

**Interreg**  
POCTEFA  
ORHI



**CCI Bayonne Pays Basque**  
50/51 allées Marines BP 215  
64102 Bayonne cedex  
05 59 46 59 46

# **ESTUDIO DE VIABILIDAD**

VALORIZACIÓN DEL AGUA DE LAVADO DE LA LANA DE LOS PIRINEOS

Octubre de 2020

**Auteur : Stéphane Boileau**  
21 rue de la Miouze  
63210 SAINT PIERRE ROCHE [stephane@etoileduburger.fr](mailto:stephane@etoileduburger.fr) 06 74 57 27 84

## Índice de contenidos

1	Introducción .....	4
1.1	¿Qué lavado de lana para qué mercado(s)? .....	4
1.2	Tratamiento de los efluentes.....	5
2	Descripción de los componentes del agua de lavado y de los parámetros que influyen en su composición	5
2.1	Composición del vellón.....	5
2.2	Composición química y características físicas de la grasa de lana y la escoria de grasa de lana .....	10
2.2.1	Grasa de lana .....	10
2.2.2	La grasa de lana .....	11
2.2.3	Contaminación microbiana.....	12
2.3	Expectativas del lavado de lana .....	13
3	Métodos de lavado de la lana .....	14
3.1	Principios de lavado .....	14
3.2	Lavado con disolventes .....	15
3.3	Lavado por saponificación y emulsión.....	15
3.3.1	Impacto medioambiental .....	15
3.3.2	Detergentes .....	17
	Saponificación .....	17
	Detergentes sintéticos.....	18
	Lavado con rezuma .....	18
3.3.3	Consumo de agua y energía.....	18
3.3.4	Contaminación de los vertidos .....	19
	Residuos o subproductos .....	22
4	Aspectos reglamentarios .....	23
4.1	Instalaciones clasificadas para la protección del medio ambiente .....	23
4.1.1	El marco reglamentario de las instalaciones clasificadas para el medio ambiente ICPE.....	24
4.1.2	Presentación de los BREF y las MTD .....	24
4.1.3	Los BRIEFs .....	25
4.1.4	BATs .....	25
4.1.5	Revisión de BRIEFs y BAT TEXTILE .....	26
4.1.6	Consulte el BREF textil.....	26
4.2	Cánones por contaminación del agua no doméstica y extracción de recursos hídricos .....	27
4.3	Solicitud de aprobación de un lavado de grasa de lana .....	27
5	Adaptación del lavado a su entorno .....	28
5.1	Adquirir una visión ampliada del lavado de la lana .....	28
5.2	Categorías de lavado de lana .....	28
5.2.1	Nociones de tratamiento del agua.....	29
5.2.2	Lavado de varias toneladas/día - varios miles de toneladas/año .....	30
5.2.3	¿Menos de 200t en sudor/año, fuera de la categoría IED? .....	34
5.2.4	Lavados con una capacidad inferior a 500 kg/día .....	35
	El ejemplo del lavado de Souvigny (03) .....	35
	Equipo de lavado .....	36
6	Análisis de las posibles vías de recuperación .....	38
6.1	extracción de lanolina.....	38
	Principio de funcionamiento .....	38
	Impacto de la naturaleza de las lanas .....	39
	Grasa residual en el efluente tras la centrifugación.....	41
	Contaminación residual.....	41
	Tratamiento tras la extracción de la grasa de lana y la depuración de los baños .....	41
	Enfoque económico.....	42

El caso de Traitex .....	45
El caso de Manufacturas S.A. ....	45
6.2 Metanización .....	45
Lagunaje anaeróbico .....	46
digestor anaeróbico .....	46
Tratamiento de efluentes y producción de biogás para un proceso de lavado de 90t/año.....	47
6.3 Compostaje y aplicación en tierra .....	47
6.3.1 compostaje.....	48
6.3.2 Difusión en el suelo .....	51
7 Conclusiones y alternativas.....	52
7.1 Limpieza con disolventes .....	53
7.1.1 ¿Qué beneficios? .....	53
7.1.2 Algunas de las formas .....	54
7.1.3 Lavado con disolventes y IED.....	55
7.1.4 Lavado de lana en seco.....	55
Impacto de la naturaleza de las lanas procesadas.....	56
Pesticidas .....	57
Datos del proyecto.....	57
7.2 Un lavado biológico .....	57
8 Anexos .....	59

# 1 Introducción

El proyecto ORHI pretende contribuir a la evolución del sector agroalimentario del territorio POCTEFA hacia una Economía Circular, promoviendo sinergias interempresariales, identificando soluciones innovadoras y apoyando su desarrollo en el territorio. ORHI se centra en los recursos de "materia orgánica" y "plástico" en la cadena de valor agroalimentaria. En el marco del apoyo a un proyecto, este estudio pretende evaluar la viabilidad y la oportunidad de valorizar las aguas de lavado de las lanas "rústicas" de los Pirineos (razas Manex, Tête rousse, Basco-béarnaise, Tête noire, Latxa).

## 1.1 ¿Qué lavado de lana para qué mercado(s)?

La cuestión del lavado de la lana local toma su sentido en la valorización de las lanas locales. Sin embargo, esta actividad adquiere realidades muy diferentes bajo el mismo nombre. Pongamos algunos ejemplos:

- La centenaria hilandería de Niaux en Ariège dispone de un lavadero de lana de pequeña capacidad (100 kg de lana lavada al día, algunos días al mes) suficiente para sus propias necesidades. Sin embargo, la línea de lavado no podía ser un modelo reproducible para una nueva instalación a la que se aplicara plenamente la normativa vigente.

- los lavados continuos de Saugues en Haute Loire (1t de lana lavada/día) o de [Traitex en Bélgica, cerca de Lieja](#) (18t de lana lavada/día) están adaptados al lavado a medida de las lanas europeas (lanas gruesas y de color, por ejemplo) en cumplimiento de la legislación vigente. Sin embargo, aunque las capacidades globales de lavado ofrecidas en Francia y en Europa son muy inferiores a las cantidades de lana producidas en nuestras regiones de cría, estos 2 lavaderos sólo funcionan al 50% de su capacidad, debido a la falta de una mayor demanda.

La productividad de las instalaciones de lavado determina en gran medida el coste del lavado, mediante una mayor racionalidad del proceso, más eficiente en agua y energía en las grandes instalaciones modernas. En un mercado global como el de la lana, las plantas con mayor y más moderna capacidad de lavado se encuentran al otro lado del mundo. También suelen tener los requisitos medioambientales y los costes de mano de obra más bajos. La incidencia del transporte de contenedores es muy baja.

Por ello, no es de extrañar que, incluso en los mercados recientes basados en valores ecológicos y nociones de desarrollo sostenible, como fue el caso del mercado de aislamiento de las casas de lana de oveja, la producción industrial haya evolucionado rápidamente desde la transformación virtuosa de las lanas lavadas localmente hasta las producciones realizadas en parte o en su totalidad a partir de lanas cuyo origen y lugar de lavado importan poco, siempre que se reduzca el precio del material. El comercio mundial de fardos de lana lavada y el suministro de lana reciclada (ropa de cama) facilitan este enfoque. El argumento "lana local" y "apoyo a los agricultores" ni siquiera se ve afectado, ¡siempre que se incorpore una proporción de lana local en la mezcla!

La capacidad de lavado industrial se estimó en cerca de 10.000 toneladas en Francia y 12.000 toneladas de lana lavada en España en 1995. Ahora sólo hay unas 200 t en Francia. Varios proyectos recientes para mantener o reactivar las capacidades de lavado han fracasado por falta de un sólido anclaje de los beneficiarios. El [lavado y peinado de La Môle adquirió así una planta de tratamiento de aguas](#) que sólo funcionó durante menos de un mes. [El lavado industrial de Sisteron](#) proyectado en el mercado del aislamiento ecológico nunca vio la luz.

Ante la creciente escasez de lavaderos en Francia y en Europa, preocupante para los sectores de transformación de la lana en relación con sus territorios de cría, el encuentro europeo sobre el lavado de la lana de 2015 en Saugues (43) permitió hacer un balance de la complejidad de los factores que contribuyen a la desaparición de

las capacidades de lavado en toda Europa. Ha permitido abordar todos los aspectos de esta actividad, ya sea a escala artesanal, amateur o industrial.

Este fue también el punto de partida para la reubicación y modernización de la [columna de lavado de Saugues con el](#) fin de adaptarla en todos los aspectos a los requisitos reglamentarios actuales. <sup>i</sup>

## 1.2 Tratamiento de los efluentes

En principio, el lavado de la lana es una operación destinada a separar la fibra de los componentes segregados por las ovejas, la grasa de la lana, la suciedad y las materias vegetales o de otro tipo atrapadas en el vellón, así como los compuestos químicos procedentes del proceso de cría. Se trata de una preparación de la fibra necesaria antes de su posterior procesamiento.

Existen varios principios de lavado, pero el lavado por baño, que requiere grandes cantidades de agua y energía para calentarla, es el método que se practica casi universalmente, tanto si se trata de lavar unos cientos de gramos de lana en cubos, como unos kilos en una lavadora o unas toneladas en una línea de lavado continuo.

Los efluentes producidos en las cubas de lavado, aunque sean mayoritariamente de origen natural, representan una fuerte carga de contaminación potencial para el medio ambiente en un enfoque industrial. Por ello, el lavado de lana está estrictamente regulado por la normativa europea en cuanto la capacidad de lavado supera los 500 kg/día.

La huella ecológica de una operación de lavado de lana sobre su entorno podría basarse, por un lado, en la evaluación de los recursos hídricos y energéticos que requiere y, por otro, en la naturaleza y cantidad de sus vertidos. A continuación, se puede evaluar la capacidad del medio ambiente para proporcionar los recursos necesarios y asimilar los residuos producidos, con o sin tratamiento in situ.

# 2 Descripción de los componentes del agua de lavado y de los parámetros que influyen en su composición

El método clásico de lavado se basa en la disolución de la grasa de lana y, en particular, de la grasa de lana en el agua, que es un gran productor de efluentes difíciles de tratar.

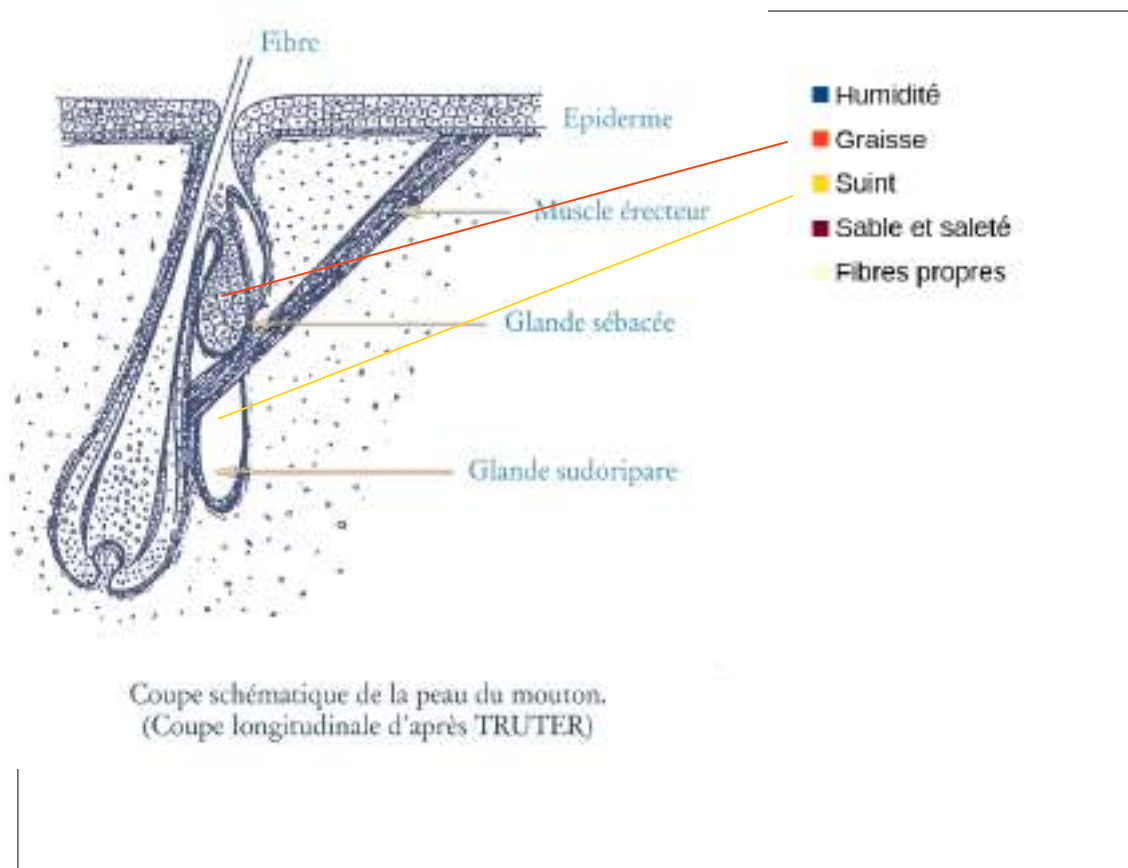
En primer lugar, haremos un estado de los componentes del vellón y sus propiedades físicas. Esto nos permitirá conocer lo que ocurre durante el proceso de lavado convencional (independientemente de los volúmenes tratados), los parámetros esenciales para su buen funcionamiento y la naturaleza y carga contaminante de los efluentes producidos en los baños de lavado y aclarado.

## 2.1 Composición del vellón

El lavado de la lana es el primer paso en el proceso de transformación de la lana. Esta operación, que combina muchas técnicas, tiene como objetivo eliminar cualquier material o sustancia presente en el vellón del animal, causando el menor daño posible a la fibra de lana.

Las impurezas presentes en el vellón se pueden considerar según 3 categorías, **naturalmente secretadas por el animal, adquiridas y aplicadas**.

- **Las secreciones naturales** consisten en grasa de lana y grasa de lana. Son producidas por las glándulas sebáceas y sudoríparas asociadas al crecimiento de la fibra en el folículo. La grasa de lana recubre la fibra y la protege. De hecho, la grasa de lana y la grasa de lana se distinguen técnicamente no por el origen de las secreciones sino por su solubilidad en el agua. La grasa de lana es la parte de las secreciones que es espontáneamente soluble en agua, la grasa de lana es la parte insoluble. La grasa de lana se seca en la piel y en la lana. La grasa de lana aglutina las impurezas del vellón.



- la **suciedad del vellón resultante de las condiciones de cría** y siega: materias vegetales y minerales, paja, heno, heces, tierra, arena y polvo. Algunas partes del vellón que están especialmente sucias pueden haber sido eliminadas mediante una operación de clasificación previa a la operación de lavado, durante la operación de siega, por ejemplo. Las partículas vegetales y minerales que no están aglutinadas o atrapadas en las fibras se eliminan mediante un proceso seco, por batido, antes del proceso de baño. Sin embargo, la materia vegetal atrapada en las fibras será resistente al trillado y al lavado. Los batidores y los tamices pueden seguir eliminando la lana seca, pero a veces es insuficiente, sobre todo para las lanas destinadas a la hilatura. Algunos lotes de lana justifican el uso de una compleja y costosa operación de lavado-carbonización, un proceso químico para eliminar la materia vegetal, o una purificación mecánica "a cielo abierto" antes de ser introducida en un proceso de hilatura cardada.

- **sustancias aplicadas durante** la cría, como marcas de pintura de identificación, residuos de insecticidas, acaricidas o reguladores del crecimiento de los insectos que se utilizan como remedios veterinarios para proteger a las ovejas contra ectoparásitos como piojos, ácaros, moscas azules, etc. Estos tratamientos, presentes en forma de trazas, son muy difíciles de separar de otros contaminantes y de eliminar. Deprecian la lana y la grasa de lana contaminadas por su probada o presunta toxicidad ambiental.

- Para completar, la lana tiene una fuerte afinidad con el agua, lo que hace que la proporción de humedad en el vellón varíe en función de la humedad ambiental. Suele representar entre el 10 y el 20% del peso del vellón.

Variaciones por raza de oveja

La proporción relativa de compuestos de vellón varía según las condiciones de cría y, sobre todo, según la raza de las ovejas.

