, J., 1997. Sector del aderezo de aceituna. En: P. RODRIGO GÓMEZ (ed.), *Incidencias ambientales y medidas correctoras en sectores agroalimentarios*. 1. S.l.: Junta Andalucía Consejería de Medio Ambiente, pp. 71–81. ISBN 84-89650-21-7.

FERRER-POLONIO, E., MENDOZA-ROCA, J.A., IBORRA-CLAR, A., ALONSO-MOLINA, J.L. and PASTOR ALCAÑIZ, L., 2015. Comparison of two strategies for the start-up of a biological reactor for the treatment of hypersaline effluents from a table olive packaging industry. *Chemical Engineering Journal*, vol. 273, pp. 595–602. DOI 10.1016/j.cej.2015.03.062.

FERRER-POLONIO, E., MENDOZA-ROCA, J.A., IBORRA-CLAR, A. and PASTOR-ALCAÑIZ, L., 2016. Adsorption of raw and treated by membranes fermentation brines from table olives processing for phenolic compounds separation and recovery. *Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 91, no. 7, pp. 2094–2102. DOI 10.1002/jctb.4807.

Fundación para la Economía Circular. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 April 2020]. Disponible en: <http://economiecircular.org/>.

GARCÍA-GARCÍA, P., LÓPEZ-LÓPEZ, A., MORENO VAQUERO, J.M. and GARRIDO-FERNÁNDEZ, A., 2011. Treatment of wastewaters from the green table olive packaging industry using electro-coagulation. *Chemical Engineering Journal*, vol. 170, no. 1, pp. 59–66. DOI 10.1016/j.cej.2011.03.028.

GARRIDO FERNÁNDEZ, A., 1975. Tratamiento de las aguas residuales de la industria de aderezo. Métodos para su eliminación o reacondicionamiento para su posterior empleo. *Grasas y Aceites*, vol. 26, pp. 237–244. ISSN 0017-3495.

GARRIDO FERNÁNDEZ, A., CORDÓN CASANUEVA, J.L., REJANO NAVARRO, L., GONZÁLEZ CANCHO, F. and SÁNCHEZ ROLDÁN, F., 1979. Elaboración de aceitunas verdes estilo español con reutilización de lejías y supresión de lavados. *Grasas y Aceites*, vol. 30, no. 4, pp. 227–234. ISSN 0017-3495.

GARRIDO FERNÁNDEZ, A., GONZÁLEZ PELLISSÓ, F., GONZÁLEZ CANCHO, F., SÁNCHEZ, F., REJANO, L., CORDÓN, J. and FERNÁNDEZ DIEZ, M.J., 1977. Modificaciones de los procesos de elaboración y envasado de aceitunas verdes de mesa en relación con la eliminación y reuso de vertidos. *Grasas y aceites*, vol. 28, pp. 267–285. ISSN 0017-3495.

GARRIDO FERNÁNDEZ, BRENES BALBUENA, M. and GARCÍA GARCÍA, P., 1992. Tratamiento de salmueras de fermentación de aceitunas verdes. *Grasas y aceites*, vol. 43, no. 5. ISSN 0017-3495. DOI 10.3989/gya.1992.v43.i5.1144.

GASCÓN, A., 2009. *Control Analítico en la obtención industrial de aceitunas de mesa* [en línea]. 1. Mendoza: Departamento de ciencias enológicas y agroalimentarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. [Consulta: 28 October

- 2020]. Disponible en:
<http://aceitunasargentinas.blogspot.com/2012/05/manual-de-procedimiento-de-tecnicas.html>.
- GÓMEZ-CORONADO HURTADO, J., 2004. *Anexo III. Balsa. Planta de aderezo de aceitunas en el término municipal de la campana* [en línea]. Sevilla: s.n. [Consulta: 4 October 2020]. Disponible en:
<http://bibing.us.es.us.debiblio.com/proyectos/use/abreproy/3286/>.
- IDAE, 2005. Plan de energías renovables en España 2005-2010. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía* [en línea], pp. 348-. Disponible en:
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PER_2005-2010_8_de_gosto-2005_Completo.\(modificacionpag_63\)_Copia_2_301254a0.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PER_2005-2010_8_de_gosto-2005_Completo.(modificacionpag_63)_Copia_2_301254a0.pdf).
- IDAE, 2010. Factores de conversión energía final - energía primaria y factores de emisión de CO₂. *Instituto para la diversificación y ahorro de energía* [en línea], Disponible en:
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Factores_de_Conversion_Energia_y_CO2_\(2010\)_931cce1e.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Factores_de_Conversion_Energia_y_CO2_(2010)_931cce1e.pdf).
- IECA, 2018. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. *Información estadística relevante para la política municipal de vivienda. Sevilla* [en línea]. [Consulta: 26 April 2020]. Disponible en:
http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/iea/detalleDatosDia.jsp?cod=69888&ram=D#Bloque_69915.
- JARAMILLO CARMONA, S., DE CASTRO, A. and REJANO NAVARRO, L., 2011. Proceso tradicional de aderezo de aceitunas verdes de mesa. Racionalización del cocido. *Grasas y Aceites*, vol. 62, no. 4, pp. 375–382. ISSN 0017-3495. DOI 10.3989/gya.114610.
- JUNTA DE ANDALUCÍA, 2006. Manual de interpretación de normas para el titular del depósito de efluentes líquidos o lodos. [en línea]. S.l.: Disponible en:

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Manual_Interpretacion_normas%20para_titular_despositos_efluentes_liquidos_lodos.pdf.

JUNTA DE ANDALUCÍA, 2015. *Sistema de cálculo de la huella de carbono de los municipios andaluces* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 20 October 2020]. v2.0.2. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/gei/views/public/calculoEmisionesPublic.xhtml>.

LEFEBVRE OLIVIER and MOLETTA RENÉ, 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. *Water Research*, vol. 40, no. 20, pp. 3671–3682. DOI 10.1016/j.watres.2006.08.027.

MATEOS MARTÍN, M., 2016. *Planta de Fabricación de Encurtidos. (Proyecto Fin de Carrera)*. [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30283/fichero/1.Memoria+Descriptiva+y+Anexos.pdf>.

MC ADAM, E.J. and JUDD, S.J., 2008. Biological treatment of ion-exchange brine regenerant for re-use: A review. *Separation and Purification Technology*, vol. 62, no. 2, pp. 264–272. DOI 10.1016/j.seppur.2008.01.007.

NATURGY, 2020. Natugy. *Ciclos combinados de gas natural: tecnología punta y desarrollo sostenible* [en línea]. [Consulta: 27 April 2020]. Disponible en: <https://www.naturgy.es/es/conocenos/compromiso+y+sostenibilidad/cambio+climatico/energias+responsables/1297101993224/ciclos+combinados.html>.

REJANO, L., GONZÁLEZ CACHO, F., SÁNCHEZ, F., DURÁN, M.C., CASTRO, A., GARCÍA, P., SÁNCHEZ, J.C. and GARRIDO, A., 1983. Utilización de lejías de baja graduación en la preparación de

- aceitunas verdes. *Grasas y Aceites*, vol. 34, pp. 311–316. ISSN 0017-3495.
- REJANO, L., GONZÁLEZ CACHO, L. and RODRÍGUEZ DE LA BORBOLLA, J.M., 1977. Estudio sobre el aderezo de aceitunas verdes. XXIV nuevos ensayos sobre el control de la fermentación. *Grasas y Aceites*, vol. 28, pp. 255–265. ISSN 0017-3495.
- REJANO NAVARRO L., SÁNCHEZ-GÓMEZ, A.H. and VEGA MACÍAS, V., 2008. Nuevas tendencias en el tratamiento alcalino “cocido” de las aceitunas verdes aderezadas al estilo español o sevillano. *Grasas y aceites*, vol. 59, no. 3, pp. 197–204. ISSN 0017-3495. DOI 10.3989/gya.2008.v59.i3.509.
- RIVAS, F.J., BELTRÁN, F.J., GIMENO, O. and ÁLVAREZ, P., 2003. Optimisation of Fenton’s reagent usage as a pre-treatment for fermentation brines. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 96, no. 2–3, pp. 277–290. DOI 10.1016/s0304-3894(02)00217-0.
- RODRÍGUEZ DE LA BORBOLLA, J.M., 1981. Sobre la preparación de la aceituna estilo sevillano. El tratamiento con lejía. *Grasas y Aceites*, vol. 32, pp. 181–189. ISSN 0017-3495.
- RUIZ BARBA, J.L. and JIMÉNEZ DÍAZ, R., 2002. Aceituna de Mesa: de la fermentación tradicional a la utilización de cultivos iniciadores. [en línea]. S.l.: Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/5748/1/IG_AGROCSIC.pdf.
- SÁNCHEZ GÓMEZ, A.H., GARCÍA GARCÍA, P. and REJANO NAVARRO, L., 2006. Elaboration of table olives. *Grasas y Aceites*, vol. 57, no. 1, pp. 86–94. ISSN 0017-3495. DOI 10.3989/gya.2006.v57.i1.24.
- SANTOS SILES, F.J., 1999. Información tecnológica Las nuevas tecnologías aplicadas al sector de la aceituna manzanilla fina sevillana. *Grasas y aceites* [en línea], vol. 50, pp. 131–140. ISSN 0017-3495. Disponible en:

<http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/viewFile/648/659>.

SEGOVIA-BRAVO, K.A., GARCÍA-GARCÍA, P., ARROYO-LÓPEZ, F.N. and GARRIDO-FERNÁNDEZ, A., 2008. Ozonation process for the regeneration and recycling of Spanish green table olive fermentation brines. *European Food Research and Technology*, vol. 227, pp. 463–472. DOI 10.1007/s00217-007-0742-5.

TUSSET, S., 2013. La electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales. [en línea]. [Consulta: 27 September 2020]. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/electrocoagulacion-aguas-residuales/>.

VEGA, V., REJANO, L., GUZMÁN, J.P., SÁNCHEZ, A.H. and DÍAZ, J.M., 2005. Recolección mecanizada de la aceituna verde. *Revista agropecuaria*, vol. 874, pp. 376–379.

VEGA, V., REJANO, R., NAVARRO, C., SÁNCHEZ, A.H., DÍAZ, J.M. and GUZMÁN, J.P., 2004. Pasado, presente y futuro de la recolección mecanizada de la aceituna verde. *Revista de Asaja*, vol. 312, pp. 36–41.

ANEXO I. CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE EFLUENTES CONTAMINANTES DESTINADOS A LA Balsa SIN APLICAR LAS MEDIDAS PROPUESTAS

1. Cálculo de las aguas residuales procedentes de las lejías de cocido

Según los datos de la Tabla 5.2 y teniendo en cuenta la producción anual de la planta se tiene que:

$$2.000.000 \frac{\text{kg aceituna}}{\text{año}} \cdot \frac{0,5 \text{ L residual}}{\text{kg aceituna}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \quad (3)$$

2. Cálculo de las aguas residuales procedentes de las aguas de lavado

Siguiendo el mismo procedimiento del apartado anterior, según los datos de la Tabla 5.2 y teniendo en cuenta la producción anual de la planta se tiene que:

$$2.000.000 \frac{\text{kg aceituna}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ L residual}}{\text{kg aceituna}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \quad (4)$$

A estas cantidades hay que sumarle los efluentes debido a la limpieza de fondos, el agua procedente de la máquina de desrabado y el agua de baldeo.

Las cantidades generadas asociadas a estos efluentes se han calculado a partir de las estimaciones realizadas en el proyecto de (Gómez-Coronado Hurtado, 2004).

3. Cálculo de las aguas residuales procedentes de la limpieza de fondos

Se estiman 0,05 L·kg⁻¹ de aceitunas para limpieza de fondos. Por tanto:

$$2.000.000 \frac{kg \text{ aceituna}}{año} \cdot \frac{0,05 L \text{ residual}}{kg \text{ aceituna}} \cdot \frac{1 m^3}{1000 L} = 100 \frac{m^3}{año} \quad (5)$$

4. Cálculo de las aguas residuales procedentes de la operación de clasificado

Los efluentes estimados para la operación de clasificado son de 0,025 L·kg⁻¹ de aceitunas:

$$2.000.000 \frac{kg \text{ aceituna}}{año} \cdot \frac{0,025 L \text{ residual}}{kg \text{ aceituna}} \cdot \frac{1 m^3}{1000 L} = 50 \frac{m^3}{año} \quad (6)$$

5. Cálculo de las aguas residuales procedente de los baldeos

La nave de deshuesado y clasificado se baldea diariamente estimándose un consumo de agua de 520 litros aproximadamente por baldeo. Según el plan productivo elaborado por Mateos Martín (2016) se consideran 240 días laborables al año .

$$520 \frac{L}{\text{baldeo}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 L} \frac{1 \text{ baldeo}}{\text{día}} \cdot \frac{240 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 124,8 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \quad (7)$$

6. Cálculo del total de aguas residuales destinados a la balsa

En la Tabla ANEXO 1 se recogen los resultados obtenidos en las ecuaciones (3), (4), (5), (6) y (7).

Estos efluentes están destinados a la balsa de evaporación.

| | L·kg ⁻¹ | Volumen/m ³ ·año ⁻¹ | Período |
|------------------------------|--------------------|---|----------------------|
| Cocido | 0,5 | 1000 | Septiembre y Octubre |
| Lavado | 1 | 2000 | Septiembre y Octubre |
| Eliminación de fondos | 0,05 | 100 | Enero-Julio |
| Clasificado | 0,025 | 50 | Enero-Junio |
| Baldeos | 0,0625 | 125 | Enero-Julio |
| TOTAL | | 3275 | |

Tabla ANEXO 1. Aguas residuales destinadas a la balsa de evaporación.
(Elaboración propia)

Se obtiene un **volumen de residuos de 3275 m³ anuales** destinados a la balsa de evaporación para una producción anual de 2.000.000 kg de aceitunas, en el caso de no aplicar ninguna medida circular.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO II. DIMENSIONAMIENTO DE LA Balsa DE EVAPORACIÓN SIN APLICAR LAS MEDIDAS PROPUESTAS

En el caso de las industrias de aderezo de aceitunas, y de acuerdo con el Decreto 167/2005 de 12 de julio de la Junta de Andalucía (BOJA, 2005), algunos de los depósitos efluentes destinados al tratamiento de las aguas residuales pueden estar regulados por el Decreto 281/2002 de 12 de noviembre (BOJA, 2002) .

Estas industrias, en la mayoría de los casos, eliminan sus efluentes líquidos con depósitos de evaporación natural.

Para calcular la capacidad de un depósito (Ayuso Muñoz et al., 2008) de evaporación es necesario hacer un balance hídrico a lo largo de un año. El balance hídrico se estudia mes a mes, calculándose el efluente almacenado al final de cada mes, como la diferencia entre las entradas y las salidas del mismo.

Se considera entrada, el volumen de efluente líquido generado en la industria y las aguas de lluvia. Se consideran salidas, las evaporaciones del efluente embalsado. Las pérdidas por filtración serán nulas y se debe evitar la entrada de agua de escorrentía.

Para un correcto diseño del depósito de evaporación, se debe elegir adecuadamente la superficie de evaporación y la altura, de modo que permita eliminar el efluente líquido almacenado sin que rebose el depósito por causa de una precipitación o accidente.

1. Cálculo de la evaporación neta mensual y coeficiente de determinación de la superficie de evaporación mínima

El dimensionamiento mínimo de la superficie de evaporación será función de la producción de efluente y de la evaporación neta del lugar donde se ubique el depósito.

Los datos de evaporación neta media mensual, ETP-P en adelante, obtenida por diferencia de la evaporación potencial y precipitación, y los coeficientes para la determinación de la superficie de evaporación mínima son proporcionados por la Confederación Hidrológica del Guadalquivir y se pueden consultar en el Manual de Interpretación de normas para el titular del depósito de efluentes líquidos que ha elaborado la Conserjería de Agricultura de la Junta de Andalucía (Junta de Andalucía, 2006).

En la Tabla Anexo 2 se muestra un listado de la ETP-P para el municipio de Aznalcóllar.

| Municipio Aznalcóllar | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN. | JUL. |
|------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-----------------------|-------------------------|
| ETP-P/ mm | -66,7 | -33,7 | 21,2 | 54,5 | 119,5 | 175,7 | 247,7 |
| XUTM: 211266 YUTM:4158100 | AGOS | SEPT | OCT | NOV | DIC | Balance anual / mm | Superficie necesaria |
| ETP-P/ mm | 221,9 | 129,6 | 9,3 | -66,8 | -75,1 | 740 | 1,632 ²² |

Tabla ANEXO 2. *Evaporación neta mensual y coeficiente de determinación de la superficie de evaporación mínima del municipio de Aznalcóllar.*

(Elaboración propia a partir de los datos extraídos del Manual de interpretación de normas para el titular de depósitos de efluentes líquidos)

Por tanto, el calado máximo permisible de vertido en las balsas de evaporación es de 0,74 m.

Hay que tener en cuenta que la Orden de 15 de noviembre de 2005, por la que se desarrolla el Decreto 281/2002, en el punto 3 del artículo 4, dispone

²² Indica la superficie mínima de balsa necesaria en m² por m³ de efluente.

que los depósitos de evaporación natural no podrán superar los 2 m de calado de la lámina de líquidos y dejar un resguardo mínimo de 0,5 m.

2. Volumen anual de fluido

Se recomienda realizar un estudio detallado de los efluentes que se producen en la industria, donde se justifique el volumen generado.

De acuerdo con lo desarrollado en el ANEXO I se tiene un volumen anual de fluido industrial destinado a la balsa de 3275 m³.

3. Superficie a evaporar

Teniendo en cuenta el valor correspondiente a la superficie mínima necesaria por m³ de efluente proporcionado por la Tabla Anexo 2 se puede determinar la superficie mínima necesaria (S) para evaporar el volumen de efluente producido:

$$S = 3275 \text{ m}^3 \cdot 1,632 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} = 5344,8 \text{ m}^2 \quad (8)$$

Si por razones meteorológicas (fuertes precipitaciones, descenso de la evaporación) o por un incremento de la producción aumentara el volumen de líquido en la balsa por encima de los valores de diseño, dicho incremento no podría ser evaporado en años sucesivos y se iría inevitablemente, lo cual acabaría provocando el rebose de la balsa. Por ello se debe aumentar la superficie calculada anteriormente en la ecuación (8) al menos un 20%.

$$S = 5344,8 \text{ m}^2 \cdot 1,20 = 6413,76 \text{ m}^2 \quad (9)$$

Se diseñará una balsa de superficie 6413,76 m².

Para determinar las dimensiones de esta superficie hay que tener en cuenta que la disposición en planta a la que se suele recurrir en el diseño de las balsas es la de polígonos, regulares o irregulares y con las esquinas curvadas, de radio circular.

La impermeabilización con geomembrana y el minimizar los costos de la obra en este tipo de depósitos, invita a optar por una configuración de polígono rectilíneo.

Para depósitos de poca altura, inferiores a 2,5 metros de altura total y relativamente poca capacidad, esta solución de polígono rectilíneo de cuatro lados es la más económica y la que se suele adoptar.

De acuerdo a la superficie obtenida en la ecuación (9), para simplificar los cálculos se opta por una balsa de base cuadrada.

Por tanto, la balsa tendrá unas dimensiones de 80,1 x 80,1 m.