Grasa de la lana	2 a 25 % de lana cruda
Suint (sudor secado)	Del 2 al 12 % en peso de la lana cruda
Suciedad	Del 5 al 45 % en peso de la lana cruda

El contenido de fibra limpia de la lana cruda suele ser del orden del 60 al 80 %, pero puede variar entre el 40 y el 90 % (fuente BREF textil página 61 ).

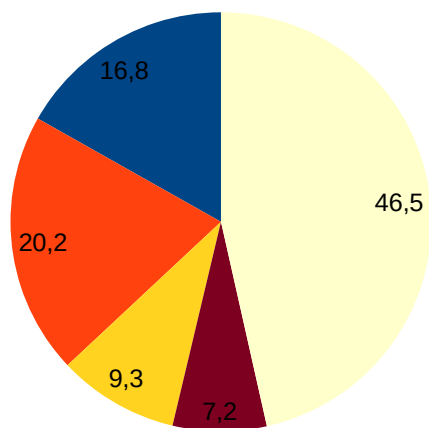


Texto 2: Impacto de la raza y del método de cría - fuente: Hartsuch, B.E. En *Introduction to Textile Chemistry*, Wiley 8r Sons, Inc.: Nueva York, 1950, pp. 246-274

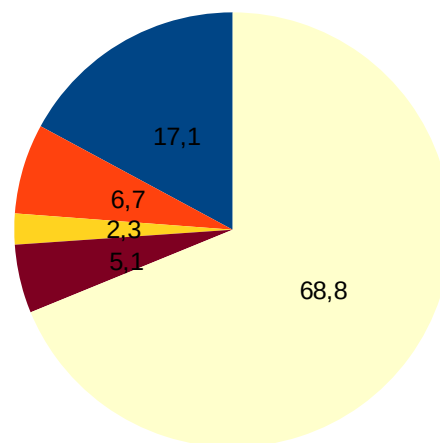
<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.5888/page/n253/mode/2up?q=Lincoln>



- Humidité
- Graisse
- Suint
- Sable et saleté
- Fibres propres



toison Mérinos 20-25 µm



toison Lincoln 35-40 µm

Las proporciones de grasa y lodo suelen variar con la finura de las lanas, una característica que depende esencialmente de la raza. Las lanas finas tienen una densidad folicular muy alta y, por tanto, secreciones foliculares más abundantes<sup>ii</sup>. En las lanas gruesas, la grasa de lana representa alrededor del 7-8% del peso del vellón, lo que es mayor que en las lanas finas. Las lanas de la raza merina (finura o diámetro de la fibra de 20-25  $\mu\text{m}$ ), utilizadas principalmente en la confección, están más cargadas de grasa, generalmente un 13%, que las lanas gruesas del tipo utilizado para alfombras, que contienen de media un 5% de grasa, como en este caso la raza Lincoln (finura de 35-40  $\mu\text{m}$ ).

Esto sigue siendo cierto en el caso de las lanas pirenaicas, cuyo contenido de fibra limpia en un vellón, el llamado rendimiento de lavado, es del orden del 65-70 % (Manex, Basco-Béarnaise) para una finura de lana de unos 40  $\mu\text{m}$  <sup>iii</sup>Se encuentran entre las lanas para alfombras y no son muy grasientas como las lanas de la raza Lincoln presentadas anteriormente.

El tipo de cría, ya sea al aire libre o en apriscos, también afectará al rendimiento de la lana en el lavado. En efecto, los rebaños de ovejas, debido a la temperatura de las instalaciones, por una parte, y a la protección contra las inclemencias del tiempo de la que se benefician, por otra, al estar a salvo de las inclemencias del tiempo y, por tanto, de la "lixiviación" de los vellones de sus manchas y compuestos solubles, tendrán lanas más cargadas en secreciones de grasa de lana y de grasa. Por ejemplo, las lanas de Lacaune, con una finura de 28-30  $\mu\text{m}$ , pueden clasificarse en el momento de la recogida según las categorías "aprisco", "semiabierto" o "al aire libre", con rendimientos estimados tras el lavado (proporción de fibras limpias tras el lavado) de 35-40%, 40-45% y 50-55% respectivamente. (<sup>iv</sup>fuente Jean Rouanet)

Las variaciones de rendimiento serán tanto más importantes cuanto que las lanas serán más finas y naturalmente más gordas, lo que no es característico de las lanas pirenaicas que estamos estudiando.

Este es un criterio de negociación de la lana recogida de los ganaderos y está justificado. Un buen rendimiento es beneficioso para el transformador, que verá reducidas las cantidades de lana bruta necesarias para la misma producción. En cuanto a la gestión de los residuos del lavado, también significa que hay que desechar menos material de un lote de lana durante el lavado para la misma cantidad de lana limpia obtenida del lavado.

## 2.2 Composición química y características físicas de la grasa de lana y la escoria de grasa de lana <sup>v</sup>

### 2.2.1 Grasa de lana

Cuando se extrae de los baños de lavado, tiene un color amarillo sucio y un olor a oveja. La grasa de lana cruda tiene que ser refinada para que se utilice lo menos posible en sus diversos campos de aplicación. Cuando se purifica, se conoce como lanolina. Su punto de fusión es de 35-40 °C. Es insoluble en agua, pero puede emulsionarse fácilmente con agua caliente y detergente para facilitar su separación de la fibra.

Es soluble en disolventes orgánicos no polares como el diclorometano o el hexano.

La grasa de lana (técnicamente, es en realidad una cera) es un éster de ácidos grasos de alto peso molecular. Los alcoholes son esteroides, alcoholes triterpénicos y alcoholes de cera. El compuesto principal (colesterol  $\text{C}_{27}\text{H}_{45}\text{OH}$ ) representa el 30-40% de la parte insaponificable de la grasa de lana. La parte saponificable contiene ésteres de ácidos grasos saturados, como los ácidos ceroico, esteárico y palmítico, con pequeñas cantidades de ácidos grasos libres.

#### Lanolina

La lanolina es de color amarillo pálido, de consistencia cerosa y con propiedades emolientes (suavizantes). Se funde a 36 - 42°C. Es insoluble en agua, pero puede mezclarse sin separación hasta el doble de su peso en agua, es ligeramente soluble en alcohol caliente y fácilmente soluble en éter y cloroformo.

Se mezcla y combina bien con prácticamente todos los demás productos cosméticos y farmacéuticos debido a las fuertes propiedades emulsionantes y penetrantes de la lanolina. Sus propiedades adhesivas lo convierten en un excelente candidato para su uso como plastificante en adhesivos y resinas. Además de su uso en las industrias cosmética y farmacéutica, los derivados de la lanolina se utilizan habitualmente en muchos sectores industriales, como los plásticos, los lubricantes, los aceites textiles, el hormigón, las pinturas y las tintas. La lanolina puede saponificarse para producir ácidos grasos de lana y alcoholes de lana que pueden servir como fuente de colesterol que puede utilizarse como materia prima para la producción de vitamina D. La empresa Stella, situada en Mouscron (Bélgica), cerca de Tourcoing, es uno de esos refinadores especializados en la química de la grasa de lana. Para saber [más sobre Stella](#)

## 2.2.2 La grasa de lana

El vellón es el componente soluble en agua del vellón. Se forma cuando la transpiración se seca en la fibra y, a diferencia del alto contenido de sodio del sudor humano, consiste principalmente en sales de potasio de ácidos grasos y péptidos (Truter, 1956; Hoare y Stewart, 1971). También contiene otros metales, materiales inorgánicos en forma de sales principalmente de ácidos orgánicos solubles en agua, péptidos segregados o derivados de la lana, componentes solubles en agua o fácilmente emulsionables, secreciones de las glándulas sebáceas y sustancias solubles procedentes de contaminantes como la suciedad y la materia vegetal, la urea y los tintes. El contenido de potasio de la grasa de lana es de aproximadamente 25-30% y no varía significativamente entre las razas, representando el 90% de los cationes presentes (Stewart, 1988; Bateup et al., 1996). La grasa de lana incluirá una serie de sustancias que no pueden considerarse verdaderos productos fisiológicos, como los compuestos producidos por la degradación fotoquímica de la fibra y las secreciones glandulares modificadas por reacciones fotoquímicas. Dado que las soluciones de grasa de lana son medios excelentes para el crecimiento de bacterias y hongos, también habrá productos del metabolismo microbiano en las soluciones maceradas (Stewart, 1988).

Es la grasa de la lana la que da al vellón su potente olor a oveja. La lanaurina, un pigmento de la bilis, le da su característico color marrón-rojo.

Las sales solubles de los ácidos carboxílicos constituyen el 65% de los componentes de la grasa de lana. La parte de ácido orgánico incluye los ácidos fórmico, acético, propiónico, butírico, valérico, oxálico, succínico, glutárico\*, málico, glicólico, cítrico\* y otros. Algunos de los compuestos orgánicos aislados de la grasa de lana figuran en los apéndices. El principal elemento mineral es el potasio, que constituye el 60% del residuo de grasa de lana calcinada<sup>8</sup>. La grasa de lana es soluble en disolventes polares como el agua y el alcohol. Su pH oscila entre 5,5 y 8,4 para las lanas merinas y entre 6,9 y 10,0 para las lanas cruzadas.

## 2.2.3 Contaminación microbiana

La lana como vellón de las ovejas, durante las múltiples etapas de fabricación y en su uso, está continuamente sujeta a la contaminación por microorganismos. Esta flora bacteriana puede incluir organismos patógenos, así como bacterias no patógenas, que son capaces de multiplicarse rápidamente en condiciones favorables. El

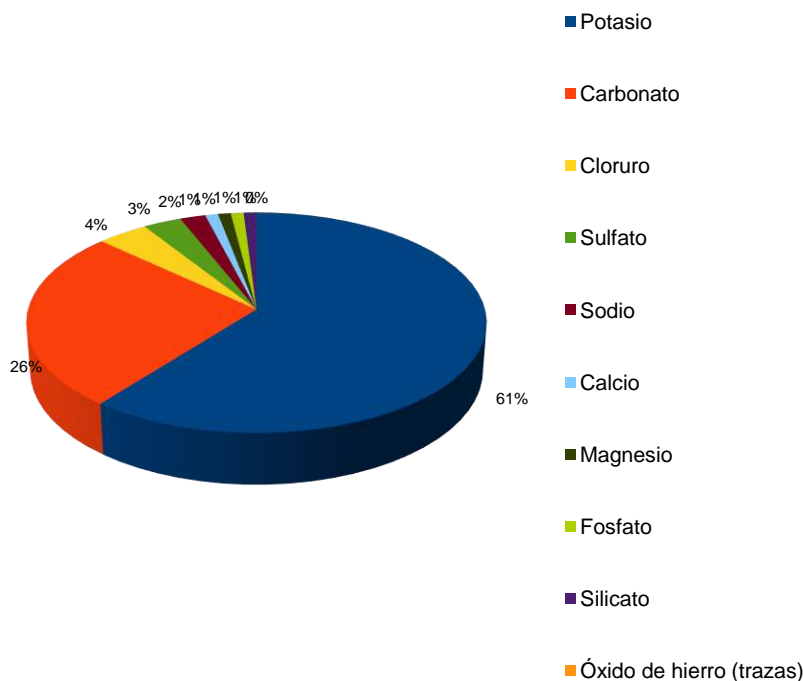


Figura 1: composición de la grasa de lana tras la calcinación

problema se hace visible cuando la lana adquiere un color mohoso que puede ir acompañado de una pérdida de resistencia u otras formas de degradación. El moho se forma en el almacenamiento de la lana cuando las balas se humedecen. La siguiente tabla muestra las cantidades comparativas de moho y bacterias presentes en la lana húmeda y seca. <sup>vii</sup>

Tabla 1: Recuentos de bacterias y mohos por gramo de lana <sup>viii</sup>

	Lana cruda	Lana batida	Lana lavada en húmedo	Lana lavada en seco
Molde	2 700	36 000	300	300
Todos los tipos de bacterias	1 200 000	17 000 000	65 000 000	3 400 000
Esporas de bacterias	190 000	210 000	100 000	110 000

El trillado difunde el moho y las bacterias y provoca una mayor distribución de las esporas en la superficie de las fibras. En el caso del moho, el desengrasado elimina la mayor parte del contaminante, pero da lugar a un mayor número de bacterias debido a la redistribución en una superficie mayor. Sólo el lavado seguido del secado por calor ha sido eficaz para inactivar la contaminación bacteriana. Se ha comprobado que en los lavados modernos de lana con etoxilatos de detergente a 65°C, la mayoría de los organismos mueren antes de

llegar al baño de peróxido (peróxido de hidrógeno utilizado para blanquear las lanas)<sup>20</sup>. Como resultado del proceso de secado, el número total de bacterias de todo tipo se ha reducido de 65.000.000 a 3 400 000. Esto sugiere que el calentamiento de la fibra para su secado actuó como una pasteurización e inactivó las formas vegetativas menos resistentes al calor.

Tabla 2 muestra el número medio de bacterias y hongos en 30 lanas lavadas antes y después del almacenamiento en estudios de almacenamiento simulado.

Tabla 2: Número de microorganismos en la lana lavada (Número medio / gramo<sup>21</sup>)

	Antes del almacenamiento	Después del almacenamiento
Bacterias	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>
Setas	<10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>

En condiciones favorables, la presencia de más de 10<sup>4</sup> y 10<sup>3</sup> bacterias por gramo de lana puede provocar su biodegradación, mientras que los daños causados por el ataque de hongos fueron menos agudos.

## 2.3 Expectativas del lavado de lana

El lavado de la lana es la operación de preparación de las fibras de lana, imprescindible antes de cualquier transformación industrial. En inglés utilizamos el término " wool scouring ", que es más evocador de la intensidad de las múltiples tareas que conducen a la liberación de las fibras de todos los contaminantes que acabamos de enumerar. Los lotes de lana lavada se controlan finalmente según las normas internacionales para evaluar el contenido residual de materia mineral, materia vegetal y grasa.

En función de los requisitos de procesamiento en las hilanderías, cardadoras y peinadoras modernas, se suele considerar óptima la lana lavada con un contenido de grasa residual de entre el 0,4 y el 1 %. (BREF página 347)

Sin embargo, los umbrales de "descontaminación" de las fibras varían según el destino del lote de lana lavada:

- Las lanas destinadas al acolchado tradicional tendrán, por ejemplo, un mayor contenido de grasa residual en la lana lavada (2-4% fuente Jean Rouanet<sup>ix</sup> ) que si se destinan a la industria textil o de telas no tejidas. Las hilanderías de rueda o las antiguas hilanderías toleran el contenido de grasa de la lana, ofreciendo más suavidad y facilitando así el hilado. Por el contrario, las altas velocidades de las hilanderías modernas se combinan con una mayor exigencia de características homogéneas de un lote de lana y bajos niveles de grasa residual. La norma internacional para la lana bien lavada responde a esta exigencia.

- El colchonero prestará especial atención al olor de la lana lavada en función del proceso de lavado, pero también a la resiliencia (el muelle, la hinchazón) de las lanas, posiblemente afectada por el batido intensivo de las lanas para extraer las partículas vegetales y minerales.

- los materiales textiles más nobles no toleran la contaminación del lote de lana lavada con residuos vegetales o con fibras de un lote previamente lavado, a pesar del cuidado puesto en la limpieza del equipo entre dos lotes sucesivos de lana. Se puede imaginar, por ejemplo, cómo el cuidado puesto en crear un lote de finura o de color homogéneo a partir de ovejas merinas o de una selección de razas de lana de color puede verse afectado por una ínfima proporción de lana residual de un lote anterior. Estas fibras extrañas estarán inevitablemente presentes en el producto final. El riesgo es aún mayor si el tamaño del lote a lavar es pequeño en relación con la capacidad de producción de las instalaciones. El tránsito entre dos lotes consecutivos para permitir la limpieza y preservar la integridad de los lotes tiene muchas implicaciones en el coste del lavado (suspensión de la producción que provoca el consumo de energía para mantener el calor de los baños y el secador y tiempo de trabajo adicional).

## 3 Métodos de lavado de la lana

Para entender la eliminación de la grasa de lana, es importante tener en cuenta que los aceites, las grasas y los

- son insolubles en agua
- son solubles en disolventes orgánicos, como el white spirit.
- forman emulsiones cuando se agitan en agua que contiene jabón o detergente. Una emulsión es la dispersión de un líquido en otro. Por ejemplo, la leche es una emulsión.

Así, un aceite, una grasa o un lubricante pueden ser eliminados por uno de los siguientes métodos:

- Transformación del aceite, la grasa o el jabón mediante un álcali. Esto se llama saponificación. La grasa contenida en el aceite o la grasa se transforma en jabón por la acción del álcali (pero en el caso de la lana, demasiado álcali y/o demasiado tiempo puede dañarla).
- Emulsión con jabón u otro tensioactivo, como el detergente. La emulsión significa que la grasa se dispersa en forma de microgotas en otro líquido (durante el lavado de la lana, el otro líquido es el agua).
- Disolución de aceite, grasa o grasa con un disolvente orgánico.

[Más información en 4 páginas sobre saponificación, tensioactivos o detergentes.](#)

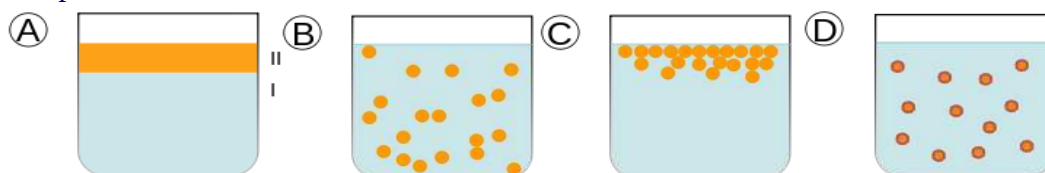
A. Deux liquides non-miscibles

B. Émulsion instable.

C. Les deux liquides se séparent progressivement.

D. Un tensioactif (ou agent de surface) entoure les gouttelettes d'un des liquides, stabilisant l'émulsion.

Fuente [Wikipedia](#)



### 3.1 Principios de lavado

El lavado de la lana debe separar las fibras no sólo de la grasa de la lana, sino también de la grasa y la suciedad. Para ello, el lavado de la lana utiliza una de las dos técnicas, el lavado con disolventes o el lavado con agua:

- El lavado con disolventes elimina la grasa de lana por disolución y tanto la grasa de lana como las impurezas por dispersión.
- El lavado con agua elimina la grasa de lana por saponificación y/o emulsión, la grasa de lana por disolución y las impurezas por dispersión.

## 3.2 Lavado con disolventes

La técnica del lavado con disolventes se experimentó en distintas partes del mundo a partir de los años 50, pero no tuvo mucho éxito.

En un lavado con disolvente, el disolvente disuelve eficazmente la grasa de la lana, pero es ineficaz para eliminar la grasa de la lana, la suciedad y los materiales proteicos. Esta operación requiere un proceso adicional para su eliminación. El desengrasado con disolventes es una solución atractiva, ya que recupera casi toda la grasa de lana de los vellones y evita el problema de tratar los efluentes cargados de grasa de lana que se encuentran en los lavados de lana convencionales. <sup>x</sup> Sin embargo, dependiendo de la técnica utilizada, el lavado con disolventes está sujeto a controversia en cuanto a la calidad del lavado obtenido y a la posible nocividad para la salud y el medio ambiente de las emisiones y los residuos de los disolventes utilizados. <sup>xixii</sup>

El número de lavados industriales basados en el principio del desengrasado con disolventes es diminuto en todo el mundo. Parece que actualmente ya no hay ninguno en Europa.

Sin embargo, es una práctica habitual de laboratorio medir el contenido de grasa residual y separar otros contaminantes en muestras de lana lavada o en el análisis de muestras de lana con grasa de lana (extracción Soxhlet).

## 3.3 Lavado por saponificación y emulsión

Este es el principio de lavado universal e intemporal, tanto si se lava un vellón en la bañera (¡sí, se puede hacer!) como en una línea de lavado con una capacidad de 5 toneladas de espuma de lana por hora. Hay constantes, sea cual sea la capacidad de lavado requerida:

- El proceso de lavado consta de una fase de lavado, una fase de aclarado y posiblemente una fase de remojo previa.
- la temperatura de los baños: El punto de fusión de la grasa de lana es de unos 40°C. Por lo tanto, la temperatura de 40°C es la mínima para fundir y eliminar la grasa. Los detergentes sintéticos no iónicos, si se utilizan, pierden su eficacia más rápidamente por debajo de los 60°C, por lo que las temperaturas de lavado y aclarado suelen estar entre 55 y 70°C. <sup>xiii</sup>
- Los volúmenes de agua necesarios son, en principio, grandes. Las instalaciones convencionales requieren grandes cantidades de agua y energía. Se registra un consumo de agua de 20-30 l/kg de grasa de lana, aunque <sup>xiv</sup> la optimización de las modernas líneas de lavado permite un consumo neto mucho menor gracias al reciclaje de los baños. Hay que tener en cuenta la dureza del agua en función de la elección del detergente y la presencia de iones metálicos como el hierro puede afectar al teñido de la lana lavada.
- la carga de contaminación de los efluentes producidos es elevada.

### 3.3.1 Impacto medioambiental

Los principales problemas medioambientales asociados a este proceso de lavado de la lana se deben a los vertidos al agua. Sin embargo, también hay que tener en cuenta los residuos sólidos, los lodos producidos y las emisiones a la atmósfera.

Algunas nociones que hay que conocer:

*Materia oxidable, materia orgánica carbonosa o nitrogenada (sustancia biológicamente derivada) [OM]: La materia oxidable constituye la mayor parte de la parte biodegradable de la contaminación orgánica vertida. Para eliminarlas, las bacterias presentes en el medio utilizan el oxígeno disuelto en el agua. Los grandes vertidos de materia orgánica pueden provocar déficits importantes de oxígeno disuelto, alterando así el equilibrio biológico de un curso de agua.*

*Demanda química de oxígeno [DQO]: Consumo de oxígeno por parte de oxidantes químicos fuertes para oxidar las sustancias orgánicas y minerales del agua. La demanda química de oxígeno (DQO) se utiliza para evaluar la carga contaminante de las aguas residuales.*

*Demanda biológica de oxígeno [DBO]: La cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente los materiales orgánicos (biodegradables) (oxidación de los materiales orgánicos biodegradables por parte de las bacterias). La demanda biológica de oxígeno (DBO) es un índice de contaminación del agua que permite evaluar la fracción biodegradable de la carga contaminante carbónica de las aguas residuales, y se calcula generalmente después de 5 días a 20°C y en la oscuridad: se llama entonces DBO5.*

*Sólidos en suspensión [SST]: Partículas sólidas, minerales u orgánicas, suspendidas en el agua. El agua aparece turbia y coloreada.*

*Equivalente de población [e.p.]: Unidad de evaluación de la contaminación orgánica del agua que representa la cantidad de materia orgánica vertida por día y por habitante. Esta unidad de medida facilita la comparación de los flujos contaminantes. Entre los parámetros que caracterizan la contaminación, la tratada en las plantas de tratamiento de aguas residuales se cuantifica por el equivalente de población. El habitante-equivalente se define, por el artículo R2224-6 del Código General de las Autoridades Locales, como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de cinco días de 60 gramos de oxígeno por día. (es decir, 135 g de demanda química de oxígeno (DQO), 15 g de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y 4 g de fósforo total en una cantidad media diaria de 120 litros de aguas residuales.*

*(Fuente: [Glosario sobre el agua y los medios acuáticos](#))*

**Para un lote de 1000 kg de grasa de lana gruesa**, para obtener 700 kg de lana lavada, se estima que se liberarán no menos de 150 kg de suciedad, 80 kg de grasa de lana y 50 kg de grasa en el agua de lavado y aclarado (BREF 2003, página 73).

La eliminación de los contaminantes presentes en el vellón crudo conduce al vertido de efluentes cuyas principales fuentes de contaminación son :

- sustancias orgánicas altamente concentradas en suspensión y en solución, junto con la suciedad en suspensión (impurezas),
- microcontaminantes procedentes de los medicamentos veterinarios administrados a las ovejas para protegerlas de los parásitos externos. Los detergentes también se encuentran en los efluentes acuosos, lo que contribuye a aumentar la demanda química de oxígeno (DQO) en los efluentes.

La carga potencial de contaminación orgánica causada por el lavado de nuestro lote de 1000 kg de lana gruesa en grasa de lana corresponde a una cantidad de DQO (demanda química de oxígeno) de 315 kg en los efluentes (315 g de DQO/kg de lana gruesa en grasa de lana).<sup>1</sup> Estos efluentes de lavado de lana corresponderían, según la unidad utilizada para el tratamiento de las aguas residuales comunitarias ([unidad equivalente de población](#)), a los vertidos domésticos de 2300 habitantes. En consecuencia,

<sup>1</sup> supuesto adoptado en BRIEF TEXTILE 2003 - 4.10.10 Tratamiento de las aguas residuales generadas por la Lavado de lana páginas 566-567 - Regla de cálculo de la DQO teórica en función del contenido de contaminantes del vellón página 73



**Por lo tanto, si no se toman medidas aguas arriba para reducir la cantidad de vertidos, un lavadero con una capacidad de una tonelada de suet de lana gruesa/día representa una amenaza medioambiental debido a que el contenido orgánico de estos efluentes supone por sí solo una contaminación diaria equivalente a una población de 2.300 habitantes.**

De hecho, el lavado de la lana es potencialmente la actividad más contaminante de toda la industria textil. Desde los años 70, el aumento de las consideraciones medioambientales y de los costes energéticos ha llevado a los operadores y fabricantes de equipos de lavado a tener en cuenta el consumo de agua y energía en origen, así como la naturaleza y cantidad de los vertidos y su tratamiento. La cuestión del tratamiento del agua es hoy tan fundamental como la propia actividad de lavado de la lana.

Por ejemplo, la planta de lavado de La Môle Industrie en Mazamet, con una capacidad de 10 t de lana lavada/día, invirtió 1 millón de euros en 2001 en la construcción de [una planta de tratamiento de aguas](#), subvencionada en gran parte por las autoridades locales, para cumplir la normativa sobre instalaciones clasificadas en la directiva IPPC (La Môle Industrie [cesó su actividad en 2003](#), poco después de que entrara en funcionamiento esta planta de tratamiento).

Por su parte, el proyecto Alpes Provence Laine, etiquetado como Pôle d'Excellence Rurale en 2011, preveía en su expediente PER<sup>xv</sup> 2010 una inversión de 480.000 € HT para una columna de lavado con una capacidad de 3t de lana suint/día y 360.000 € HT para la unidad de tratamiento de efluentes de lavado por evaporación/condensación.

### 3.3.2 Detergentes

La función de los detergentes/tensioactivos es separar las gotas de grasa de su soporte -la fibra- para ponerlas en solución por emulsión bajo el efecto de la agitación.

Para lograr la emulsión de la grasa, los tanques de lavado reciben un detergente y, a menudo, carbonato de sodio u otros álcalis, que actúan como constructores. Por lo general, las concentraciones de detergente y constructor son más altas en el primer tanque y disminuyen en los siguientes.

Los tensioactivos sintéticos no iónicos son los detergentes utilizados principalmente por los lavaderos de lana, concretamente los etoxilatos de alcohol.

(...) El último paso consiste en aclarar la lana haciéndola pasar por tanques que sólo contienen agua. <sup>xvi</sup>

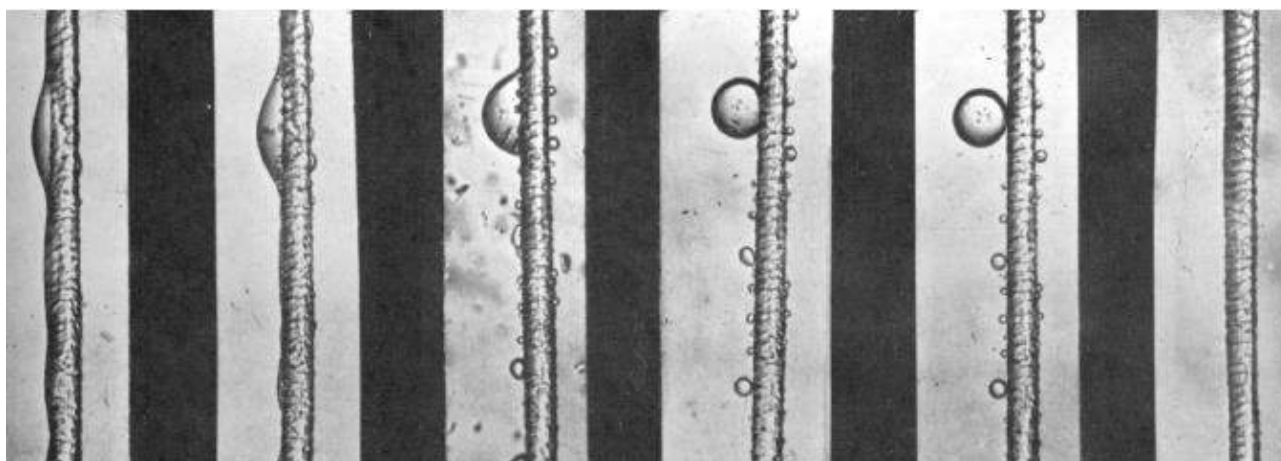


Figura 2: [Proceso de separación de la película de grasa de la fibra por la acción de un detergente - Madera 2011-](#).

### Saponificación

Los lavados más antiguos practican más generalmente el lavado por saponificación, que parece ser más apropiado para las lanas cruzadas o gruesas. El establecimiento de grandes lavaderos de lana se basaba entonces

en el acceso a agua dulce en cantidad suficiente, condición imprescindible para este principio de lavado, debido a la insolubilidad de los jabones de calcio y magnesio. El uso de detergentes sintéticos a partir de los años 60 permitió prescindir de esta necesidad de agua dulce.

La ayuda de un álcali, normalmente carbonato sódico, es necesaria para emulsionar la grasa de lana y la suciedad y para conseguir una saponificación parcial de los ácidos grasos libres de la grasa de lana con la formación de jabones naturales. Es necesario añadir grandes cantidades de jabón para complementar los jabones naturales que se forman por saponificación durante el proceso de lavado.

El lavado de la lana con jabón y álcalis es un proceso que debe realizarse con cierto cuidado debido a la sensibilidad de la lana a los daños causados por los álcalis.

La masa de saponificación durante el proceso de lavado depende del contenido de ácidos grasos libres de la lana, que varía según la naturaleza y el origen de la lana. <sup>xvii</sup>

La emulsión resultante es más fácil de desestabilizar por acidificación para recuperar la grasa (*craqueo ácido*) durante el tratamiento de los efluentes que la emulsión obtenida con detergentes sintéticos.