Los taludes interior y exterior son 2:1, de esta forma la base superior de la balsa, que corresponde con la lámina de agua, tendrá un área mayor que la base inferior, por lo que la balsa tendrá una geometría de prisma trapezoidal de base cuadrada.

4. Cálculo de la altura del depósito

La altura total del depósito debe ser suficiente para que albergue tanto el volumen de vertido producido (H_{vertido}), como el agua de escorrentía o de lluvia que incida sobre su superficie ($H_{\text{precipitación}}$), además de disponer de un resguardo de seguridad necesario para evitar el desbordamiento del depósito ante puntuales emergencias, o situaciones anómalas como las provocadas por meses de precipitaciones inusualmente elevadas ($H_{\text{resguardo}}$).

Por todo ello, la altura total se calculará como la suma de 3 alturas:

$$H_{\text{total}} = H_{\text{vertido}} + H_{\text{precipitación}} + H_{\text{resguardo}} \quad (10)$$

4.1. Cálculo de la altura de vertido, H_{vertido}

La altura de vertido, como su nombre indica, es la altura mínima para albergar el vertido.

Conociendo la geometría de la balsa se procede al cálculo de la altura de la misma teniendo en cuenta:

- La balsa debe tener una capacidad de 3275 m^3 .
- Las dimensiones del área de la base menor es $80,1 \times 80,1 \text{ m}$, lo que significa un área de 6416 m^2 .
- Sabiendo que los taludes son 2:1, la altura será h y la base del área mayor tendrá unas dimensiones de $(80,1 + 2h + 2h) \text{ m} \times (80,1 + 2h + 2h) \text{ m}$
- El volumen para un prisma trapezoidal de base cuadrada es:

$$V = \frac{h}{3} \times (A + B + \sqrt{A \times B}) \quad (11)$$

Siendo:

A: área de la base menor / m²

B: área de la base mayor / m²

h: altura de la balsa / m

V: volumen total de la balsa / m³

Sustituyendo en la ecuación (11) :

$$3275 \text{ m}^3 = \frac{h}{3} \times \left(6416,01 + (80,1 + 4h)^2 + \sqrt{6416,01 \text{ m}^2 \cdot (80,1 + 4h)^2} \right)$$

Despejando h se obtiene un valor de **h = 0,5 m**

Por tanto, la H_{vertido} es de 0,5 metros.

4.2. Cálculo de la altura de resguardo, H_{resguardo}

La altura de resguardo no será inferior a 0,5 m ni superior a 1 m.

Para calcularla se utiliza la fórmula empírica de Iribarren:

$$H_{resguardo} = 0,6 \sqrt[4]{L} \quad (12)$$

donde:

H_{resguardo}: altura de resguardo / m

L: longitud máxima de la balsa / km

La longitud máxima de la balsa se corresponderá con la diagonal del área mayor del prisma trapezoidal que conforma la balsa.

Conociendo la altura de vertido de la balsa, se pueden conocer las dimensiones del área mayor de la misma:

$$(80,1 \text{ m} + 4 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot) \times (80,1 \text{ m} + 4 \cdot 0,5 \text{ m}) = 82,1 \text{ m} \times 82,1 \text{ m}$$

La diagonal de esta superficie, aplicando el Teorema de Pitágoras, será:

$$d^2 = 82,1^2 + 82,1^2; d = 116,11 \text{ m} \quad (13)$$

Sustituyendo (13) en (12):

$$H_{\text{resguardo}} = 0,9 \sqrt[4]{0,116 \text{ km}} = 0,52 \text{ m}$$

4.3. Altura de precipitación, $H_{\text{precipitación}}$.

Teniendo en cuenta el balance anual descrito en la Tabla Anexo 2 se considera una altura de precipitación de 0,74 m para la zona.

En definitiva, sustituyendo este valor en la ecuación (10), junto con los valores obtenidos de H_{vertido} y $H_{\text{resguardo}}$ obtenidos en las ecuaciones (11) y (12), respectivamente, se tiene:

$$H_{\text{total}} = 0,50 + 0,52 + 0,74 = 1,76 \text{ m}$$

5. Cálculo del volumen de la balsa

Conociendo la altura total de la balsa, determinado en la ecuación (10) se pueden determinar las dimensiones de la base mayor:

$$87,14 \text{ m} \times 87,14 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación (11):

$$V = \frac{1,76 \text{ m}}{3} \times (80,1^2 + 87,14^2 + \sqrt{80,1^2 \times 87,14^2}) = 12.314 \text{ m}^3$$

Por tanto, el **volumen total de la balsa es de 12.314 m³**

ANEXO III. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE SOSA NECESARIA PARA EL TRATAMIENTO DE COCIDO A 18°C

En el apartado 7.3.1 se justificó el uso de una disolución de NaOH 1,6% a 18°C.

Por otro lado, de la Tabla 5.2 se conoce que se necesitan 0,5 L para el cocido de 1 kg de aceituna.

Por tanto:

$$\frac{1,6 \text{ g NaOH}}{100 \text{ mL de lejía}} \cdot \frac{500 \text{ mL lejía}}{\text{kg de aceituna}} = 8 \frac{\text{g NaOH}}{\text{kg aceituna}} \quad (14)$$

Sabiendo que se tiene una producción de 2.000.000 kg aceitunas·año⁻¹:

$$2.000.000 \frac{\text{kg aceituna}}{\text{año}} \cdot \frac{8 \text{ g NaOH}}{\text{kg aceituna}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 16.000 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{año}} \quad (15)$$

Se necesitan **16.000 kg de NaOH** para cocer una producción anual de 2.000.000 kg de aceitunas en caso de realizar **un cocido a 18°C**.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO IV. CÁLCULO DE LA SOSA NECESARIA PARA UN COCIDO TRADICIONAL

Considerando un cocido tradicional a una temperatura de 20-25°C y a una concentración de sosa de 2% para ambas variedades, pero con diferentes tiempos de cocción, se tiene:

$$\frac{2 \text{ g NaOH}}{100 \text{ mL lejía}} \cdot \frac{500 \text{ mL lejía}}{\text{kg de aceituna}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{2.000.000 \text{ kg aceituna}}{\text{año}} = 20.000 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{año}} \quad (16)$$

Si se realizara un **cocido tradicional**, se necesitarían **20.000 kg de NaOH**.

Por diferencia de las ecuaciones (15) y (16) se obtiene que, de **aplicar un cocido a 18°C**, además de la ventajas directas que supone, en cuanto a calidad del producto final, **supone un ahorro anual de 4.000 kg NaOH**.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO V. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE SOSA Y AGUA NECESARIAS PARA EL COCIDO APLICANDO LA PROPUESTA DE REUTILIZAR LAS LEJÍAS

En el apartado 7.3.2 se indicó que el número de veces que podrían ser reutilizadas las lejías varía, pero se sabe que, reutilizándola 10 veces, la carga contaminante sólo se multiplica por 3 y no se altera calidad del producto.

En este procedimiento se van a considerar 7 reutilizaciones de las lejías refrigeradas.

Por otro lado, se conoce que la capacidad de una cocedera es de 10.000 kg de aceitunas.

1. Cálculo de la cantidad de sosa necesaria para el cocido de una cocedera

En primer lugar, se calcula la cantidad de NaOH necesaria para preparar la lejía de cocido de los 10.000 kg de aceitunas que alberga una cocedera.

Utilizando los datos obtenidos en la ecuación (14):

$$\frac{8 \text{ g NaOH}}{\text{kg aceituna}} \cdot \frac{10.000 \text{ kg aceituna}}{\text{cocedera}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 80 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{cocedera}} \quad (17)$$

En otras palabras, cada vez que se tenga que preparar una lejía nueva para el cocido, se necesitan 80 kg de NaOH.

2. Cálculo de la cantidad de sosa residual que queda tras cada cocido

Tal y como se mencionó en el apartado 7.3.2 la concentración de la lejía residual varía entre 0,7 - 1%.

Teniendo en cuenta que la lejía de cocido variaba en un intervalo de 1,3 – 2,6%, por interpolación y para simplificar los cálculos se va a considerar una concentración de lejía de residual de 0,77%.

| | Valor mínimo | Concentración de la lejía | Valor máximo |
|-----------------|--------------|---------------------------|--------------|
| Lejía de cocido | 1,3 % | 1,6 % | 2,6 % |
| Lejía residual | 0,7 % | 0,77 % | 1 % |

Tabla ANEXO 3. Cálculo de la concentración de lejía residual por interpolación.
(Elaboración propia)

Por otro lado, de la Tabla 5.2 se conoce que se generan 0,5 L de lejía residual por kg de aceituna, por tanto:

$$\frac{0,77 \text{ g NaOH residual}}{100 \text{ mL de lejía residual}} \cdot \frac{500 \text{ mL de lejía residual}}{\text{kg de aceituna}} = 3,85 \frac{\text{g NaOH residual}}{\text{kg aceituna}} \quad (18)$$

Utilizando los datos obtenidos en la ecuación (18), se determina la cantidad de NaOH residual después de cada cocido:

$$\frac{3,85 \text{ g NaOH residual}}{\text{kg aceituna}} \cdot \frac{10.000 \text{ kg aceituna}}{\text{cocedera}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 38,5 \frac{\text{kg NaOH residual}}{\text{cocedera}} \quad (19)$$