### Detergentes sintéticos

Son activos independientemente de la dureza del agua. Originalmente eran aniónicos y se descubrió que el álcali seguía siendo necesario para evitar la pérdida excesiva de detergente por adsorción a la lana. La posterior introducción de detergentes no iónicos eliminó esta limitación y la lana pudo lavarse sólo con estos detergentes. El resultado de este proceso de emulsión de la grasa (que tiene lugar principalmente a unos 60°C, por encima de la temperatura de fusión de la lana) es una dispersión extremadamente estable de la grasa y la suciedad de la lana que desafía la mayoría de los métodos convencionales de demulsificación y separación de fases. Esta estabilidad de la dispersión complica enormemente los problemas de tratamiento de los efluentes. <sup>xviii</sup>

Algunos detergentes sintéticos se han eliminado debido a su baja biodegradabilidad o toxicidad ambiental. <sup>xix</sup>

### Lavado con rezuma

El suint en solución acuosa ofrece propiedades detergentes conocidas desde hace mucho tiempo. De hecho, las sales de potasio de la grasa de lana reaccionan con otros compuestos del vellón y producen jabones al pH natural del agua del exudado, más alcalino para las lanas cruzadas que para las lanas finas, lo que permite una acción detergente suave sin otros aditivos. Esta acción detergente de la grasa de lana está en el origen de los procesos de lavado de lana gruesa basados exclusivamente en este principio (lavado de grasa de lana o Duhamel - 1920) o basados en una combinación de baño de lavado de grasa de lana concentrada (prelavado) y lavado por saponificación o emulsión clásica (procesos Lo-Flo y Siroscour -1977). <sup>xxi xxii</sup>

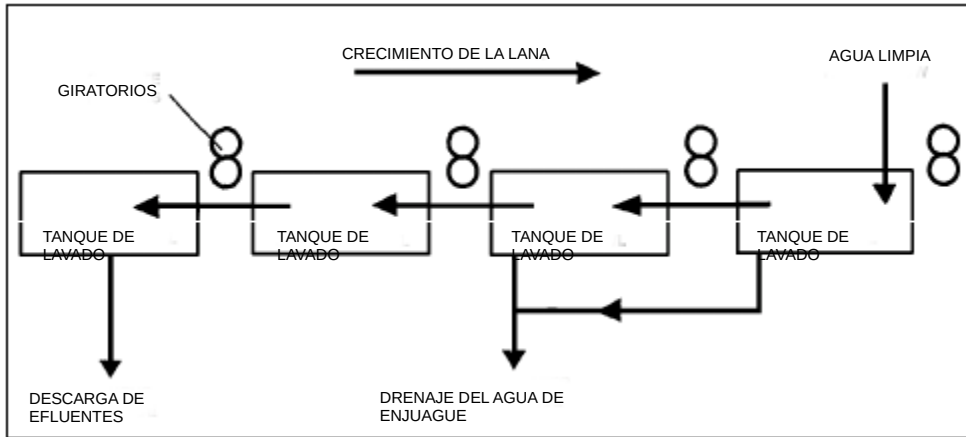
## 3.3.3 Consumo de agua y energía

El consumo global de las instalaciones es muy variable en función de la eficacia de los equipos y los detergentes. Por ejemplo, los volúmenes de agua de aclarado utilizados son 12 veces mayores que los volúmenes de lavado en una unidad industrial de Nueva Zelanda, que dispone de abundante agua a bajo coste y procesa lana gruesa con un alto rendimiento. Por el contrario, una planta de lavado de lana fina de bajo rendimiento en Australia con una estricta gestión del agua es capaz de reducir los volúmenes de agua al mismo nivel tanto en el aclarado como en el lavado. (fuente Savage, 2002, *Erreur ! Signet non défini*. página 14). Los beneficios de reducir el consumo de agua son múltiples:

- Mediante la recirculación del agua desde los baños más ligeros (aclarado) hasta los más pesados (lavado), combinada con la función de los sistemas de depuración de baños en continuo mediante filtración, decantación, recuperación de grasas, etc., las modernas instalaciones de lavado en continuo permiten reducir enormemente la renovación de baños y, por tanto, la toma de agua de la red (bajo consumo *neto* de agua).

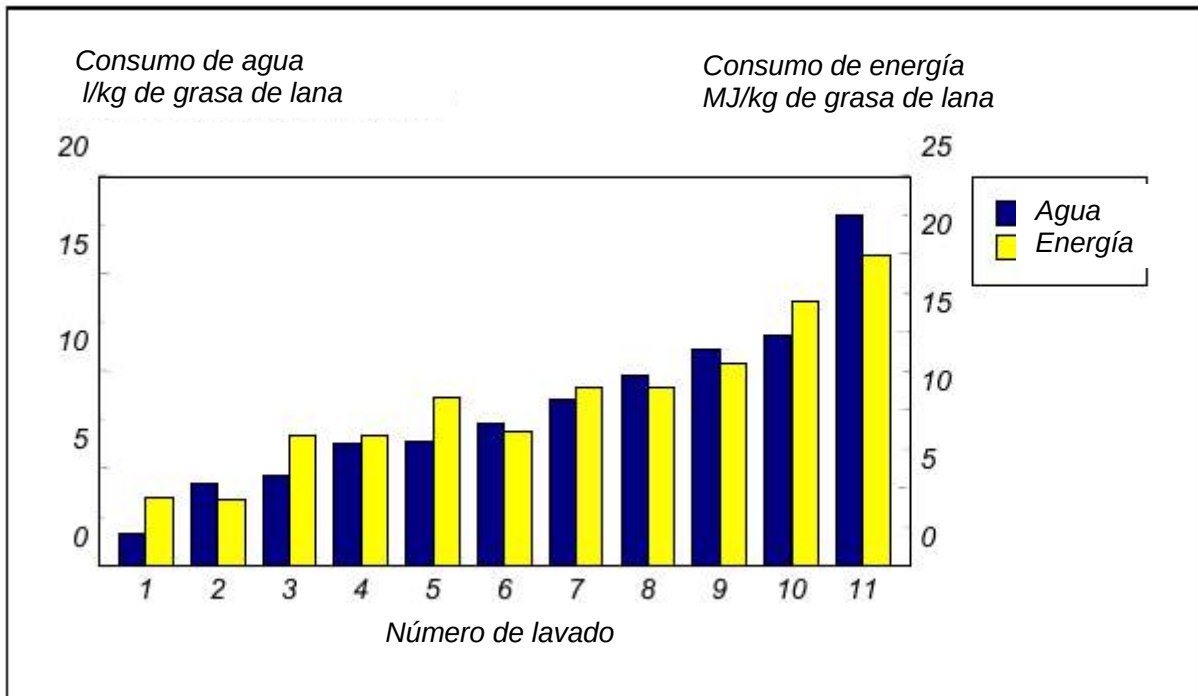
- El reciclaje del agua y el calor de los baños a través de estos dispositivos de depuración integrados en el proceso reduce el consumo de energía al disminuir la cantidad de agua fría que entra en la red.
- Esto también reduce el volumen de los efluentes.

Dibujo 1:  
danesa, 1.



La siguiente curva muestra la correlación entre el consumo de agua y el de energía. La mayor parte de la energía consumida se atribuye al calentamiento de los baños. También hay un consumo neto de agua muy bajo debido a la recirculación y purificación de los baños y posiblemente del evaporador/condensador con reciclaje de agua. Como mínimo, las columnas de lavado continuo, incluso las antiguas, alimentan los tanques de contracorriente como se muestra en la figura anterior.

Dibujo  
Reino



### 3.3.4 Contaminación de los vertidos

El lavado de la lana produce efluentes altamente contaminantes y muy difíciles de degradar biológicamente, especialmente la grasa. Otros compuestos de los efluentes son los pesticidas que se aplican a la lana para controlar diversas plagas de las ovejas y el potasio, un nutriente vegetal contenido en la grasa de la lana. Todos ellos plantean importantes problemas de tratamiento y eliminación de efluentes. Los contaminantes del vellón de lana gruesa contribuyen a la carga de DQO en un 20% para la grasa de lana, en un 50% para todas las grasas y en un 30% para la suciedad. Un lavado industrial típico produce una carga orgánica en sus efluentes equivalente a la de una ciudad de unos 30.000 habitantes. (Christoe, 1996b; Russell, 1996a; Jones y Westmoreland, 1998).

**El tratamiento de los efluentes es uno de los mayores retos para una empresa de lavado de lana.** <sup>xxiii</sup>

Efluentes de lavado de alta carga

Efluente de lavado



Figura 3: Proceso de tratamiento integrado de los efluentes del lavado primario de lana - (Matthew J. Savage)

Tabla 3: Características típicas del efluente (tras la extracción de la grasa de lana) <sup>xxiv</sup>

Naturaleza de la contaminación	Efluentes de lavado muy cargados	Agua de enjuague
Demanda biológica de oxígeno (DBO5) [mg/l]	9 800 - 50 000	200 - 1 000
Demanda química de oxígeno (DQO) [mg/l]	30 000 - 100 000	500 - 2 000
Sólidos en suspensión (TSS) [mg/l]	20 000 - 60 000	100 - 700
Materia extraíble por disolvente (SEM)* [mg/l]	1 000 - 2 000	50 - 1 500

\* El MEH se compone de detergente y grasa de lana

Tabla 4 muestra la composición del efluente de un lavado que trata un lote de lana australiana (lana merina fina, alto contenido en grasa de lana), consumo de agua 10l/kg de lana cruda, primera extracción de 32% de grasa de lana y 42% de impurezas.

Tabla 4: Composición de un efluente de lavado primario <sup>xxv</sup>

Constituyente	Cantidad (mg/l)
Grasa de lana	3000-6000
Suint	3000-6000
Tierra	4000-7000
Pesticida	<1
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	2500-5000
Demanda química de oxígeno (DQO)	15000-30000
Sólidos en suspensión	5000-10000
Nitrógeno total	200-500
Potasio	1000-1500
Amoníaco	40-120
Fósforo	20-50
Total Tensioactivos	300-600
Sulfuro	<1
Sulfato	30-100
Conductividad eléctrica	1250-4000 $\mu$ siemens cm <sup>-1</sup>
pH	7.5

Tabla 5 muestra la composición de un efluente de lavado industrial después de un tratamiento que reduce el contenido de DBO5 en un 90-98% y el contenido de DQO en un 80% mediante la floculación de la emulsión de grasa de lana y el proceso biológico (CF-B). El resultado es un efluente desgrasado, concentrado en sales solubles de la grasa de lana, rico en potasio. El diagrama de este proceso de tratamiento de efluentes se muestra en

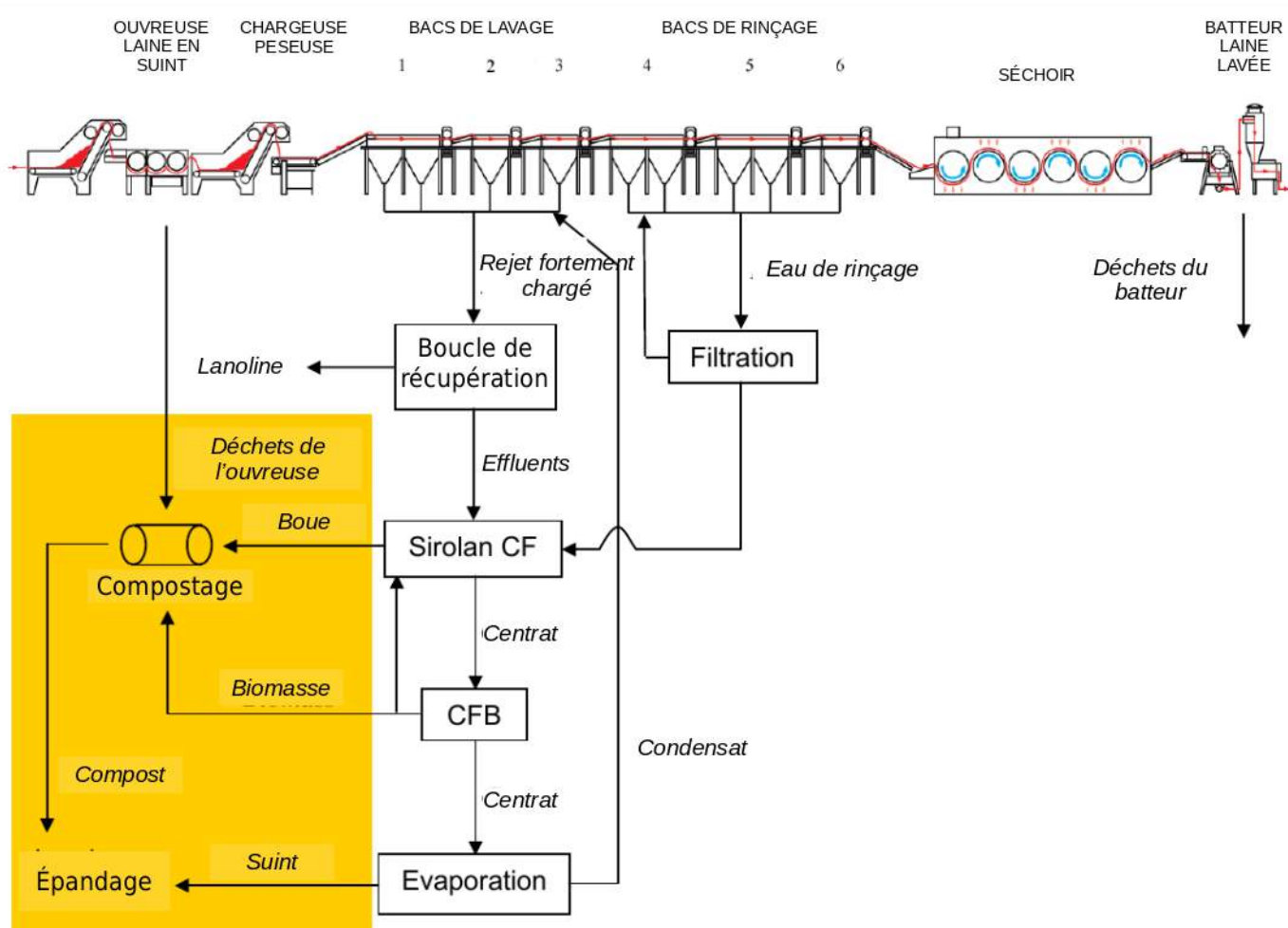


Figura 8.

Tabla 5: Composición de una típica solución concentrada de sangrado (Savagexxxviii, página 21)

	Contenido de suciedad (g/l) Suint CF-B
Nitrógeno total	13,2
Nitrógeno disponible	2,2
Potasio	89,7
Fósforo	0,9
Cloruro	73,6
Cobre	0,007
Cromo	0,004
Níquel	0,005
Zinc	0,016
Cadmio	0,000
Plomo	0,001

## Residuos o subproductos

*La actividad de lavado de la lana y el tratamiento de los efluentes correspondientes producen dos residuos principales: la grasa y los lodos.*

*Dependiendo del grado de oxidación, se puede recuperar entre el 20 y el 40 % de la grasa inicialmente presente en la lana cruda. Esta grasa recuperada debe considerarse como un subproducto y no como un producto de desecho, ya que puede venderse a los refinadores de lanolina para obtener productos de alto valor añadido en la industria cosmética. (...) La grasa agrietada por el ácido no tiene valor de mercado y debe eliminarse en el vertedero.*

*Los lodos generados como resultado del tratamiento físico-químico de las aguas residuales también contienen grasa, impurezas y una proporción de pesticidas, que están fuertemente asociados a la grasa o a las impurezas.*

*Los concentrados y los lodos resultantes de la evaporación o de la filtración por membrana pueden contener grasa de lana, cargada principalmente de cloruro de potasio y de sales potásicas de ácidos grasos. La grasa de lana es un subproducto que puede utilizarse en la agricultura. (fuente BRIEF TEXTILE 2003 página 75)*

Los batidores situados a la entrada y salida del lavado producen materia orgánica seca mezclada con polvo de lana.

## **4 Aspectos reglamentarios**

### **4.1 Instalaciones clasificadas para la protección del medio ambiente**

El Código Medioambiental, de acuerdo con la Directiva europea sobre IED, especifica en su [anexo \(2\) del artículo R511-9](#) que :

**la actividad de lavado de lana, si supera una capacidad de tratamiento de 500 kg/día, se incluye en la partida 2730 de la lista de Instalaciones Clasificadas para la Protección del Medio Ambiente (ICPE).**

Como tal, está sujeta a autorización administrativa. La [autorización la expide el Prefecto del Departamento.](#)

Cuadro 6: Código de Medio Ambiente - Artículo Apéndice (2) del artículo R511-9 (extracto)

N°	A - NOMENCLATURA DE LAS INSTALACIONES CLASIFICADAS		B - IMPUESTO GENERAL SOBRE ACTIVIDADES CONTAMINANTES		
	Designación de la clave salarial	A, D, S C	Rayón	Capacidad de la actividad	Coef.
2730	Subproductos de origen animal, incluidos los desechos, despojos y canales (tratamiento), incluido el lavado de lana de pieles, la lana cruda, la grasa de lana, con exclusión de las actividades cubiertas por otras partidas de la nomenclatura, los establecimientos de diagnóstico, investigación y enseñanza :			Siendo la capacidad de procesamiento:	
	Con una capacidad de procesamiento de más de 500 kg/d	A	5	a) más de 50 t/d	8
				b) más de 10 t/d, pero no más de 50 t/d; o	2

Rayon d'affichage exprimé en kilomètres.  
A: autorización, E: registro, D: declaración, C: sometido a la inspección periódica prevista en el artículo L. 512-11 del Código del Medio Ambiente.