Se deduce por tanto que, tras cada cocido, en la lejía residual quedan 38,5 kg NaOH reutilizables en los cocidos posteriores; dicho de otra forma,

la cantidad necesaria de NaOH que hay que añadir a la lejía residual para reactivarlas, es decir, para que sea adecuada para los cocidos posteriores es la diferencia de los resultados obtenidos en las ecuaciones (17) y (19):

$$80 \text{ kg} - 38,5 \text{ kg} = 41,5 \text{ kg} \quad (20)$$

Teniendo en cuenta que se van a realizar 7 reutilizaciones y los resultados de las ecuaciones (17) y (20) se tiene que:

| Reutilización | Cantidad de aceitunas en cada cocido/kg-cocedera ⁻¹ | Cantidad de NaOH a añadir en cada cocido/kg-cocedera ⁻¹ |
|----------------|--|--|
| Inicial | 10.000 | 80 |
| 1 ^a | 10.000 | 41,5 |
| 2 ^a | 10.000 | 41,5 |
| 3 ^a | 10.000 | 41,5 |
| 4 ^a | 10.000 | 41,5 |
| 5 ^a | 10.000 | 41,5 |
| 6 ^a | 10.000 | 41,5 |
| 7 ^a | 10.000 | 41,5 |
| TOTAL | 80.000 | 370,5 |

Tabla ANEXO 4. Cálculo de la cantidad de NaOH que hay que añadir por cada 7 reutilizaciones de lejía.
(Elaboración propia)

De la Tabla ANEXO 4 se obtiene que hay que añadir 370,5 kg de NaOH nueva por cada 80.000 kg de aceitunas.

$$2.000.000 \frac{\text{kg aceituna}}{\text{año}} \cdot \frac{370,5 \text{ kg NaOH}}{80.000 \text{ kg aceituna}} = 9262,5 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{año}} \quad (21)$$

3. Cálculo del volumen de agua necesario para el cocido en caso de reutilizar las lejías

Siguiendo el mismo procedimiento, se procede, en primer lugar, a calcular el volumen generado de lejía residual después de cada cocido; esto es, por cada 10.000 kg de aceitunas que alberga una cocedera.

$$\frac{10.000 \text{ kg aceituna}}{\text{cocedera}} \cdot \frac{0,5 \text{ L lejía residual}}{\text{kg aceituna}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 5 \frac{\text{m}^3 \text{ lejía residual}}{\text{cocedera}} \quad (22)$$

Se generan 5 m³ de lejía residual por cada cocido de 10.000 kg aceitunas.

Teniendo en cuenta que a ese volumen de lejía se le realizan 7 reutilizaciones, y considerando que no hay pérdida de volumen tras cada cocido, se concluye que se necesitan 5 m³ de agua por cada 80.000 kg de aceitunas, y del mismo modo, se generan 5 m³ de lejía residual por cada 80.000 kg de aceitunas.

Para la producción anual:

$$2.000.000 \frac{\text{kg aceituna}}{\text{año}} \cdot \frac{5 \text{ m}^3 \text{ agua cocido}}{80.000 \text{ kg aceituna}} = 125 \frac{\text{m}^3 \text{ agua cocido}}{\text{año}} \quad (23)$$

Se concluye que si realizan 7 reutilizaciones de las lejías de cocido **se necesitarían 9.262,5 kg de NaOH** para una producción anual de 2.000.000 kg de aceitunas; respecto a los 20.000 kg de NaOH anuales necesitados en cocidos tradicionales, supone un **ahorro de 10.737 kg NaOH anuales**.

Del mismo modo, **se necesitarían 125 m³ de agua anuales** para preparar las lejías en caso de reutilizarlas, las cuales son **destinadas a la balsa de**

evaporación en forma de lejía residual; con respecto a los 1000 m³ de agua necesitados en cocidos tradicionales, **supone un ahorro de 875 m³ de agua anuales y una reducción de vertido de la misma cantidad.**



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO VI. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA NECESARIO APLICANDO LA PROPUESTA DE REDUCIR DE DOS A UN LAVADO

De la Tabla ANEXO 1 se conoce que el volumen de aguas de lavado aplicando dos lavados es de 2000 m³al año.

Si por cada cocido se realiza un solo lavado, el volumen se reduce a la mitad, es decir, 1000 m³.

Por tanto, tras reducir los lavados de dos a uno, la **cantidad de agua necesaria para el lavado** y destinada posteriormente a la balsa **es de 1000 m³**, lo que supone un **ahorro de 1000 m³** anuales de agua.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO VII. CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE EFLUENTES DESTINADOS A LA Balsa APLICANDO LAS MEDIDAS PROPUESTAS.

Siguiendo el mismo procedimiento que en el ANEXO I, pero teniendo en cuenta ahora los volúmenes reducidos calculados en los ANEXO V y ANEXO VI, se calcula el volumen total de efluentes destinados a la balsa de evaporación, considerando que el volumen de agua procedente de la limpieza de fondos, clasificado y baldeos permanecen inalterables.

| | L·kg ⁻¹ | Volumen/m ³ ·año ⁻¹ | Período |
|------------------------------|--------------------|---|----------------------|
| Cocido | 0,5 | 125 | Septiembre y Octubre |
| Lavado | 1 | 1000 | Septiembre y Octubre |
| Eliminación de fondos | 0,05 | 100 | Enero-Julio |
| Clasificado | 0,025 | 50 | Enero-Junio |
| Baldeos | 0,0625 | 125 | Enero-Julio |
| TOTAL | | 1400 | |

Tabla ANEXO 5. Aguas residuales destinadas a la balsa de evaporación aplicando las medidas propuestas.
(Elaboración propia)

El **volumen de aguas residuales** destinado a la balsa de evaporación, en caso de aplicar las medidas propuestas, **sería de 1400 m³ anuales**; con respecto a los 3275 m³ de efluentes generados sin aplicar ninguna medida, supone una **reducción anual de efluentes de 1875 m³**.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO VIII. REDIMENSIONAMIENTO DE LA BALSA APLICANDO LAS MEDIDAS PROPUESTAS

Del ANEXO VII, se conoce que, de aplicar las medidas de reducción y reutilización propuestas en lejías y aguas de lavado, el volumen de efluentes generado y destinado a evaporarse disminuiría a 1400 m³ anuales. Esto implica una superficie menor de evaporación necesaria y, por tanto, unas dimensiones más pequeñas de la balsa, que generaría una disminución en el costo de la misma.

Por todo ello, se procede a redimensionar la balsa siguiendo el mismo procedimiento que en el ANEXO II.

1. Cálculo de la superficie mínima a evaporar

$$S = 1400 \text{ m}^3 \cdot 1,632 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} = 2284,8 \text{ m}^2 \quad (24)$$

Tal y como se explicó en el ANEXO II, se debe aumentar la superficie calculada en la ecuación (24) al menos un 20%.

$$S = 2284,8 \text{ m}^2 \cdot 1,20 = 2741,76 \text{ m}^2 \quad (25)$$

Se diseñará una balsa de superficie 2741,76 m².

Conociendo la superficie calculada en la ecuación (25) y sabiendo que la base es cuadrada, la base menor de la balsa tendrá unas dimensiones de 52,4 m x 52,4 m.

1. Cálculo de la altura del depósito

Tal y como se describió en el ANEXO II, la altura total se calculará como la suma de 3 alturas:

$$H_{total} = H_{vertido} + H_{precipitación} + H_{resguardo} \quad (26)$$

1.1. Altura de vertido, $H_{vertido}$

Se conoce que:

- La balsa debe tener una capacidad de 1400 m^3 .
- Las dimensiones del área de la base menor es $52,4 \text{ m} \times 52,4 \text{ m}$, lo que significa un área de 2746 m^2 .
- Sabiendo que los taludes son 2:1, la altura será h y la base del área mayor tendrá unas dimensiones de $(52,4 + 2h + 2h) \text{ m} \times (52,4 + 2h + 2h) \text{ m}$
- El volumen para un prisma trapezoidal de base cuadrada es:

$$V = \frac{h}{3} \times (A + B + \sqrt{A \times B}) \quad (27)$$

Siendo:

A: área de la base menor / m^2

B: área de la base mayor / m^2

h: altura de la balsa / m

V: volumen total de la balsa / m^3

Sustituyendo en la ecuación (27) :

$$1400 \text{ m}^3 = \frac{h}{3} \times \left(2746 + (52,4 + 4h)^2 + \sqrt{2746 \text{ m}^2 \cdot (52,4 + 4h)^2} \right)$$

Despejando h se obtiene un valor de $h = 0,49 \text{ m}$

Por tanto, la H_{vertido} es de 0,49 metros.

4.2. Altura de resguardo, $H_{\text{resguardo}}$

La altura de resguardo no será inferior a 0,5 m ni superior a 1 m.

Se utiliza la fórmula empírica de Iribarren:

$$H_{\text{resguardo}} = 0,6\sqrt[4]{L} \quad (28)$$

donde:

$H_{\text{resguardo}}$: altura de resguardo / m

L : longitud máxima de la balsa / km

La longitud máxima de la balsa se corresponderá con la diagonal del área mayor del prisma trapezoidal que conforma la balsa.

Conociendo la altura de vertido de la balsa, se pueden conocer las dimensiones del área mayor de la misma:

$$(52,4 \text{ m} + 4 \cdot 0,49 \text{ m} \cdot) \times (52,4 + 4 \cdot 0,49 \text{ m}) = 54,4 \times 54,4 \text{ m}$$

La diagonal de esta superficie, aplicando el Teorema de Pitágoras, será:

$$d^2 = 54,4^2 + 54,4^2; d = 76,9 \text{ m} \quad (29)$$

Sustituyendo el resultado obtenido en (29), en (28):

$$H_{\text{resguardo}} = 0,9 \sqrt[4]{0,0769 \text{ km}} = 0,48 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que la altura de resguardo no puede ser inferior a 0,5 metros, se tomarán 0,5 metros.

4.3. Altura de precipitación, $H_{\text{precipitación}}$

Teniendo en cuenta el balance anual descrito en la Tabla Anexo II se considera una altura de precipitación de 0,74 m para la zona.