#### 4.1.1 El marco reglamentario de las instalaciones clasificadas para el medio ambiente ICPE

La Directiva europea 2010/75/UE sobre emisiones industriales, conocida como Directiva IED, en vigor desde 2012, es una evolución de la Directiva de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC). "Mantiene sus principios rectores al tiempo que los refuerza y proporciona un marco de aplicación más estrecho para evitar distorsiones en la aplicación entre los Estados miembros", señala el informe al Presidente de la República sobre la Ordenanza. (<https://www.actu-environnement.com>)

La Directiva sobre IED pretende garantizar un enfoque integrado de la contaminación y un alto nivel de protección del medio ambiente. El enfoque integrado significa que las condiciones de la autorización de explotación tienen en cuenta todo el comportamiento medioambiental de la empresa, es decir, las emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo, la generación de residuos, el uso de materias primas, la eficiencia energética, las emisiones acústicas, la prevención de accidentes, la gestión de riesgos, etc.

#### 4.1.2 Presentación de los BREF y las MTD

Un enfoque comunitario y sectorial: la Directiva IED confía a cada Estado miembro el control de las emisiones industriales de las instalaciones clasificadas (ICPE) sobre la base de dos documentos de referencia elaborados a nivel europeo con todas las partes interesadas para cada uno de los sectores industriales afectados:

##### **BREF (documentos de referencia) y MTD (mejores técnicas disponibles)**

Estos documentos técnicos son la referencia europea para juzgar el rendimiento de una instalación y determinar



las condiciones del permiso de explotación. Son herramientas extremadamente útiles para evaluar la idoneidad de una línea de lavado para su sistema de tratamiento y son indispensables cuando se trata de una instalación clasificada como Instalación Clasificada Medioambiental.

Consulte un artículo sobre el tema: [Revisión de los BREF: área de residuos ¿Qué cambia para los gestores? ¿Cómo prepararse para ellas? Astee , revista TSM n°12 2017 páginas 23-34](#)

### 4.1.3 Los BRIEFs

Cada BREF contiene, para un determinado sector económico :

- un inventario técnico y económico del sector;
- un inventario de las técnicas aplicadas en el sector cuando se elaboró el BREF;
- un inventario del consumo y las emisiones asociadas ;
- una presentación de las técnicas candidatas a MTD (mejores técnicas disponibles);
- una selección de los seleccionados como BAT ;
- una presentación de las técnicas emergentes.

### 4.1.4 BATs

El artículo L. 515-28 del Código de Medio Ambiente introduce el principio de aplicación de las mejores técnicas disponibles (BAT en francés, BAT por Best Available Technique en inglés). Este principio, ya presente en la directiva IPPC, se ve reforzado en la directiva IED "que establece, en particular, que los valores límite de emisión deben garantizar, salvo excepción, que las emisiones no superen los niveles de emisión asociados a las mejores técnicas disponibles descritas en las "Conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles" adoptadas por la Comisión", detalla el informe relativo a la Ordenanza.

El mismo artículo de la ley prevé la revisión periódica de las condiciones de explotación para tener en cuenta la evolución de las mejores técnicas. Esta revisión, prevista por la Directiva IPPC, se produce ahora con la adopción de las "Conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles" relativas a la actividad principal de la instalación.

*"Además de la participación del público en el procedimiento de autorización, ya prevista en la legislación francesa", la Directiva IED introduce dicha participación "al revisar la autorización en caso de uso de la posibilidad de excepción [en los niveles de emisión asociados a las mejores técnicas disponibles previstas en las conclusiones sobre las MTD] o cuando sea necesaria una revisión de las condiciones del permiso debido a la contaminación causada por la instalación", recuerda el informe. (Fuente [actu-environnement.com](http://actu-environnement.com))*

Las MTD se definen como el estado de la técnica aplicable a un determinado sector de actividad. No son técnicas resultantes de la investigación y el desarrollo ni técnicas avanzadas. Se autorizan las técnicas innovadoras no mencionadas en el BREF, siempre que den lugar a niveles de emisión iguales o mejores que los valores límite mencionados en las MTD. Las "Conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles" (conclusiones sobre las MTD) son documentos adoptados a nivel comunitario. Se publican al final de la revisión del BREF correspondiente. Las "conclusiones sobre las MTD" y los niveles de emisión asociados son

jurídicamente vinculantes desde la Directiva sobre las IED en 2010, mientras que antes sólo tenían valor informativo.

#### 4.1.5 Revisión de BRIEFs y BAT TEXTILE

El lavado de la lana se trata en el BREF Textil de julio de 2003, aún vigente. Este documento de 738 páginas abarca todos los problemas medioambientales conocidos en el sector textil en la fecha de su publicación y las MTD asociadas.

Un grupo de trabajo está llevando a cabo una revisión del BREF Textil. La primera versión de trabajo (Borrador) se publicó el 19/12/2019 y solo está disponible en inglés. Debería conducir a la publicación del [nuevo BREF textil en 2021](#).

Aunque este documento no está finalizado, su estudio es fundamental en un proyecto de instalación ya que integra los nuevos conceptos de la Directiva IED en vigor desde 2011, tiene en cuenta los casi 20 años de evolución del sector textil desde los BREF y las MTD de 2003 y ya esboza las próximas Conclusiones sobre las MTD y los Valores Límite de Emisión (VLE) en aire y agua que se adoptarán en su versión final.

El artículo L. 515-28 del Código de Medio Ambiente prevé la revisión periódica de las condiciones de explotación para tener en cuenta la evolución de las mejores técnicas. Así, en el plazo de un año a partir de la publicación de un BREF y de las conclusiones sobre las MTD, el operador debe presentar un expediente de revisión y, en el plazo de 4 años, las condiciones de explotación deben haberse adaptado a las nuevas conclusiones sobre las MTD.

Por lo que respecta a la actividad de lavado de lana, la publicación de las nuevas conclusiones del BREF TEXTIL y de las MTD previstas en 2021 debería, por tanto, conducir a una revisión de las condiciones del permiso en los 12 meses siguientes y a su aplicación hasta 2025 para las instalaciones existentes o, por supuesto, en cuanto las nuevas instalaciones soliciten un permiso.

#### 4.1.6 Consulte el BREF textil

- BRIEF TEXTILE 2003, versión actual en vigor :
  - Versión en francés (<https://aida.ineris.fr/guides/directive-ied/documents-bref>)  
[descargar el archivo comprimido](#)
    - el archivo TEX\_summary\_V1-0.pdf permite acceder al resumen interactivo del Resumen Técnico.
    - el documento V1valid\_Integrale2.PDF es el documento exhaustivo del BREF y la BAT Textil de julio de 2003 (738 páginas ). También [puede descargarse directamente en formato pdf a través de este enlace](#).
  - [Versión en español](http://www.ca.prtr-es.es/busqueda-documentos/textil) ( <http://www.ca.prtr-es.es/busqueda-documentos/textil> )
- [BRIEF TEXTIL 2021 EN PREPARACIÓN - DOCUMENTO DE TRABAJO descargar la versión previa al seminario \(D1\) de la revisión del documento BRIEF en inglés \(diciembre de 2019\)](#)

Servicios regionales competentes :

[Riesgos tecnológicos en Nueva Aquitania en el sitio web de DRÉAL](#)  
[Dirección Departamental del Territorio y del Mar \(DDTM\)](#)

Stéphane Boileau [stephane@etoileduberger.fr](mailto:stephane@etoileduberger.fr) tel 06 74 57 27 84

## 4.2 Cánones por contaminación del agua no doméstica y extracción de recursos hídricos

Los vertidos de agua o los lodos producidos por las actividades industriales acaban en el medio ambiente y pueden crear riesgos para la salud de los usuarios de las aguas subterráneas o superficiales y perturbar la vida acuática. El Código Medioambiental determina la tasa aplicable a las actividades no domésticas en función de las molestias causadas por la captación de agua y los efluentes producidos.

[Artículo L213-10 del Código Medioambiental, mencargado por la ley n°2018-727 del 10 de agosto de 2018 - art. 21 \(V\)](#)

*En aplicación del principio de prevención y del principio de reparación de los daños medioambientales, la Agencia del Agua establecerá y recaudará de las personas públicas o privadas tasas por daños a los recursos hídricos, al medio marino y a la biodiversidad, en particular tasas por contaminación de los recursos hídricos, del medio marino y de la biodiversidad. contaminación de las aguas, para la modernización de las redes de captación, para la contaminación difusa, para la captación de recursos hídricos, para el almacenamiento de agua en períodos de estiaje, para los obstáculos en los cursos de agua y para la protección del medio acuático. (...)*

[La Agencia del Agua Adur-Garona](#) es un establecimiento público encargado de aplicar las orientaciones de la política pública del agua en el territorio de la cuenca que cubre 1/5 del territorio nacional en el Gran Suroeste. La Agencia cobra tasas por la contaminación del agua, la modernización de las redes de captación, la extracción de recursos hídricos y cualquier actividad que repercuta en los medios acuáticos. Su objetivo es reducir el impacto de las actividades humanas en él.

[Deliberación n° DL/CA/18-56 - Fijación de las tasas de regalías 2019-2024](#)

[Deliberación n° DL/CA/18-58 - Métodos de cálculo y recaudación de derechos](#)

[Para más información sobre el cálculo de la tasa de contaminación no doméstica](#) en la página web de la cuenca Sena-Normandía

## 4.3 Solicitud de aprobación de un lavado de grasa de lana

En el marco de la evaluación del riesgo para la salud, la grasa de lana se clasificará como subproducto animal de la categoría 3 del Reglamento UE 1069/2009 (CE), aplicable a las diferentes categorías de subproductos animales no destinados al consumo humano, que pueden ser valorizados o eliminados.

El Reglamento 1069/2009 (CE) establece normas sanitarias relativas a los subproductos animales y productos derivados no destinados al consumo humano. Dicho Reglamento define el punto de partida sanitario, la explotación donde se produce la lana, y el punto final sanitario, el lavado de la lana. Indica los procedimientos que deben seguirse para garantizar la trazabilidad de los lotes de lana de principio a fin. Permiten identificar las operaciones intermedias hasta el punto final mediante el registro de un lote de lana en el momento de la recepción, la aprobación de los locales de almacenamiento y el lavado de la lana, el establecimiento de un documento de acompañamiento comercial durante el transporte, etc. También definen las medidas sanitarias básicas relativas al embalaje de la lana y a su transporte ("Laver la laine - Scouring wool" Erreur ! Signet non défini., p. 20-23).

[Guía disponible en el sitio web del Atelier - Laines d'Europe.](#)

## 5 Adaptación del lavado a su entorno

La capacidad de las instalaciones determinará en gran medida los condicionantes medioambientales que induce y las posibles formas de tratamiento o valorización de los efluentes. A medida que aumenta la capacidad, las necesidades de agua y la posible carga contaminante pasan a ser decisivas para la implantación de la línea de lavado.

Aquí hablaremos de la normativa y clasificaremos los lavaderos de lana en categorías según su capacidad y el tratamiento de los efluentes que podrían asociarse a ellos.

La carga de contaminación puede establecerse fácilmente en función de los volúmenes de lana lavada, y compararse con las capacidades de tratamiento de los efluentes domésticos, por ejemplo. La línea de lavado será más o menos fácil de modelar en función de la categoría de lavado, ya que las propuestas de los fabricantes de equipos de lavado son raras hoy en día para el lavado de pequeña capacidad (alrededor de 100 kg/día). Sin embargo, existen posibles soluciones en esta categoría mostrando ingenio en la adaptación de equipos de gran consumo desviados de su función inicial.

### 5.1 Adquirir una visión ampliada del lavado de la lana

La rencontre « Le lavage de la laine en Europe : urgence et avenir écologique » a eu lieu en novembre 2015 à Saugues (43). Venus de 15 pays européens, 150 professionnels de la filière laine se sont retrouvés pour partager des idées et rechercher des solutions.

El libro Washing Wool - Scouring Wool<sup>xxvi</sup>La rencontre « Le lavage de la laine en Europe : urgence et avenir écologique » a eu lieu en novembre 2015 à Saugues (43). Venus de 15 pays européens, 150 professionnels de la filière laine se sont retrouvés pour partager des idées et rechercher des solutions.

presenta las Actas de este encuentro: textos de las intervenciones, informes de los debates y visitas. Esta publicación bilingüe francés-inglés es una herramienta de trabajo con información técnica, disposiciones reglamentarias, una visión general de los distintos procesos de lavado europeos existentes, desde los más pequeños hasta los más grandes, métodos de lavado inesperados, etc. y, en el apéndice, mapas, direcciones útiles y un glosario.

#### Estudio de mercado europeo sobre el lavado de lana

En 2005 y 2010 se llevaron a cabo dos estudios en Gales, en el Reino Unido, para evaluar la viabilidad de un lavado de pequeña y luego de mediana capacidad para el lavado de pequeños lotes de lana local. Ya no están disponibles en línea.

En Gales, el estudio "Wool scouring in Powys - a feasibility study" (Lavado de lana en Powys - un estudio de viabilidad) 28 páginas, 2005, tenía como objetivo evaluar las posibilidades de lavar pequeños lotes, 40 kg de lana filtrada por día.

Valor añadido de la lana - Informe del proyecto de lavado de la lana, 103 páginas, 2010, objetivo 2000-10.000 vellones /año (página 6) o 4-20t/año (página 19). El documento analiza el lavado por contrato (con posibles servicios adicionales), el comercio de la lana lavada, otras fibras naturales, coproductos como la lanolina, la electricidad generada por un centro de metanización y otros mercados o fuentes de ingresos por identificar.

Por último, también está disponible en la red un último estudio realizado en 2019 en Gales: [Current state and potential of the wool industry in Gwynedd](#) - Geraint Hughes and Jennifer Hunter, March 2019, pages 26-29 and appendices pages 53-57.

### 5.2 Categorías de lavado de lana

Al estudiar la masa de documentos dedicados al tratamiento de efluentes en la literatura del BREF asociada a la reglamentación de las instalaciones clasificadas en la protección del medio ambiente, queda claro que debe haber razones sólidas para comprometerse con capacidades de lavado superiores a 500 kg/día.

Sin embargo, aunque la carga potencial de contaminación orgánica representa la primera fuente de contaminación del lavado de la lana, correlacionada con las capacidades de lavado según el valor estimado anteriormente de 315 g DQO (= 2,33 HSE) /kg de lana gruesa en la grasa de lana, las estrategias de lavado y tratamiento de los efluentes serán extremadamente variables según las capacidades de las instalaciones pero también según la capacidad del medio ambiente y de la comunidad para recibir, o "digerir" se podría decir, estos efluentes.