En definitiva, sustituyendo en la ecuación (26), la altura de la balsa será:

$$H_{\text{total}} = 0,49 + 0,5 + 0,74 = \mathbf{1,73 \text{ m}}$$

2. Cálculo del volumen de la balsa

Conociendo la altura total de la balsa, se pueden determinar las dimensiones de la base mayor:

$$59,32 \text{ m} \times 59,32 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación (27):

$$V = \frac{1,73 \text{ m}}{3} \times (52,4^2 + 59,32^2 + \sqrt{52,4^2 \times 59,32^2}) = 5405 \text{ m}^3$$

Por tanto, **el volumen total de la balsa es de 5405 m³**, lo cual implica la construcción de una balsa 2,3 veces más pequeña, con la consiguiente disminución de costes.

ANEXO IX. CÁLCULO DEL AHORRO ECONÓMICO EN EL CONSUMO DE AGUA Y SOSA APLICANDO LAS MEDIDAS PROPUESTAS

El abastecimiento de agua de la localidad de Aznalcóllar lo suministra Aljarafesa.

Según el Boletín Oficial de la provincia de Sevilla número 8, del 11 enero de 2019 (BOP, 2019), la cuantía total correspondiente al consumo de agua se determina mediante la suma de un término fijo correspondiente a la cuota de servicio, que depende del calibre del contador, y un término variable que depende del consumo.

Para determinar el ahorro, sólo se va a considerar el término variable.

Para consumo industrial y un consumo superior a 20 m³ al mes, el precio del m³ es de 0,985 €.

El coste del NaOH es de 12,65 €·kg⁻¹ (Panreac, España)²³. El producto tomado para ello ha sido lentejas de hidróxido sódico (reag. USP) para análisis, ACS, ISO.

La Tabla ANEXO 6 recoge todos los resultados obtenidos en los anexos anteriores, tanto de la investigación de partida como los valores que han resultado de aplicar las medidas propuestas de reutilización y reducción de efluentes.

Utilizando los precios unitarios mencionados en el párrafo anterior se han determinado los costes por el método empleado por Mateos Martín (2016) y el propuesto en este trabajo.

²³ El precio es para un lote de 25 kg. El precio para lotes superiores no está disponible; sólo por solicitud de presupuesto por parte de una empresa.

A continuación, por diferencia, se ha determinado el ahorro que supone aplicar estas medidas circulares.

| | MÉTODO TRADICIONAL | | | MÉTODO PROPUESTO | | AHORRO |
|--------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| | €·m ⁻³ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| Agua | 0,985 | 3275 | 3225,87 | 1400 | 1379 | 1846,87 |
| Balsa | - | 12.314 | - | 5405 | - | - |
| | €·kg ⁻¹ | Kg· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | Kg· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| NaOH | 12,65 | 20.000 | 253.000 | 9262,5 | 117.171,62 | 135.828,37 |
| | | | 256.225,87 | TOTAL | 118.550,62 | 137.675,25 |

Tabla ANEXO 6. Cálculo del ahorro económico al reutilizar las lejías refrigeradas y reducir los lavados.
(Elaboración propia)

ANEXO X. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE SALMUERA NECESARIO PARA LA FERMENTACIÓN Y LAS CANTIDADES DE SAL Y AGUA NECESARIAS PARA SU PREPARACIÓN

Utilizando los datos de la Tabla 5.2 y teniendo en cuenta que la producción total de la planta es de 2.000.000 kg aceitunas·año⁻¹ se determina el volumen de salmuera residual generado una vez realizada la fermentación:

$$2.000.000 \frac{\text{kg aceituna}}{\text{año}} \cdot \frac{0,5 \text{ litros salmuera residual}}{\text{kg aceituna}} = 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \text{ salmuera residual} \quad (30)$$

De ello se deduce que se necesitan 1000 m³ anuales al 10% NaCl para que la fermentación se lleve a cabo.

Esta salmuera se prepara a partir de sal bruta, agua y ácido láctico o acético, aunque en este trabajo no se va a considerar el seguimiento de la acidez de las disoluciones.

Por tanto, sabiendo que su concentración debe ser del 10% se determina la cantidad de sal necesaria:

$$\frac{10 \text{ g NaCl}}{100 \text{ mL salmuera}} \cdot \frac{1000 \text{ m}^3 \text{ salmuera}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{1.000.000 \text{ mL}}{1 \text{ m}^3} = 100.000 \text{ kg de NaCl} \quad (31)$$

Para preparar la salmuera de fermentación se necesitan **100.000 kg de NaCl y 1000 m³ de agua.**



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO XI. CÁLCULO DE LA SAL NECESARIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS ACEITUNAS

Al colocar las aceitunas en salmuera, pasado unos días, la salmuera desciende a valores de 4-6% NaCl.

No se van a considerar los aportes periódicos de sal.

Finalizada la fermentación, las aceitunas se conservan en bombonas de unos 154 kg de capacidad y se requieren unas condiciones de 8% NaCl y 0,7-1% de acidez láctica.

Como se ha indicado en apartados anteriores, no se va a realizar el seguimiento de la acidez.

Por tanto, se procede a calcular la cantidad necesaria de sal para que se cumplan las condiciones de conservación.

Para simplificar los cálculos, se considera que, alcanzado el equilibrio, la salmuera de fermentación desciende a un valor de 4% NaCl. Si se necesitan 8% para la conservación, se tiene:

$$\frac{4 \text{ g NaCl}}{100 \text{ mL salmuera}} \cdot \frac{1000 \text{ m}^3 \text{ salmuera}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{1.000.000 \text{ mL}}{1 \text{ m}^3} = 40.000 \text{ kg de NaCl} \quad (32)$$

Se necesitan añadir **40.000 kg anuales de NaCl** para que tenga lugar una buena **conservación de las aceitunas**.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO XII. CÁLCULO DE LA SALMUERA NECESARIA PARA EL ENVASADO SIN REALIZAR EL TRATAMIENTO PROPUESTO, ASÍ COMO LAS CANTIDADES DE SAL Y AGUA NECESARIAS PARA SU PREPARACIÓN

Tal y como se indicó en el apartado 7.3.3 el volumen necesario para el envasado de las aceitunas de mesa resulta superior al volumen de salmuera desechada; una empresa que deseche unos 20 m³ de salmuera residual requerirá unos 35 m³ para el envasado.

Por tanto, en primer lugar, se determina la cantidad de salmuera necesaria para envasado:

$$1000 \text{ m}^3 \frac{\text{salmuera residual}}{\text{año}} \cdot \frac{35 \text{ m}^3 \text{ salmuera envasado}}{20 \text{ m}^3 \text{ salmuera residual}} = 1750 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \text{ salmuera envasado} \quad (33)$$

Se deduce por tanto que se necesitan 1750 m³ de salmuera blanca para el envasado.

Por otro lado, se conoce que la concentración de la salmuera de envasado para que las aceitunas mantengan su conservación es de 8%.

$$\frac{8 \text{ g NaCl}}{100 \text{ mL salmuera}} \cdot \frac{1750 \text{ m}^3 \text{ salmuera}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{1.000.000 \text{ mL}}{1 \text{ m}^3} = 140.000 \text{ kg de NaCl} \quad (34)$$

Se necesitan **140.000 kg de NaCl y 1750 m³ de agua** para preparar la salmuera de envasado.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO XIII. CÁLCULO DE AGUA Y SAL NECESARIAS PARA EL ENVASADO SI SE UTILIZAN LAS SALMUERAS REGENERADAS

Tal y como se indicó en el apartado 7.3.3 tras el proceso de tratamiento con membranas, se obtiene un caudal de permeado de $32 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$, al tratar $40 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ de salmuera residual.

Este permeado, tras pasar por la etapa de adsorción, podría ser reutilizado para el envasado, reduciendo el caudal de agua consumido y, por tanto, el gasto derivado de este consumo.

En primer lugar, se procede a calcular la cantidad de salmuera residual regenerada que se puede emplear para el envasado:

$$1000 \text{ m}^3 \frac{\text{salmuera residual}}{\text{año}} \cdot \frac{32 \text{ m}^3 \text{ permeado}}{40 \text{ m}^3 \text{ salmuera residual}} = 800 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \text{ permeado} \quad (35)$$

Se deduce que se obtienen $800 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ de permeado, que pueden ser envasados, previa adsorción.

Se considera que los $200 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ de corriente de rechazo se vierten a la red de alcantarillado donde se mezclan con las aguas residuales urbanas y posteriormente son tratadas en una EDAR.

Se conoce que tras la adsorción se obtiene una salmuera regenerada de $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, lo que significa 4%.

Para determinar la cantidad de sal y agua que hay que añadir a esta salmuera regenerada para que sea apta para el envasado, primero se calcula la cantidad de sal que tiene el permeado.

$$\frac{4 \text{ g NaCl}}{100 \text{ mL salmuera}} \cdot \frac{800 \text{ m}^3 \text{ salmuera}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{1.000.000 \text{ mL}}{1 \text{ m}^3} = 32.000 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \text{ de NaCl} \quad (36)$$

En resumen, de las ecuaciones (35) y (36) se sabe que, de la salmuera regenerada, se pueden aprovechar 800 m^3 de agua y 32.000 kg de NaCl.

De las ecuaciones (33) y (34) se conocen las cantidades totales de sal y agua necesarias para el envasado.

Por diferencia, se pueden obtener las cantidades necesarias de sal y agua a añadir respectivamente, para que la salmuera regenerada se pueda utilizar como salmuera de envasado:

$$140.000 \text{ kg} - 32.000 \text{ kg} = 108.000 \text{ kg de NaCl} \quad (37)$$

$$1750 \text{ m}^3 - 800 \text{ m}^3 = 950 \text{ m}^3 \quad (38)$$

Se necesitarán **108.000 kg de NaCl y 950 m^3 de agua** para que la salmuera regenerada se pueda utilizar como salmuera de envasado; esto supone un **ahorro de 32.000 kg de NaCl y 800 m^3 de agua.**

Del mismo modo, se produce una **reducción de vertido** de este tipo de **1000 m^3 anuales a 200 m^3 anuales.**

ANEXO XIV. CÁLCULO DEL AHORRO ECONÓMICO QUE SUPONE REUTILIZAR LAS SALMUERAS REGENERADAS

Siguiendo el mismo procedimiento que en el ANEXO IX, se va a determinar el ahorro que supone reutilizar las salmueras regeneradas.

El consumo de agua será el correspondiente al necesario para la fermentación y para el envasado; se utilizará el mismo coste que en el ANEXO IX.

El consumo de NaCl será el necesario para la fermentación, la conservación y el envasado. El precio del NaCl 99% es de 12,76 €·kg⁻¹ (Panreac, España)²⁴.

Los costes de vertidos se corresponden a los costes correspondiente al coste de transporte y al canon de vertido de una EDAR de la Comunidad de Valencia. De acuerdo con la investigación de Carbonell el coste promedio de gestión externa es de aproximadamente 50 €·m⁻³. Se han considerado que los costes de transporte por tonelada de salmuera residual suponen entre 8 y 15 euros y el canon de vertido por tonelada en una EDAR entre 15 y 80 euros para 1000 m³ de vertido.

No obstante, finalizado el proceso de UF, se reduce el vertido a la corriente de rechazo (200 m³), por lo que el coste promedio de gestión desciende a 10 €·m⁻³.

²⁴ ²⁴ El precio es para un lote de 25 kg. El precio para lotes superiores no está disponible; sólo por pedido de presupuesto.

| | MÉTODO TRADICIONAL | | | MÉTODO PROPUESTO | | AHORRO |
|------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| | €·m ³ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | m ³ ·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| Agua | 0,985 | 2750 | 2708,75 | 1950 | 1920,75 | 788 |
| Efluentes | 50/10 | 1000 | 50.000 | 200 | 2000 | 48.000 |
| | €·kg ⁻¹ | Kg·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | Kg·año ⁻¹ | €· año ⁻¹ | €· año ⁻¹ |
| NaCl | 12,76 | 280.000 | 3.572.800 | 248.000 | 3.164.480 | 408.320 |
| | | | 3.625.508,75 | TOTAL | 3.168.400,75 | 457.108 |

Tabla ANEXO 7. Cálculo del ahorro que resulta de reutilizar las salmueras regeneradas en el envasado.
(Elaboración propia)

ANEXO XV. DESGLOSE Y CÁLCULO DE LOS COSTES DEL TRATAMIENTO PROPUESTO PARA LA REGENERACIÓN DE SALMUERAS

A) Costes de gestión externa

Como se ha explicado en el anexo anterior, tras verse reducido el efluente los costes de transporte y canon de vertido descienden a $10 \text{ €}\cdot\text{m}^{-3}$.

B) Costes de material de la etapa de filtrado

El coste de material en la etapa de filtrado de acuerdo a las estimaciones realizadas por Carbonell es de $0.07 \text{ €}\cdot\text{m}^{-3}$.

C) Costes de operación estimados para la instalación de membranas

Los costes reflejados en la Tabla ANEXO 8 fueron detallados en la tesis de Carbonell considerando un período de amortización de 5 años.

| Concepto | UF/€·m ⁻³ | NF/€·m ⁻³ |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Amortización | 2,96 | 1,57 |
| Mantenimiento | 0,59 | 0,31 |
| Costes fijos | 3,55 | 1,88 |
| Membranas | 1,16 | 0,62 |
| Limpieza | 0,29 | 0,15 |
| Personal ²⁵ | 2,32 | 1,23 |
| Costes variables | 3,78 | 2,00 |
| Coste total | 7,33 | 3,89 |
| Coste energético | 0,11 | 0,11 |
| Coste operación | 11,34 | |

Tabla ANEXO 8. Desglose de los precios correspondientes a la instalación del sistema de membranas.

D) Costes de explotación de la etapa de adsorción.

La adsorción de los compuestos fenólicos, tal y como se describió en el apartado correspondiente, se realiza con resinas.

Carbonell estimó un gasto en resinas de 1474.40 €·m⁻³. Sin embargo, las resinas poseen la ventaja de que son reutilizables.

En el estudio mencionado anteriormente, también se estableció que, para este tipo de agua residual, estas resinas se podían regenerar más de 10 veces, con una pérdida de eficiencia inferior al 5% (Ferrer-Polonio et al., 2016).

Por tanto, considerando una reutilización de las resinas de 10 ciclos, el coste de resinas sería de 147.44 €·m⁻³.

No se van a considerar los costes correspondientes a la regeneración de las resinas.

²⁵ Incluye los costes de personal de la etapa de filtración y los costes de personal de la instalación de membranas.

E) Costes de la etapa de desorción

Tal y como se comentó, la desorción se realiza con etanol. Para ello, se consideró, a partir de los resultados experimentales, que el volumen de etanol para la desorción será el mismo que el utilizado en la adsorción ($800 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$).

El coste promedio del etanol absoluto 99,5% es de $1200 \text{ €} \cdot \text{m}^{-3}$ (grado farmacéutico, Panreac, España).

F) Costes de la etapa de evaporación

Carbonell decidió introducir en su propuesta una etapa de evaporación, con el fin de reducir el volumen de etanol y concentrar los compuestos fenólicos en la disolución. Esto permitió una reducción del volumen de etanol de 80%, permitiendo su reutilización.

En la Tabla ANEXO 9 se calculan cada uno de los costes explicados en los párrafos anteriores, así como el coste total que supone implantar el tratamiento propuesto a la planta de aderezo para un período de amortización de 5 años.

| Coste | Precio unitario/ $\text{€} \cdot \text{m}^{-3}$ | Volumen/ $\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ | Coste total/ $\text{€} \cdot \text{año}^{-1}$ |
|----------------------|---|---|---|
| Transporte + vertido | 10 | 200 | 200 |
| Filtrado | 0,07 | 1000 | 70 |
| UF + NF | 11,34 | 1000 | 11.340 |
| Resinas | 147,44 | 800 | 117.952 |
| Etanol | 1200 | 800 | 960.000 |
| TOTAL | | | 1.091.362 |

Tabla ANEXO 9. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años. (Elaboración propia a partir de los precios unitarios establecidos por Carbonell Alcaina (2017))



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO XVI. ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD DEL TRATAMIENTO DE REGENERACIÓN DE SALMUERAS PROPUESTO

En este anexo se va a calcular a qué precio se debe vender la mezcla de compuestos fenólicos en etanol, como se sabe, formada por principalmente por HT y T, para que la medida propuesta salga rentable.

De la bibliografía se conoce que la recuperación compuestos fenólicos resulta de $608.6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Teniendo en cuenta el coste total del tratamiento propuesto:

$$608,6 \frac{\text{g (HT+T)}}{\text{m}^3 \text{ etanol}} \cdot \frac{800 \text{ m}^3 \text{ etanol}}{\text{año}} \cdot X \frac{\text{€}}{\text{g}} = 1.091.362 \text{ €} \cdot \text{año}^{-1} \quad (39)$$

Despejando se obtiene un valor de $2,24 \text{ €}\cdot\text{g}^{-1}$. Eso se traduce en que, para que la propuesta sea rentable la mezcla de HT y T debe venderse en el mercado a $2,24 \text{ €}\cdot\text{g}^{-1}$, como mínimo.

Sin embargo, en la última etapa de evaporación, el volumen de etanol se reduce en un 80%, pudiéndose reutilizar posteriormente.

Considerando que se reutiliza en su totalidad, el presupuesto desciende a: (Ver Tabla ANEXO 10).

| Tipo de coste | Precio unitario/€·m ⁻³ | Volumen/m ³ ·año ⁻¹ | Coste total/€·año ⁻¹ |
|----------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| Transporte + vertido | 10 | 200 | 2000 |
| Filtrado | 0,07 | 1000 | 70 |
| UF + NF | 11,34 | 1000 | 11.340 |
| Resinas | 147,44 | 800 | 117.952 |
| Etanol | 1200 | 160 | 192.000 |
| TOTAL | | | 323.362 |

Tabla ANEXO 10. Costes del tratamiento propuesto para un período de amortización de 5 años teniendo en cuenta el ahorro de etanol.
(Elaboración propia)

Siguiendo el mismo procedimiento que en la ecuación (39), pero ahora teniendo en cuenta el coste reducido generado por el ahorro en etanol, se tiene que:

$$608,6 \frac{g (HT+T)}{m^3 \text{ disolución de etanol}} \cdot \frac{800 m^3 \text{ etanol}}{\text{año}} \cdot X \frac{\text{€}}{g} = 323.362 \text{ €} \cdot \text{año}^{-1} \quad (40)$$

Despejando, se obtiene que la mezcla concentrada de HT + T se debe vender como mínimo a 0,66 €·g⁻¹.

ANEXO XVII. CÁLCULOS CORRESPONDIENTES A LA VALORIZACIÓN DEL HUESO DE LAS ACEITUNAS Y DEL HOJÍN

Según las estadísticas llevadas a cabo en la investigación de Callejo López et al. (2015) las aceitunas de destrío y el hueso suponen un 5,6% de las aceitunas que se procesan y el hojín un 1,7%.

El porcentaje correspondiente a las aceitunas de destrío y el hueso fue calculado en la investigación de Callejo López et al. (2015) como la diferencia entre la aceituna cruda de entrada y la salida de aceituna transformada.

Por tanto, para una producción de 2.000.000 kg·año⁻¹:

$$2.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \cdot 0,056 = 112.000 \frac{\text{kg destrío+hueso}}{\text{año}} \quad (41)$$

Por otro lado, sabiendo que se tiene una producción anual de 2.000.000 kg de aceitunas, incluyendo aceitunas deshuesadas y enteras, la cantidad de aceitunas crudas que se reciben en la planta es el sumatorio del hojín y las aceitunas procesadas.