### 5.2.1 Nociones de tratamiento del agua

*Casi todos los métodos de tratamiento de aguas residuales se han aplicado a los efluentes del lavado en algún momento (Stewart, 1988; Jones y Westmoreland, 1998), pero no se ha favorecido ningún proceso de tratamiento único, y parece ser necesaria una combinación de procesos de tratamiento (Lapsirikul et al., 1994b). (Fuente Kroening, 2003, ,<sup>xxvii</sup>página 14).*

A continuación se describen brevemente las técnicas de tratamiento del agua que se practican ampliamente en las lavanderías industriales de lana:

- **Métodos de separación física**  
Reducen la carga de efluentes eliminando los contaminantes antes del lavado (golpeando la lana hasta convertirla en pelusa durante el procesamiento) o durante el proceso de lavado. Los bucles de desagüe de las líneas de lavado modernas utilizan estos métodos. Los hidrociclones, los decantadores centrífugos y los extractores de grasa de lana se basan en el principio de la separación centrífuga. Se basan en la diferencia de densidad entre el agua y los sólidos (arena, polvo, grava, lodo) o la grasa de lana que se va a extraer. Permiten una separación continua durante el lavado, mientras que la separación por decantación requiere dejar los baños en reposo. La extracción centrífuga de la grasa de lana es incompleta (normalmente entre el 25 y el 40% de la grasa - Trotman, 1984), lo que justifica el uso de otros procesos de separación durante el tratamiento de los efluentes, ya que se trata de la mayor carga de contaminación orgánica en los efluentes del lavado de lana.
- **Método biológico**  
*"Los tratamientos biológicos utilizan microorganismos para convertir la materia orgánica de un efluente en más microorganismos (mediante el crecimiento celular) y productos respiratorios. Los tratamientos aeróbicos, que requieren oxígeno para funcionar, forman dióxido de carbono y agua; los tratamientos anaeróbicos, en ausencia de oxígeno, forman dióxido de carbono, metano y otros productos de reducción, como el sulfuro de hidrógeno" (Christoe, 1986).*
- **Tratamiento químico**  
*"Se añaden productos químicos al efluente del lavado de la lana para desestabilizar las partículas de impurezas de grasa, extremadamente estables, que permanecen en suspensión tras el centrifugado. La desestabilización química puede lograrse de varias maneras, como el craqueo ácido, la floculación química, la desestabilización de la emulsión y la extracción con disolventes". (J. Christoe)*  
  
*"El agrietamiento por ácido perturba la capacidad del detergente para estabilizar la emulsión. Es más eficaz para el jabón que los etoxilatos de alquilo y alcohol que se utilizan actualmente para lavar la lana. A valores de pH inferiores a 8 (pero preferiblemente 2-3), el ácido (ácido sulfúrico) reacciona con el jabón para producir ácido libre, que se hierva y se filtra a través de un filtro prensa de placas. Cuando la prensa se calienta, la grasa filtrada en caliente aparece como grasa agrietada por el ácido de mala calidad. »*  
  
*"La mayoría de las partículas sólidas en solución tienen una carga eléctrica, que suele ser negativa. Estas cargas hacen que las partículas se repelan entre sí, impidiendo que se atraigan. La coagulación reduce estas cargas eléctricas para que las fuerzas de atracción puedan dominar para unir las*

*partículas y favorecer la sedimentación. La floculación es la agrupación de partículas sólidas mediante una sustancia química que contiene varios grupos funcionales. No es necesario reducir la repulsión eléctrica para que la floculación tenga éxito. Los floculantes poliméricos con un peso molecular de unos 10 millones de daltons y una carga positiva se utilizan generalmente para mejorar la sedimentación de los lodos en los tanques de sedimentación. »*

*"Si se añade una cantidad suficiente de disolvente a un licor de lavado, el detergente ya no puede estabilizar la fase orgánica. Esto hace que la emulsión se rompa, dando lugar a una fase solvente rica en grasa. Los disolventes utilizados incluyen alcoholes como el butanol, el pentanol y el hexanol" (Christoe, 1986). Esta técnica es probablemente incompatible hoy en día con la Directiva IED, sin embargo el sangrado concentrado ofrece una acción similar por "concentración desestabilizadora".<sup>xxviii</sup>*

*"La grasa de lana tiene un valor calorífico (40 MJ / kg) comparable al del fuel (43 MJ / kg). Sin embargo, inyectar un licor de lavado normal en un horno no sería rentable debido a las grandes cantidades de agua presentes. El método habitual consiste en aumentar primero el contenido de sólidos del efluente hasta un 60-70% aproximadamente haciéndolo pasar por una serie de evaporadores. A continuación, el concentrado se incinera a 1.200 °C para producir calor. El único producto de desecho es la ceniza del horno. " (Christoe, 1986)<sup>xxix</sup>*

- BRIEF TEXTILE 2021 en preparación describe 18 técnicas para reducir las emisiones al agua (5.9.3 Técnicas para reducir las emisiones al agua, páginas 756-757).
- El documento BREF TEXTILE 2003 describe y compara 6 modos de tratamiento de los efluentes del lavado de lana analizados en centros europeos durante el estudio INTERLAINE 1999. (capítulo 4.10.10 Tratamiento de las aguas residuales generadas por las instalaciones de lavado de lana página 566)
- [Savage](#) páginas 45-64 evalúa el método de tratamiento de los efluentes de 4 centros de lavado.

No obstante, hay que tener en cuenta que la información recogida en el estudio INTERLAINE, citado en los 2 TEXTILE BRIEFS, es una síntesis de los datos de una docena de lavados europeos a escala industrial (un lavado con una capacidad de 3.500 toneladas/año se considera un lavado pequeño). Es un recurso indispensable en una instalación prevista en el marco de la normativa IED, pero insuficiente en el marco de instalaciones realmente pequeñas.

## 5.2.2 Lavado de varias toneladas/día - varios miles de toneladas/año

Una operación de lavado industrial conforme a las normas internacionales, con unas diez toneladas de filtraciones de lana gruesa al día, representaría una carga de contaminación potencial equivalente a una ciudad de 23.000 habitantes (23.000 HGE).

Cuando la instalación no pueda escapar a una clasificación de capacidad de lavado de más de 500 kg/día, se registrará por el principio de Autorización según la Directiva IED. En este caso, debe hacerse referencia tanto al BREF y al BAT TEXTILE 2003 actuales como a la nueva versión en preparación. Además de las MTD de aplicación general para todo el sector textil sujeto a la Directiva IED, las "Conclusiones sobre las MTD textiles" en preparación enumeran 3 MTD (MTD para la mejor técnica disponible = MTD), señaladas como MTD 29, MTD 30 y MTD 31, específicas para el lavado de la lana, y hacen especial hincapié en la recuperación de la grasa de la lana y el reciclaje del agua:

- BRIEF y BAT TEXTIL Borrador 1 dic. 2019 Pág. 742 Cap. V, "Conclusiones sobre las MTD" MTD 29 *Para utilizar los recursos de forma eficiente y reducir el consumo de agua y la producción de aguas residuales, la MTD consiste en recuperar la grasa de lana y reciclar las aguas residuales. »*

- La MTD/BAT 30 se refiere a la eficiencia energética de las instalaciones, incluido el recubrimiento de los depósitos para reducir la pérdida de calor y el uso de la calefacción directa por gas de los baños y el secador en las instalaciones nuevas.
- La MTD/BAT 31 se refiere al tratamiento biológico de los residuos orgánicos de lavado (por ejemplo, la suciedad, los lodos de tratamiento de efluentes).

**Por lo tanto, en el marco de la directiva IED, la recuperación de la grasa de lana ya no será una opción motivada por el valor añadido que puede constituir, sino una futura exigencia normativa.**

La problemática que representa el tratamiento de los efluentes y la gestión del agua necesaria para el proceso de lavado de una unidad que trata varias toneladas/día corresponde precisamente a la retroalimentación de la experiencia industrial en la que se basan. Las columnas de lavado modernas integran a lo largo de todo el proceso de lavado bucles de eliminación de contaminantes y de recuperación de la grasa de lana que permiten reducir la cantidad y la carga de los efluentes en origen y reciclar parcialmente el agua para optimizar el consumo de agua y energía. A continuación, la planta de tratamiento de aguas suele ser específica de la unidad de lavado.

El documento BREF Textil de julio de 2003 presenta en las páginas 214-230 la síntesis de los resultados de la encuesta realizada por ENCO en 1997/1998 por encargo de INTERLAINE sobre el lavado de la lana cruda y las prácticas de tratamiento de efluentes en la Unión Europea. Ofrece una relación exhaustiva del consumo de agua y energía, la recuperación de grasas, la naturaleza y las cantidades de los vertidos (demanda química de oxígeno, lodos, ectoparasitocidas), así como los métodos de tratamiento utilizados en cada uno de los 12 lavaderos de lana europeos que respondieron a la encuesta, incluidos 2 en Francia. Cabe suponer que, en el caso de Francia, se trata de Lainière du Bascaud y de La Môle Industrie, ambas en la región de Mazamet (81), que seguían funcionando en aquella época.

*Figura 4: Diagrama que representa una línea de lavado, un proceso integrado de tratamiento de residuos y una planta de tratamiento de efluentes in situ - BRIEF TEXTILE 2003 página 71].*

Ante la desaparición de las antiguas columnas de lavado cerradas desde la redacción del BREF TEXTIL 2003, tanto en Mazamet como en la región de Barcelona, el lavadero Manuel Rodrigues Tavares de Guarda, en Portugal, es ahora el lavadero de esta categoría más cercano a los Pirineos. Esta planta integra las técnicas más avanzadas de tratamiento de residuos integradas en el proceso con el reciclaje de agua, la separación de efluentes y el tratamiento biológico de efluentes en la planta de tratamiento combinada con la línea de lavado.





Texto 3: Lavado Manuel Rodrigues Tavares (STMRT) - Columna Andar y su planta de tratamiento de agua adquirida nueva y en funcionamiento desde 2002 - [vídeo](#)

El estudio de mercado Lavado de lana en Powys - un estudio de viabilidad - 2005 - registra información sobre los equipos que podrían considerarse similiaire :

" Andar tiene la gama más amplia de equipos de lavado pero se orienta hacia las capacidades más altas. Una nueva columna de lavado Andar de 6 cubetas adquirida por la hilandería Buckfast en Devon (Reino Unido) en el año 2000 costó más de un millón de libras. La planta trata 50-60 t/semana y el coste total del equipo supera los 3,4 millones de libras. " <sup>xxx</sup>(cese de actividad en 2013)

El expediente sobre la reconstrucción de la lavadora-combinación de Punta Arenas -Standard Wool Chile- tras su [incendio](#) en 2005, proporciona [información técnica y financiera](#) sobre la unidad y su planta de tratamiento de aguas.

2ligne de lavage et équipements ,5 Bâtiments    millones de dólares  
Planta de tratamiento de aguas\$0,75 millones de dólares  
Total 5,5    millones de dólares

La unidad actual tiene una [capacidad de](#) 4.000 t peinadas/año e incorpora una línea de lavado Andar con 6 tolvas de 2,4 m de ancho. La planta de lavado y peinado anunció su [cierre](#) en abril de este año ([vídeo](#)). La unidad empleaba a 60 personas y recogía la lana directamente de 450 agricultores.

*L'objectif de ces lourds investissements est d'utiliser au maximum de l'eau recyclée à partir des opérations de lavage initiales et d'avoir un impact environnemental le plus réduit possible. Ce lavage sera fait au savon et à l'eau dont 90% sera recyclée par une unité de traitement des eaux. Les 10% de déchets restants seront enlevés puis traités par une entreprise spécialisée. Sur site, la laverie n'aura aucun rejet et ne consommera que 0,9m3 d'eau par jour pour laver 3 150kg de toison.*

En una capacidad más modesta, el proyecto Alpes Provence Laine, en su expediente del Polo de Excelencia Rural de 2010, apuntaba a una producción de 700t/año y a un tratamiento y reciclaje del agua por evaporación<sup>xxxi</sup> :

" *L'objectif de ces lourds investissements est d'utiliser au maximum de l'eau recyclée à partir des opérations de*

*lavage initiales et d'avoir un impact environnemental le plus réduit possible. Ce lavage sera fait au savon et à l'eau dont 90% sera recyclée par une unité de traitement des eaux. Les 10% de déchets restants seront enlevés puis traités par une entreprise spécialisée. Sur site, la laverie n'aura aucun rejet et ne consommera que 0,9m3 d'eau par jour pour laver 3 150kg de toison.*

*La capacidad de la columna de lavado será de 700t/año a partir de 2014. Es importante tener en cuenta que el vellón aislante pierde un 25% de su masa durante el lavado. Esta reducción de masa es del 55% para el vellón de uso textil. »*

*"La mayor inversión física se atribuye al ICTS-3RP-2LM. De un total de 895 000€ HT, corresponde a la compra de la columna de lavado de vellón con:*

- lavadoras de vellón 230 000€ HT*
- la unidad de secado de lana 250 000€ HT*
- equipo de manipulación de fardos de lana y vellón 55 000€ HT*
- la unidad de tratamiento de efluentes de lavado 360 000€ HT*

*El retorno de la inversión del SCIC-3RP-2LM está previsto para 2016. ["Presentación del proyecto La liquidación de la empresa"](#) se pronunció en 2013, incluso antes del inicio de las obras.*

### **5.2.3 ¿Menos de 200t en sudor/año, fuera de la categoría IED?**

Estos lavados también son columnas que funcionan de forma continua, Leviathans, pero de forma intermitente a lo largo del año. A menudo son columnas de diseño antiguo concebidas en su momento para la función y la calidad del lavado sin ofrecer la sobriedad de las unidades modernas que se benefician de una gestión eficaz y rigurosa del agua, la energía y los efluentes. Su capacidad diaria es superior al umbral reglamentario de 500 kg/día, pero la producción anual apenas supera las 200 t/año. Algunos de ellos son los pocos supervivientes de una serie de lavados en Europa que han visto reducirse sus mercados en favor de lavados más competitivos. Estos lavados competidores pueden beneficiarse de una legislación menos restrictiva y están situados lejos, en zonas donde se está produciendo la deslocalización del textil.

Algunas de las columnas de lavado que ahora están operativas en Europa se montaron a partir de estas unidades que se han cerrado en los últimos veinte años, en un proyecto de instalación que se adapta mejor al contexto económico y medioambiental actual. La planta de lavado de Saugues (43), pero también la columna de lavado española de Alicante adquirida en 2013 y en funcionamiento desde 2016 en la isla de Gotland, en Suecia, son ejemplos de ello. A este respecto, cabe destacar el proyecto de [traslado de la línea de lavado de Souvigny \(03\) al emplazamiento de Aussillon \(81\)](#), probablemente para conectarla a la depuradora vecina de Ets Henri Plo.

La línea de lavado de Ullkontoret, en la isla de Gotland, presenta algunas originalidades que hay que seguir estudiando en relación con la interpretación del umbral de capacidad de 500 kg/día, por encima del cual un lavado de lana entra en el régimen de autorización según la directiva IED. [La producción de la línea es de 2 t/día](#). Sin embargo, Jenny Andersson y Hans Bulthuis afirman: "En cuanto al *tratamiento de los efluentes*, tenemos que decir en primer lugar que mientras tratemos menos de 200 toneladas de lana al año, la normativa es más sencilla, por lo que nuestro objetivo es mantenernos por debajo de este nivel. El efluente, una vez separada la grasa, es rico en nutrientes y es excelente para regar los campos. Por eso vamos a esparcirlas en nuestros campos cerca de la línea de lavado. "La línea de lavado funciona estacionalmente en primavera y otoño, cuando las temperaturas son medias. <sup>xxxii</sup>

De este testimonio se desprende que las autoridades suecas han tenido en cuenta una capacidad media diaria de menos de 500 kg de lana lavada/día, calculada sobre el lavado de menos de 200 toneladas de trajes de lana/año suavizado sobre 300 días de funcionamiento en el año, teniendo en cuenta un rendimiento de lavado del 75% ([características de las lanas de oveja de Gotland](#)). Así, el lavado de Ullkontoret quedaría fuera del ámbito de aplicación de la Directiva IED. De ser así, este razonamiento podría encontrar un eco favorable en la interpretación del valor umbral reglamentario de 500 kg/día para el lavado de lana en Francia a la luz de la Directiva IED. La armonización de la interpretación de la Directiva sobre inversiones extranjeras directas en los Estados miembros de la Comunidad Europea obliga ... Hay mucho en juego.

Con esta capacidad de la línea de lavado, los volúmenes y la carga de efluentes a tratar, aunque no estén optimizados como lo estarían en una línea de lavado moderna, siguen siendo moderados y podrían formar una huella ecológica manejable a nivel local sin la inversión y la tecnología compleja y costosa de los lavados de alta capacidad. En este sentido, por ejemplo, la aplicación en tierra sería una opción factible y económica a esta escala si se dispone de superficies de aplicación adecuadas. Dado que la línea de lavado funciona de forma intermitente, podrían preverse capacidades de tratamiento más modestas para alternar las secuencias de lavado y de tratamiento de efluentes, por ejemplo.

#### 5.2.4 Lavados con una capacidad inferior a 500 kg/día

El lavado queda entonces fuera del ámbito de aplicación de la Directiva sobre inversiones extranjeras directas. El lavado de la lana en un contexto profesional estará sujeto a las condiciones generales de las actividades artesanales e industriales relativas a la gestión del suministro de agua y el tratamiento de los efluentes.