Por tanto, para determinar la cantidad de aceitunas que llegan a la planta para tener una producción de 2.000.000 kg al año:

$$a_0 = \text{hojín} + a_{\text{producida}} \quad (42)$$

Siendo:

a_0 : cantidad de aceitunas que llegan a la planta sin limpiar por año / kg·año⁻¹

hojín: cantidad de hojín por año / kg·año⁻¹

$a_{\text{producida}}$: cantidad de aceitunas que se producen por año / $\text{kg}\cdot\text{año}^{-1}$

Sustituyendo en la ecuación (42):

$$a_0 = 0,017a_0 + 2.000.000$$

$$a_0 = 2.034.588 \text{ kg}\cdot\text{año}^{-1} \text{ de aceitunas + hojín.}$$

Se concluye que inicialmente llegan a la planta, tras su recolección, $2.034.588 \text{ kg}\cdot\text{año}^{-1}$ de aceitunas con ramas y hojas.

Tras la limpieza de los frutos se obtiene una cantidad de $34.588 \text{ kg}\cdot\text{año}^{-1}$ de hojín.

Por tanto, $2.000.000 \text{ kg}\cdot\text{año}^{-1}$ de aceitunas son sometidos a los procesos de cocido, lavado y fermentación.

En primer lugar, según las estadísticas de Callejo López et al. (2015) el precio medio percibido por el hojín para generación eléctrica ha sido de $16,61 \text{ €}\cdot\text{t}^{-1}$ (impuestos no incluidos), por tanto:

$$34.588 \frac{\text{kg hojín}}{\text{año}} \cdot \frac{16,61 \text{ €}}{1000 \text{ kg hojín}} = 574,50 \text{ €}\cdot\text{año}^{-1} \quad (43)$$

Por otro lado, el precio medio percibido por la venta de hueso de aceituna a las almazaras para formar parte del proceso de elaboración del aceite de oliva ha sido de $73,16 \text{ €}\cdot\text{t}^{-1}$ (impuestos no incluidos).

$$112.000 \frac{\text{kg hueso+destrío}}{\text{año}} \cdot \frac{73,16 \text{ €}}{1000 \text{ kg hojín}} = 8.193,92 \text{ €}\cdot\text{año}^{-1} \quad (44)$$

En la Tabla ANEXO 11 se muestran los resultados obtenidos en las ecuaciones (43) y (44).

Conociendo los precios unitarios para cada uso, se han determinado los ingresos obtenidos por cada subproducto en los diferentes usos.

| Subproducto | Cantidad/t·año ⁻¹ | Precio/ €·t ⁻¹ | Ingreso total/€·año ⁻¹ |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Hojín | 34,588 | 16,61 | 574,50 |
| Hueso y destrío | 112 | 73,16 | 8.193,92 |
| | | TOTAL | 8.768,42 |

Tabla ANEXO 11. *Ingresos totales procedentes de la valorización de los subproductos procedentes del aderezo.*
(Elaboración propia)

La planta de aderezo tendrá **un ingreso de 8768,42 €·año⁻¹** si realiza una valorización de sus subproductos.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO XVIII. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL HOJÍN Y ESTIMACIÓN DE AHORRO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

En el apartado 8.4, se mencionó que los resultados obtenidos de la valorización del hojín eran interesantes evaluarlos, además de a nivel económico, en términos de potencial energético y ahorro de GEI.

1. Cálculo del potencial energético

El potencial energético se calcula a partir de la producción del subproducto y de su PCI y se expresa en tep·año⁻¹.

El hojín tiene un PCI de 2360 kcal·kg⁻¹ a una humedad de 37,46% (Callejo López et al., 2015).

$$34.588 \frac{\text{kg hojín}}{\text{año}} \cdot 2360 \frac{\text{kcal}}{\text{kg hojín}} \cdot \frac{1 \text{ tep}}{10^7 \text{ kcal}} = 8,16 \frac{\text{tep}}{\text{año}} \quad (45)$$

De la ecuación (45) se obtiene un potencial energético de 8,16 tep·año⁻¹.

A continuación, se calcula la equivalencia en producción eléctrica.

Este valor será calculado en base a un factor de conversión de 0,3982 tep·MWh⁻¹ (IDAE, 2005) y correspondiente a biomasa eléctrica (para simplificar los cálculos se ha considerado que toda la biomasa se utiliza para la generación eléctrica sin tener en cuenta que una parte se puede usar para co-combustión).

$$8,16 \frac{tep}{año} \cdot \frac{1 MWh}{0,3982 tep} = 20,5 \frac{MWh}{año} \quad (46)$$

Por tanto, de la ecuación (46) se deduce que la valorización del hojín como subproducto produce una electricidad de 20,5 MWh·año⁻¹.

Para hacer una equivalencia con el consumo de hogares se ha tomado, para un año en concreto, el número de hogares y habitantes de la localidad de Aznalcóllar y, por otro lado, el consumo de energía eléctrica de ese mismo año.

Para ello se ha recurrido a un sistema online de cálculo de la huella de carbono que ofrece la Junta de Andalucía, de la que se obtiene el consumo eléctrico y las emisiones derivadas de este consumo, entre otros datos, de todos los pueblos de la comunidad autónoma desde el año 2000 hasta el año 2015.

Este estudio se va a realizar sobre el último año que recoge la base de datos.

| Descripción | Consumo eléctrico / MWh |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Agricultura | 1126 |
| Industria | 5976 |
| Comercio y Servicios | 4996 |
| Sector residencial | 9291 |
| Administración y servicios públicos | 2778 |
| Resto de sectores | 208 |
| TOTAL | 24375 |

Tabla Anexo 12. Consumo eléctrico de la población de Aznalcóllar en el año 2015.
(Junta de Andalucía, 2015)

Por otro lado, según el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, IECA en adelante, la población para este mismo año es de 6.168 habitantes con un promedio de 2,82 personas por hogar (IECA, 2018), lo cual se traduce en 2.187 hogares.

Estos datos suponen un consumo de $11,14 \text{ MWh}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{hogar}^{-1}$ y $3,95 \text{ MWh}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{habitante}^{-1}$.

Conocido estos datos, se procede a calcular la equivalencia del potencial energético del hojín en términos de hogares y habitantes cuando se usa como biomasa eléctrica:

$$20,5 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \cdot \frac{\text{hogar}\cdot\text{año}}{11,14 \text{ MWh}} = 1,84 \text{ hogares} \quad (47)$$

$$20,5 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \cdot \frac{\text{habitante}\cdot\text{año}}{3,95 \text{ MWh}} = 5,19 \text{ habitantes} \quad (48)$$

De las ecuaciones (47) y (48) se deduce que el potencial energético estimado equivale a 1,84 hogares (5,19 habitantes).

2. Cálculo del ahorro de emisiones derivados de usos energéticos

Para el cálculo de las emisiones de GEI de la electricidad, calor y frío obtenidos a partir de los biocombustibles sólidos o gaseosos se utiliza la siguiente ecuación (Callejo López et al., 2015):

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} \quad (49)$$

Expresados todos los términos en $\text{g CO}_2\text{-eq}\cdot\text{MJ}^{-1}$

Siendo:

E: emisiones totales de la producción del combustible

e_{ec} : emisiones de la extracción o del cultivo de las materias primas.

e_l : emisiones anualizadas de las modificaciones en las reservas de carbono causadas por el cambio en el uso del suelo.

e_p : emisiones del proceso de transformación.

e_{td} : emisiones procedentes del transporte de las materias primas y del biocombustible final.

e_u : emisiones del uso del biocombustible, que comprenden los GEI emitidos durante la combustión del biocombustible sólido o gaseoso.

e_{sca} : ahorro de las emisiones de la acumulación de carbono en suelo mediante una mejora de la gestión agrícola.

e_{ccs} : ahorro de las emisiones de la captura y almacenamiento geológico del carbono.

e_{ccr} : ahorro de emisiones de captura y sustitución del carbono.

Antes de proceder a los cálculos se van a analizar cada uno de los términos de la ecuación para el caso del subproducto objeto de estudio, en este caso, el hojín:

e_{ec} y e_l no se aplican en el caso del hojín.

e_p : es nulo excepto si el subproducto requiere de acondicionamiento; el hojín, no lo requiere.

e_{sca} , e_{ccs} , e_{ccr} son nulos en el subproducto estudiado.

Del razonamiento anterior se deduce que las emisiones totales se reducen a las emisiones por uso y por transporte, por tanto, la ecuación (49) se reduce a:

$$E = e_u + e_{td} \quad (50)$$

Para continuar simplificando se va a considerar un consumo del biocombustible en puntos cercanos, por tanto, las emisiones totales se reducen a las emisiones por el uso que comprenden los GEI emitidos durante la combustión del biocombustible sólido o gaseoso.

En el caso de la quema del hojín se han considerado las emisiones de CO₂ que se producen en la combustión calculadas a partir del carbono presente en la biomasa (CO₂=CO₂-eq).

Para calcularlo se va a considerar como referencia que la energía generada sustituyera la electricidad producida por una central de ciclo combinado²⁶ de gas natural con un rendimiento del 54% y un factor de emisión de 0,38 tCO₂·MWh⁻¹ (IDAE, 2010).

$$E = 0,38 \frac{tCO_2}{MWh} \cdot \frac{20,5 MWh}{año} = 7,79 \frac{tCO_{2-eq}}{año} \quad (51)$$

De la ecuación (51) se deduce que, de sustituir la energía generada por el hojín, por la electricidad producida por una central de ciclo combinado de estas características, se podrían reducir un total de emisiones de 7,79 CO₂-eq al año.