Suponiendo que el umbral reglamentario de 500 kg/día se establezca sobre la base de los kg de lana lavada, la carga de contaminación orgánica generada por el tratamiento del lote correspondiente de lana gruesa en grasa de lana puede evaluarse de la siguiente manera:

- 500 kg de lana gruesa lavada con un 80% de eficacia →  $500 \text{ kg} : 80\% = 625 \text{ kg}$  de lana gruesa suint con un 80% de eficacia de lavado
- Carga de DQO correspondiente vertida en el efluente si no se realiza un pretratamiento in situ se calculerait comme suit :  
Carga de DQO/kg de lana en la grasa de lana retenida según BREF TEXTILE 2003: 0,3125 kg de DQO/kg (capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)  $625 \text{ kg} \times 0,3125 \text{ kg de DQO/kg} = 195,31 \text{ kg de DQO/día}$  para lanas gruesas
- O una carga de contaminación en las EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales) expresada en Equivalente de Población [e.p.]: como recordatorio, 1 e.p. = 135g de DQO/día  $195,31 \text{ kg de DQO/día} / 135\text{g} = 1447 \text{ e.p.}$

El sitio web [L'environnement en France, Informe sobre el estado del medio ambiente](#) publicado por el Ministerio de Transición Ecológica y Solidaria, hace la siguiente observación:

*En Francia, hay muchas estaciones pequeñas: más del 50% de las estaciones tienen una capacidad teórica inferior a 500 e-h. Por otra parte, el 6% de las estaciones tienen una capacidad de al menos 10.000 e-h y representan en conjunto más del 80% de la capacidad total de las EDAR en servicio en Francia.*

En conclusión, incluso con este dimensionamiento o menos, el proyecto de lavado de lana tendrá que ocuparse de la capacidad de lavado prevista, de la capacidad de tratamiento de la depuradora local, de la posibilidad de tratamiento in situ de los efluentes o de un pretratamiento para reducir la carga de efluentes a tratar y, por último, de las cantidades y características del agua necesaria para abastecer la línea. Además, los volúmenes y las cargas de los efluentes vertidos en las EDAR estarán sujetos a la tasa de contaminación mencionada en el capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

#### El ejemplo del lavado de Souvigny (03)

Los establecimientos Laroue situados en Aussillon (81) se hicieron cargo del Lavage du Bourbonnais en 2013 con una capacidad equivalente a la de Saugues (43), 1-2 t/día. Dominique Pécut, gerente del lavadero hasta su muerte en 2012, gestionaba los efluentes del lavado de la siguiente manera :

- El agua de las cubas de lavado estaba sujeta a un plan de esparcimiento en sus terrenos agrícolas, que requería medios específicos (rotación con tractor y tonelada de estiércol durante los días de lavado).
- El agua de lavado, menos cargada que la doméstica, se vertía en la planta de tratamiento de aguas residuales comunal cada día de lavado.

Los establecimientos de Laroue, queriendo liberarse de la obligación de esparcirse, acordaron con la aglomeración de Moulins sur Allier el vertido de las aguas de los baños de lavado y de las aguas de enjuague a la estación comunal de Souvigny de la que era responsable. El nuevo gestor procedió a la adaptación de las cubas de decantación existentes, a la instalación de un colector de lodos para la recuperación de los mismos y a la puesta en marcha de dispositivos de control a distancia de los vertidos de efluentes, mediante el registro continuo de los volúmenes de efluentes producidos y el embotellamiento automático de muestras de efluentes para su posterior análisis. Estos eran los requisitos para que la planta de tratamiento de aguas residuales de Souvigny se hiciera cargo de las aguas de lavado. En cuanto se realizaron los primeros análisis al reiniciar el lavado en septiembre de 2013, estalló la confusión: los niveles de contaminación se disparaban literalmente en comparación con las expectativas de los responsables de la depuradora. Simplemente esperaban unos efluentes de lavado tan bajos como el agua de aclarado a la que estaban acostumbrados (carga de contaminación dada al lavado de lana 70 e-h). La situación era irremediable: los efluentes producidos representaban una carga diaria de 1400 e-h, mientras que la planta municipal de Souvigny, puesta en funcionamiento hace sólo 5 años, tenía una capacidad de 1720 e-h. Por lo tanto, la planta municipal no podía tratar todo el efluente diario de la planta de lavado de Souvigny. Por lo tanto, se suspendió la autorización de vertido al STEU hasta que se resolviera este problema, por ejemplo, volviendo a esparcir el agua de lavado, realizando un pretratamiento in situ o dirigiendo el efluente de lavado a un centro de tratamiento especializado. La situación se quedó como estaba, ya que no se encontró ninguna solución y el lavado no pudo ponerse en marcha. La línea de lavado completa fue desechada a finales de noviembre de 2020.

### Equipo de lavado

El libro Washing Wool - Scouring Wool presenta algunas instalaciones europeas de esta categoría en las páginas 66 a 95.

Sólo unos pocos fabricantes ofrecen equipos de esta categoría. Por lo general, no incluyen ningún bucle de depuración de baños, recuperación de grasas de lana o tratamiento de efluentes:

- el [Wool-Ti](#) (aprox. 20 kg/día), fabricado en Suiza, por valor de 50.000 CHF. En la presentación se dice: "*el agua se trata y reutiliza continuamente*". [Fotos en el sitio de Facebook del Encuentro Europeo de Lana](#)
- la microlavadora canadiense Belfast Mini-Mill (aprox. 15 kg/día), 11.000 dólares. Con una capacidad de menos de 5 kg por ciclo de lavado, propuesta en la gama de equipos de [microlavado Mini Mills](#). Consume unos 100 l de agua por ciclo de lavado. (Fuente Laver la laine - Scouring wool páginas 76-77, [Estado actual y potencial de la industria de la lana en Gwynedd](#) páginas 55-56).
- [KiwiScour](#) (aprox. 60 kg/día o 120 kg/día en versión doble), circulación de agua a contracorriente para el reciclaje del agua, precio 75.000 NZ\$ sin secador, 195.000 NZ\$ por unidad completa y 264.000 NZ\$ en versión doble (Fuente [Estado actual y potencial de la industria de la lana en Gwynedd](#) páginas 27-28, 53).
- un concepto de lavado para lana gruesa presentado por Daniel Palet en las reuniones europeas sobre el lavado de lana en Europa en 2015. Un lavado rudimentario limitado a 3 cubas para el desmontaje, el lavado y el aclarado asociado a un batido a fondo antes de los baños, con el fin de reducir los contaminantes en los efluentes y luego en la lana lavada. (Fuente Laver la laine - Lana para fregar páginas 53) <sup>xxxiii</sup>

Además, hay instalaciones operativas en Europa y otros lugares que son fuente de inspiración por la inventiva y creatividad que han desarrollado sus operadores:

- El lavado de Ardelaine (07), de unos 350-450 kg/día, se diseñó en torno a una pequeña columna de lavado experimental realizada para el Instituto Textil de Francia en Mazamet. Disponía de su propia planta de tratamiento en la que los efluentes de lavado se desengrasaban mediante *craqueo ácido* y *floculación* (véase el capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) y luego se entregaban a la

STEU municipal y las aguas de lavado se trataban mediante fito depuración. (Fuente: Laver la laine - Scouring wool páginas 84-85)

- El lavadero checo de la [granja de Vrbětice](#) (unos 150 kg/día) está construido en torno a un prototipo de lavadora de lana, adquirido de segunda mano por 21.000 euros, fabricado por un fabricante alemán de equipos de lavado/prensado, EFFMA, que cesó su actividad en 2018. La lavadora consume 500 l de agua por ciclo de 23 kg de lan<sup>xxxiv</sup>. Los ganaderos que trabajan en el proceso de lavado recuperan el agua de lavado para esparcirla en sus explotaciones. <sup>xxxv</sup>
- Hollow Road Farms Inc. en el Estado de Nueva York (aprox. 45-90 kg/día) fue diseñada en 2002-2003 con un enfoque alternativo y medioambiental. Aunque la lavadora es rudimentaria, el diseño estaba lleno de consejos para reducir el consumo de energía y la huella medioambiental del lavado. Todas las instalaciones se construyeron con medios modestos y recurrieron en gran medida al material reciclado: estanque de recogida de aguas pluviales en los edificios para abastecer el lavado, precalentamiento del aire en el secador bajo techo, metanización del agua de lavado con producción de electricidad, depuración del agua de lavado mediante cañaveral. Creyendo que el lavado no era rentable en pequeñas cantidades, [Greenfleece fiber](#) envía ahora la lana recogida localmente a una de las dos lavanderías industriales estadounidenses, [situada en Texas \(vídeo\)](#). <sup>xxxvi</sup>



- El lavado de la fábrica de lana Mountain Meadow (aprox. 100 kg/día - 23 t/año) en Buffalo, Wyoming: la hilandería familiar se puso en marcha en 2002 en el desafiante proyecto de 2 mujeres y madres consumadas (ambas con 11 hijos): para reactivar la industria lanera americana en estas grandes zonas de cría del "Rambouillet" y contribuir al mantenimiento de los modos de vida y las tradiciones de estos pequeños ganaderos, en el origen del mito americano del western ... Los pastores vascos llegaron en número desde España y Francia a finales del siglo XIX para instalarse en las grandes llanuras del Oeste. Muchos de estos ranchos históricos han cerrado en los últimos veinte años con el desplome de los precios de la lana y la desaparición de la industria lanera estadounidense. Fundada en 2007, [la pequeña hilandería \(presentación y vídeo\)](#) valora las lanas de las ganaderías locales, incluidas las más finas del país, al precio más alto, en un enfoque medioambiental y de intercambio de conocimientos. Ha [adquirido una reputación nacional por su compromiso](#). Desde el principio, la empresa ha recurrido ampliamente a las subvenciones en los múltiples aspectos del proyecto. Estos fondos le permitieron, en particular, estudiar la viabilidad del proyecto, diseñar un prototipo de línea de lavado y adquirir material de segunda mano. La actual línea de lavado continuo de 5 contenedores ([vídeo](#)) se construyó en un proceso de autoconstrucción. El estudio de la línea de lavado, la colaboración con la Universidad de Wyoming, la formación de los operarios de hilatura, el diseño y la experimentación de métodos de tratamiento de efluentes, la recuperación de la grasa de la lana y de las impurezas adaptadas a la escala de procesamiento, así como la reducción del consumo de agua y energía han sido ya objeto de tres programas de subvenciones en [2006-2008](#), [2009-2010](#) y [2011-2014](#) con informes técnicos de apoyo que pueden consultarse en línea. El objetivo de Mountain Meadow Wool es sentar las bases de pequeñas instalaciones regionales de lavado que cumplan los requisitos normativos estadounidenses en materia de medio ambiente y se adapten en capacidad y rentabilidad a las operaciones de transformación a pequeña escala de 10 a 150 kg/día, de modo que las pequeñas y

medianas explotaciones puedan diversificar sus operaciones y aumentar sus ingresos mediante la explotación de estas unidades.

## 6 Análisis de las posibles vías de recuperación

La recuperación de la grasa de lana en forma de lanolina parece atractiva para beneficiarse de una sustancia que es una fuerte molestia para el medio ambiente en los vertidos del lavado de la lana. El esparcimiento, pero también otros métodos de recuperación de los efluentes de lavado, se practican desde hace mucho tiempo en las grandes plantas de lavado de todo el mundo. Informaremos sobre ellos y evaluaremos el interés y los límites de cada uno de ellos en nuestro contexto local.

### 6.1 extracción de lanolina

Como se ha señalado a lo largo de este documento, la grasa de lana es una de las principales molestias medioambientales en los vertidos del lavado de lana. Su extracción, si no está prescrita por las autoridades reguladoras, como ocurrirá próximamente con las instalaciones sujetas a la Directiva IED (véase el capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), también puede estar justificada cuando la carga de contaminación orgánica producida supere la capacidad de tratamiento de la EDAR a la que está conectada la unidad de lavado o para limitar el canon de contaminación del agua.

La separación centrífuga y la separación química por craqueo/floculación ácida de la emulsión son dos técnicas clásicas utilizadas habitualmente en los lavados con agua (véase el capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Los límites específicos de cada uno se determinarán en función de la finalidad y la naturaleza de las lanas tratadas.



Figura 5: Centrífugas en Lanas Trinidad, Uruguay

#### Principio de funcionamiento

Las centrifugadoras tienen un diseño similar al de las lecheras. Descripción de los bucles de recuperación de impurezas y grasas BREF TEXTILE 2003 página 71, con diagramas de Savage, páginas 16-20<sup>xxxvii</sup> y en Comprehensive view on chemistry, manufacturing & applications of lanolin extracted from wool pretreatment, páginas 36-38 xxiv

*Figura 6: centrífuga primaria*

### **Impacto de la naturaleza de las lanas**

1. Las lanas gruesas de los Pirineos son, por naturaleza, poco grasas, estimadas en un 5% de grasa, es decir, más de la mitad que las lanas merinas (13% para las lanas finas según las hipótesis de BREF TEXTILE).
2. La grasa de lana dispersa en el efluente de lavado consta de dos fracciones principales, generalmente denominadas grasa de lana "oxidada" y "no oxidada". Se ha demostrado que la grasa de lana oxidada está asociada a la punta de la cinta de lana, donde la grasa está expuesta al aire y al ambiente exterior, mientras que la fracción no oxidada ha demostrado estar más presente en la base y el centro de la cinta de lana. La fracción oxidada tiene una densidad mayor, más cercana a la del agua. Por tanto, es más difícil de separar del efluente por centrifugación que la fracción no oxidada. Las lanas gruesas tienen una mayor proporción de grasas oxidadas y no oxidadas que las lanas finas. Como resultado, la eficacia de la extracción de la grasa de lana por centrifugación del efluente es menor para las lanas gruesas.
3. La mayoría de los residuos de pesticidas en el vellón se adhieren a la grasa de la lana debido a su naturaleza lipofílica. Su toxicidad es persistente en la grasa de lana después de la extracción, ya sea por centrifugación en los bucles de tratamiento de los baños o por craqueo ácido de los efluentes. (fuentes Kroening 2003<sup>xxxvii</sup> página 20, BREF TEXTILE 2003 página 74)

Los dos primeros puntos hacen que el rendimiento de la grasa de lana recogida sea significativamente menor para las lanas gruesas que para las lanas finas. Además, el valor de mercado de la grasa de lana recogida por centrifugación dependerá en gran medida del contenido de pesticidas.

*"Dependiendo del grado de oxidación, puede ser posible recuperar entre el 20 y el 40% de la grasa originalmente presente en la lana cruda. Esta grasa recuperada debe considerarse un subproducto y no un producto de desecho, ya que puede venderse a los refinadores de lanolina para obtener productos de alto valor añadido en la industria cosmética. Sin embargo, los altos niveles de residuos de plaguicidas en la grasa también pueden representar un problema para los refinadores de lanolina, en particular para la producción de productos farmacéuticos y cosméticos a base de lanolina. Es necesario aplicar técnicas más caras y sofisticadas para reducir los pesticidas a niveles aceptables.*

*La grasa agrietada por el ácido no tiene valor comercial y debe eliminarse en un vertedero. "* (BRIEF TEXTILE 2003 página 75).

*La cantidad de grasa recuperada por las empresas investigadas por INTERLAINE, que puede venderse como subproducto, oscila entre 10 y 35 g/kg de lana cruda. El mejor rendimiento de un lavador de lana fina es de casi 35 g/kg de lana cruda, mientras que el mejor rendimiento de un lavador de lana gruesa es de unos 13 g/kg. Estos porcentajes de recuperación representan aproximadamente el 25 % de la grasa que se estima que está presente en la lana que se va a lavar. (fuente BRIEF TEXTILE 2003, página 371).*

Según la hipótesis establecida anteriormente para las lanas gruesas de los Pirineos, una proporción del 5% de grasa en la grasa de lana, esto representa un potencial de  $50 \text{ kg} \times 25\% = 12,5 \text{ kg}$  separables por centrifugación en un lote de 1000 kg de grasa de lana. Este valor es del mismo orden que las cantidades mínimas de recuperación de grasa prescritas en la MTD 29 del BREF TEXTILE 2021 en preparación, presentadas en la tabla siguiente.

*Cuadro 7: Niveles de emisión asociados a las MTD (NEA-MTD) procedentes del lavado para la recuperación de la grasa de lana procedente del pretratamiento de la lana cruda mediante lavado (fuente BREF TEXTILE 2021 en preparación, página 742)*

<b>Tipo de lana</b>	<b>Unidad</b>	<b>NEA-MTD (media anual)</b>
Lana gruesa (fibra de lana de más de 35 µm de diámetro)	kg de grasa recuperada por tonelada de lana cruda introducida en la línea de lavado	11-15
Lana extra y superfina (fibra de lana de menos de 20 µm de diámetro)		50-60

También se observa que la eficacia de las plantas de recuperación de grasa de lana es de 4 a 5 veces mayor para las lanas finas que para las lanas gruesas.