Para determinar qué porcentaje supone esta reducción frente al total de emisiones generadas por la localidad, se necesita conocer este último valor, calculado por el sistema de cálculo de la huella de carbono de los municipios andaluces de la Junta de Andalucía:

²⁶ Los ciclos combinados son centrales de energía eléctrica en las que se transforma la energía térmica del gas natural en electricidad mediante dos ciclos consecutivos: el que corresponde a una turbina de gas convencional y el de una turbina de vapor. Este tipo de centrales se caracterizan por el uso que se realiza del calor generado en la combustión de la turbina de gas, que se lleva a un elemento recuperador del calor y se emplea para mover una o varias turbinas de vapor. Estas dos turbinas, de gas y vapor, están acopladas a un alternador común que convierte la energía mecánica generada por las turbinas en energía eléctrica (Naturgy, 2020).

| Descripción | CO ₂ / t·año ⁻¹ | N ₂ O / t·año ⁻¹ | CH ₄ / t·año ⁻¹ | CO ₂ -eq/ t·año ⁻¹ |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| Agricultura | 383 | N/A | N/A | 383 |
| Industria | 2032 | N/A | N/A | 2032 |
| Comercio y Servicios | 1698 | N/A | N/A | 1698 |
| Sector residencial | 3159 | N/A | N/A | 3159 |
| Administración y servicios públicos | 945 | N/A | N/A | 945 |
| Resto de sectores | 71 | N/A | N/A | 71 |
| TOTAL | 8288 | N/A | N/A | 8288 |

Tabla Anexo 13. Emisiones derivadas del consumo eléctrico en el municipio de Aznalcóllar en el año 2015, expresado en toneladas por año. (Junta de Andalucía, 2015)

De la Tabla Anexo 13 se obtiene que Aznalcóllar emitió un total de 8288 tCO₂-eq en el año 2015.

Teniendo en cuenta el resultado obtenido en la ecuación (51), se deduce que la reducción de emisiones al valorizar el hojín con fines eléctricos supone un 0,09 % del total de emisiones emitidas en la localidad.

Como el porcentaje es muy pequeño se va a evaluar también la reducción de emisiones si el hojín se destinara a fines térmicos.

En lo que respecta a este tipo de usos de la biomasa se va a utilizar la misma cantidad de energía para calefacción con gasóleo C con factor de emisión 3,06 t CO₂·tep⁻¹ (IDAE 2010).

$$3,06 \frac{t \text{ CO}_2}{\text{tep}} \cdot \frac{20,5 \text{ MWh}}{\text{año}} \cdot \frac{0,3982 \text{ tep}}{1 \text{ MWh}} = 24,98 \frac{t \text{ CO}_2}{\text{año}} \quad (52)$$

De la ecuación (52) se adquiere que se reducirían las emisiones un total de 24,98 tCO₂-eq al año en el caso de utilizar la energía con fines térmicos, es decir, 3 veces más de reducción de emisiones que con fines eléctricos.

Siguiendo el mismo procedimiento que anteriormente, se deduce que, la reducción de emisiones si se destina el subproducto a fines térmicos suponen un 0,3% de las emisiones totales.



**TRABAJO FIN DE TRABAJO
INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
MARÍA JESÚS PERALÍAS HIDALGO**



ANEXO XIX. DECLARACIONES MENSUALES DE AICA

A lo largo de este trabajo se ha mencionado, en varias ocasiones, que los valores estadísticos para tomar ciertas referencias se han tomado de la AICA.

En este Anexo se adjunta una de las declaraciones mensuales, en concreto, la declaración del mes de agosto de 2020, que corresponde con el final de la campaña 2019/2020 y se van a describir cada uno de los epígrafes para su completa comprensión (AICA, 2018).

1. EXISTENCIAS A INICIO DE MES

Indica las Existencias Iniciales de aceituna entamada a granel clasificada o no. De manera automática a inicio de campaña el sistema prepara como existencias iniciales las existencias finales, por variedad y tipo, que hubiere al finalizar la campaña anterior pudiendo modificarse las cantidades indicadas.

Para el resto de meses se prepararán las existencias finales, por variedad y tipo, en el mes anterior y estos datos no son modificables.

2. ENTRADAS

2.1. Entrada de Aceituna Cruda

Las entradas se han de diferenciar en “*no importadas (aceituna procedente de productores/centros de compras / operadores nacionales)*” e “*importadas (aceituna procedente de productores / operadores de países comunitarios y/o terceros países)*”.

En los casos en los que la entrega de aceituna cruda a la industria de transformación se lleve a cabo en un centro de compra separado de la propia industria o por un operador (comercializador) de aceitunas, estos proporcionarán a la industria en el momento de la entrega física de las aceitunas, una relación conforme al modelo que figura en el Anexo X del Real Decreto 861/2018 de 13 de julio.

2.2. Aceituna Transformada procedente de Otras Industrias

Registra la aceituna transformada a granel entrada procedente de Otras Industrias del sector de la aceituna de mesa.

2.3. Aceituna Transformada procedente de Importación

Registra la aceituna transformada a granel entrada procedente de Importación (países intracomunitarios y terceros países).

3. SALIDAS

3.1. Salida de Aceituna Cruda

Registra la aceituna sin ningún tipo de transformación y/o entamado y/o conservación).

Las salidas se han de diferenciar en “*no importadas (aceituna de la procedente de productores / centros de compras / operadores nacionales)*” e “*importadas (aceituna de la procedente de productores / operadores de países comunitarios y/o terceros países)*”

3.2. Aceituna Transformada Salida a Envasadora Propia.

Registra la aceituna transformada a granel salida a la propia envasadora de aceituna de la entamadora.

3.3. Aceituna Transformada Salida a Otras Envasadoras

Registra la aceituna transformada a granel salida a otras envasadoras del sector de la aceituna de mesa a nivel nacional.

3.4. Aceituna Transformada Salida a Otras Entamadoras/Operadores

Registra la aceituna transformada a granel salida a Otras Entamadoras/Operadores del sector de la aceituna de mesa a nivel nacional.

3.5. Aceituna Transformada Salida a Mercado Interior

Registra aquella aceituna transformada a granel que se destine a un cliente del mercado nacional, que no sea industria/operador/envasadora del sector de la aceituna de mesa.

3.6. Aceituna Transformada Salida a Exportación

Registra aquella aceituna transformada a granel que se destine a un cliente o mercado extranjero, ya sea comunitario o terceros países.

3.7. Aceituna Transformada Salida a Obtención del Aceite

Registra la aceituna transformada a granel que no se considera apta para mesa, pero sí para aceite y se destine a aquellas industrias especializadas en la obtención del aceite procedente de aceituna destrío de aderezo.

3.8. Mermas

Se declararán mermas del proceso de transformación en el caso en el que el peso de la aceituna cruda entrada en fermentador y el escurrido de la aceituna transformada no coincidan. Asimismo, se incluirán aquí las mermas que se originen una vez clasificada la aceituna transformada que sean objeto de destrío. Por último, se reflejará cualquier otro ajuste a realizar siempre y cuando sean debidamente justificados, así como conformes los movimientos de entradas y salidas previamente anotados.

4. EXISTENCIAS FINALES (KG)

Indica las existencias finales de aceituna entamada a granel clasificada o no. Estas deben ser coherentes con el stock físico disponible en las instalaciones de la industria. Estas serán las iniciales del mes siguiente
indica el resultado de las existencias iniciales + las entradas totales – las salidas totales.

La aceituna transformada que por clasificación o por proceso de elaboración intermedio (deshuesado, relleno, rodaja...) se conserve en la fábrica se contabilizará como existencias propias de la industria hasta que no sea objeto de salida.

| Ámbito territorial | Entamadoras | | Existencias | |
|--------------------|-------------|-----------|----------------|---------------------|
| | Actividad | Datos mes | Inicio campaña | Existencias finales |
| España | 423 | 423 | 360.546,61 | 282.711,25 |
| Andalucía | 224 | 224 | 295.226,81 | 213.130,58 |
| Sevilla | 140 | 140 | 230.849,76 | 159.916,04 |

Tabla ANEXO 14. Número de entamadoras, existencias finales e iniciales del balance de campaña 2019/2020 por ámbito territorial a fecha de 31/08/2020.
(AICA, 2020b)

| Ámbito territorial | Entradas | | |
|--------------------|---------------|------------------|-------------|
| | Entrada cruda | Otras industrias | Importación |
| España | 509.152,31 | 562.927,10 | 32.438,89 |
| Andalucía | 357.776,27 | 447.186,41 | 24.956,00 |
| Sevilla | 227.192,91 | 388.727,02 | 18.311,36 |

Tabla ANEXO 15. Entradas de aceitunas del balance de campaña 2019/2020 por ámbito territorial, a fecha de 31/08/2020.
(AICA, 2020b)

| Ámbito territorial | Salidas | | | | | | | |
|--------------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------|------------------|-------------|------------------|-----------|
| | Salida cruda | Envasadora propia | Otras envasadoras | Otras industrias/operaciones | Mercado interior | Exportación | Obtención aceite | Mermas |
| España | 50.825,66 | 412.357,37 | 270.493,10 | 349.207,69 | 3.209,37 | 45.624,15 | 37.178,59 | 13.457,78 |
| Andalucía | 20.584,35 | 306.769,14 | 230.533,85 | 282.317,60 | 639,29 | 34.903,13 | 27.816,03 | 8.451,53 |
| Sevilla | 9.137,49 | 250.496,37 | 159.260,53 | 232.155,40 | 518,59 | 22.698,55 | 23.388,90 | 7.509,18 |

Tabla ANEXO 16. Salidas de aceitunas del balance de campaña 2019/2020 por ámbito territorial, a fecha de 31/08/2020.
(AICA, 2020b)