Estos valores de umbral de recuperación de grasa se establecieron a partir de los datos recogidos en dos lavados del Reino Unido y dos de Italia.

196] TWG, Recogida de datos para la revisión del TXT BREF, 2019.





Figura 7 <http://www.fibreshedmelbourne.com/tag/scouring/>

### **Grasa residual en el efluente tras la centrifugación**

*El circuito de eliminación de impurezas y recuperación de grasa recupera el 25% de la grasa y elimina el 50% de las impurezas. Se supone que un 10% adicional de la grasa se elimina del efluente en forma de lodo, antes de su vertido al alcantarillado. (Fuente BREF TEXTIL 2003 página 567)*

Por lo tanto, se considera que cerca del 65% de la grasa del lote de lana lavada ha quedado en emulsión después de la extracción (proporción de grasa de lana no oxidada en particular) y se liberará en los efluentes, es decir,  $50 \text{ kg} \times 65\% = 32,5 \text{ kg}$ .

grasa/tonelada de lana de los Pirineos en grasa de lana. La carga contaminante asociada al contenido residual de grasa de estos efluentes sigue representando por sí sola 100 kg de DQO/tonelada de grasa de lana<sup>2</sup>, es decir, según la Unidad Equivalente de Habitante utilizada para el tratamiento en las EDAR, una carga de 740 e-h por tonelada de grasa de lana.

A esto hay que añadir la DQO asociada a la grasa de lana en el efluente y el 50% de impurezas residuales, véase el párrafo siguiente.

### **Contaminación residual**

Dado que el circuito de eliminación de impurezas también elimina el 50% de las impurezas, además del 25% de grasa, la DQO inicial de 315 kg/tonelada de lana de los Pirineos se reduciría en los efluentes mediante el circuito de tratamiento a 203 kg/tonelada de grasa de los Pirineos (véase Cuadro 8decir, 1500 e-h/tonelada de grasa de los Pirineos.

### **Tratamiento tras la extracción de la grasa de lana y la depuración de los baños**

---

<sup>2</sup> Regla de cálculo de la DQO teórica en función del contenido de contaminantes del vellón BREF TEXTILE 2003 página 73

En función de las capacidades de lavado previstas y, en sentido contrario, de las capacidades de tratamiento que podría conceder el STEU al lavado, la extracción centrífuga podría ser insuficiente en términos de control de la contaminación y debería entonces completarse con un tratamiento de los efluentes in situ, por ejemplo, el desengrasado mediante floculación química o craqueo ácido. El proceso Sirolan CF™, por ejemplo, produce continuamente un 55-65% de lodos deshidratados eliminando entre el 96% y el 99,9% de los sólidos en suspensión de los efluentes y más del 90% de la grasa residual no recogida que se vierte en forma de emulsión (Fuente: Savage página 79).

Son posibles muchas otras formas de tratar el efluente después de la recuperación de la grasa por centrifugación. Cuadro 8 compara el rendimiento de los tratamientos de floculación y evaporación combinados o no con un circuito de depuración de grasas e impurezas.

Cuadro 89:: Técnicas de tratamiento de aguas residuales: rendimiento medioambiental - lana gruesa BRIEF TEXTILE 2003 página 568

<i>Lana gruesa</i>	<i>Evacuación hacia el red urbano</i>	<i>Circuito impurezas /grasa</i>	<i>Flocular.</i>	<i>Circuito impurezas / grasas + flocular.</i>	<i>Evaporar.</i>	<i>Circuito impurezas /grasa + evaporarse.</i>
<i>Unidad/t de lana cruda</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
<i>Consumo neto de agua (m<sup>3</sup>)</i>	13	6 <sup>(1)</sup>	13	6 <sup>(1)</sup>	13	6
<i>DQO de la planta (kg)</i>	299	203 <sup>(3)</sup>	93 <sup>(4)</sup>	81	0,6	0,5
<i>El COD se publicó en el medio ambiente (kg)</i>	60	41	19	16	0,6	0,5
<i>Lodos a eliminar<sup>(2)</sup></i>						
<i>- del circuito de reciclaje (kg)</i>		152		152		152
<i>- de floculación (kg)</i>			329	186		
<i>- de evaporación (kg)</i>					378	212
<i>Fuente: [187, INTERLAINE, 1999]</i>						
<i>(1) Son posibles de 2 a 4 l/kg</i>						
<i>(2) Peso húmedo (50% del peso seco)</i>						
<i>(3) La eliminación del 35% de las grasas y del 50% de las impurezas en el circuito reduce la DQO en 315 kg/t. en lana a la entrada hasta 203 kg/t en el efluente</i>						
<i>(4) La eliminación del 89% de las grasas y del 86% de las impurezas reduce la DQO de 315 kg/t en lana a entrada a 93 kg/t en el efluente</i>						

### Enfoque económico

Tabla 10 ofrece una estimación aproximada de las ganancias directas (venta de lanolina) e indirectas (reducción de cargas por depuración y reciclaje del agua de los baños de lavado) que cabe esperar (fuente BRIEF TEXTILE 2003 capítulo 4.4.1 Utilización de circuitos integrados para la eliminación de impurezas y la recuperación de grasas en la página 370).

Tabla 10: Beneficios económicos estimados de la instalación de circuitos integrados para la eliminación de impurezas y la recuperación de grasas. BRIEF TEXTIL 2003 página 372

<i>Beneficios <b>por tonelada de lana cruda</b> producida</i>	<i>Coste unitario</i>
<i>Ahorro de agua: 4 m<sup>3</sup></i>	<i>0,68 euros/m<sup>3</sup> de agua de red</i>
<i>Ahorro de energía: 836,8 MJ<sup>(a)</sup></i>	<i>0,00245 euros/MJ</i>
<i>Ahorro de detergente: 1 kg</i>	<i>1,40 euros/kg</i>
<i>Ahorro de mezcla: 1 kg</i>	<i>0,27 euros/kg de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>
<i>Se evita el tratamiento de aguas residuales: 4 m<sup>3</sup></i>	<i>0,53 euros/m<sup>3</sup> de agua vertida<sup>(b)</sup></i>
<i>Eliminación de lodos evitada: aprox. 150 kg (peso neto)</i>	<i>0,041 euros/kg de lodo (peso húmedo)</i>
<i>Grasa producida para la venta :</i> <i>- 32,5 kg (arandelas de lana de calidad fina)</i> <i>- <b>13 kg (arandelas de lana gruesa)</b></i>	<i>2 euros/kg de lana cruda<sup>(c)</sup> (aunque muy variable)</i>
<p data-bbox="97 1070 1165 1104"><i>Fuente [187, INTERLAINE, 1999] excepto <sup>(c)</sup>. Comunicación personal IM. Russell</i></p> <p data-bbox="97 1104 319 1137"><i>Observaciones :</i></p> <p data-bbox="97 1137 1513 1249"><i><sup>(a)</sup> El ahorro de energía para calentar el agua hasta la temperatura de tratamiento de 60°C puede estimarse en 209,2 MJ por m<sup>3</sup> de agua ahorrada (utilizando el calentamiento directo por gas con una eficiencia del 90%).</i></p> <p data-bbox="97 1249 1513 1328"><i><sup>(b)</sup> Coste en el Reino Unido (1999), teniendo en cuenta únicamente los costes de las instalaciones. En un caso real, hay que tener en cuenta la energía, los productos químicos, la mano de obra, etc.</i></p>	

Tabla 11: Costes según la elección del tratamiento de los efluentes para una planta de lavado de lana que produce 3.500 t/año de lana gruesa (fuente BREF TEXTILE 2003 página 572)

Elemento del precio de vuelve	Tecnología de tratamiento de efluentes					
	Rechazo en red agua usado urbano	Circuito impurezas / grasas	Floculación	Circuito impurezas/ grasas y floculación	Evaporation	Circuito impurezas / grasas y evaporación
<i>Costes unitarios: en euros</i>						
Coste de la inversión inicial	0	412 500	250 000	662 500	1 812 500	1 612 500
Coste de la inversión anual	0	41 250	25 000	66 250	181 250	161 250
Gastos de explotación anualmente in situ	0	17 304	166 072	115 224	139 972	118 524
Coste anual eliminación de lodos (50% peso seco)	694 515	413 775	181 982	133 450	28 881	14 900
Coste anual para la evacuación de el efluente	694 515	413 775	181 982	133 450	28 881	14 900
Coste anual total	694 515	494 121	420.359	363 422	475 948	387 250
Coste/tonelada de lana	198	141	120	104	136	111
VAN del margen bruto 10 años de autofinanciación (a)	6,1	4,4	3,7	3,3	4,4	3,6
Fuente: [187, INTERLAINE, 1999] (a) Valor actual neto del flujo de caja de las operaciones en 10 años a un tipo de interés del 3% en millones de dólares.						

Tabla 11 ofrece una indicación de los costes comparativos de inversión y funcionamiento de un bucle continuo de separación de impurezas y recuperación de grasas en comparación con otros métodos de tratamiento de contaminantes. Los costes se basan en un equipo adecuado para un lavado de 3.500 t/año. Una tabla equivalente para un lavado de 15.000 t/año puede consultarse en BREF TEXTILE 2003 página 573. Las hipótesis de cálculo, el nivel de eficacia de los diferentes modos de tratamiento de los efluentes o sus efectos combinados y los detalles del estudio deben consultarse en BREF TEXTILE 2003 - capítulo 4.10.10 Tratamiento de las aguas residuales

generadas por las instalaciones de lavado de lana - página 566). BREF TEXTILE dedujo un retorno de la inversión de 2 a 4 años para esta categoría de lavado.

Sería útil evaluar cómo podrían adaptarse estas opciones técnicas e inversiones a capacidades de lavado más modestas -por ejemplo, para el lavado con una capacidad diaria más cercana al bajo umbral de 500 kg/día (200-300 t/año) de la Directiva IED, es decir, al menos 50 veces inferior a las hipótesis del BREF- y actualizarse, teniendo en cuenta que los datos recogidos tienen ya más de 20 años (encuesta INTERLAINE 1999). Por su parte, la pequeña hilandería estadounidense Mountain Meadow Wool está experimentando con más o menos éxito una alternativa a la centrifugadora, una espumadera de cinta, aparentemente en la cubeta de decantación del agua de lavado (véanse los informes de Mountain Meadow Wool citados en los enlaces al final del capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

### **El caso de Traitex**

Traitex, en Verviers, cerca de Lieja, es la mayor unidad de lavado de lana de Europa continental y la única unidad de carbonización de Europa occidental. Con una capacidad de lavado de 18 toneladas/día (5.000 t/año), Traitex dejó de recoger la grasa de lana en 2001, por considerar que era una operación poco rentable en ese momento. La planta de lavado está especializada en lanas europeas, que son mucho menos grasas y ofrecen un menor rendimiento para la extracción de grasa de lana que las lanas finas del hemisferio sur.

### **El caso de Manufacturas S.A.**

La planta de lavado de peines de Manufacturas S.A. en Béjar (Salamanca) cuenta con dos líneas de lavado antiguas con una producción media total de 3.200 t/año, de las cuales 3/4 se destinan al lavado de lana merina fina española. Para aprovechar el cumplimiento de la Directiva IED, la empresa tiene previsto comercializar lanolina a partir de efluentes de lavado, cuyo precio superó los 6 euros/kg a principios de 2010. Diseñó una planta de extracción de lanolina en colaboración con el Departamento de Ingeniería Química y Textil de la Universidad de Salamanca. El estudio e instalación en 2014-2015 de una línea de extracción optimizada incluyó un dispositivo de flotación por aire disuelto (DAF), craqueo térmico de la emulsión de grasa de lana y dos centrifugadoras que funcionan en cascada. La tesis de Alberto Sánchez Patrocinio<sup>xxxviii</sup> aborda los aspectos técnicos y económicos asociados a esta inversión de 400.000 euros. Mientras que el precio de la lanolina producida en Béjar en 2015 fue de 3,5 €/kg, el cálculo de rentabilidad, basado en los costes de amortización, el consumo energético y el rendimiento obtenido en lanolina/kg de lana cruda, reveló un beneficio de la extracción de lanolina para las lanas merinas finas que constituyen la mayoría de los lotes procesados en Manufacturas S.A., incluso para un precio de lanolina de 3 €/kg. Por otro lado, el autor revela un déficit y recomienda suspender la extracción para las lanas gruesas como las pirenaicas, incluso cuando el precio de la lanolina alcanza los 4 €/kg.

## **6.2 Metanización**

Los procesos biológicos para el tratamiento de los efluentes del lavado de la lana han sido ampliamente practicados por las unidades industriales durante mucho tiempo. Se distinguen los procesos biológicos asociados al crecimiento bacteriano que descompone los efluentes,

- ya sea en condiciones anaeróbicas, es decir, en ausencia de oxígeno, o anóxicas, en oxígeno enrarecido.
- Ya sea en condiciones aeróbicas, entonces se mantiene por la oxigenación del agua.

En estos entornos, los "consorcios bacterianos" específicamente aeróbicos o anaeróbicos, en simbiosis, constituyen cadenas de transformación orgánica que se encuentran en la naturaleza y que pueden recrearse en diversos ámbitos. La fermentación y el compostaje son ejemplos. La metanización es una forma de fermentación anaeróbica. En los procesos de metanización biológica interviene una gran variedad de bacterias especializadas en una cadena de transformación que degrada progresivamente la materia orgánica en los compuestos carbónicos más simples, dióxido de carbono y metano, y en otros compuestos según la naturaleza del alimento y del proceso. El biogás así producido puede utilizarse como fuente de energía.

### **Lagunaje anaeróbico**

El lagunaje es uno de los métodos de tratamiento más sencillos en su principio, ya que combina una cuenca de entrada de efluentes anaeróbicos y, a continuación, cuencas aeróbicas. Mientras que el proceso aeróbico es deficiente en los efluentes más cargados, debido a la falta de oxigenación suficiente del medio, el proceso anaeróbico aplicado en el tratamiento primario permite reducciones significativas de la DQO (>92% en el lavado de Lanas Trinidad). Eficaz a partir de los 15°C y eficiente por encima de los 25°C, el lagunaje anaeróbico ha sido ampliamente utilizado para los lavados situados en regiones cálidas, combinado con un conjunto de balsas aeróbicas donde los ecosistemas continúan el proceso de tratamiento hasta que el agua se libera al medio ambiente. El lagunaje, sin embargo, requiere grandes superficies en lugares aislados debido a los humos malolientes asociados a los procesos anaeróbicos y al mantenimiento regular debido a los lodos resultantes del tratamiento de los efluentes. El metano producido se difunde en la atmósfera. El metano es un gas de efecto invernadero y es probable que el lagunaje de las aguas industriales muy cargadas esté regulado para limitar sus emisiones. Es posible cubrir la laguna anaeróbica para evitar las molestias de olor del sulfuro de hidrógeno y recoger el biogás como subproducto del lavado de la lana, operación que se llevó a cabo en 2012 en la planta de lavado y peinado de lana Lanas Trinidad en Uruguay, 10. Esta es la operación que se llevó a cabo en 2012 en la planta de peinado de lana Lanas Trinidad en Uruguay, 10. 000 t peinadas/año, 300 m<sup>3</sup>/día de efluente con una DQO media de 53 kg DQO/m<sup>3</sup>, para recoger 3.000 m<sup>3</sup> de biogás/día al 70% de metano con el fin de producir 600 kW de electricidad en cogeneración y devolver el calor de los generadores para calentar el digestato de la cuenca anaerobia (coste 9 millones de dólares)<sup>xxxix</sup>. Se calcula que se producirán 2.000 t de lodos secos al año en la cuenca anaeróbica, que se recogerán regularmente y se tratarán aeróbicamente esparciéndolos cerca de la planta de tratamiento como abono.

### **digestor anaeróbico**

La digestión anaeróbica ha sido ampliamente documentada como proceso de tratamiento de los efluentes del lavado de lana. Cuando no es posible el lagunaje, por ejemplo en la periferia urbana, la fermentación en digestores anaeróbicos es una solución adecuada para el tratamiento de los efluentes industriales. También ofrece la ventaja de producir menos lodos, unas 5 veces menos, y de consumir menos energía que los procesos aeróbicos cuando es necesario forzar la oxigenación. Las investigaciones de laboratorio realizadas a partir de los años 80 han puesto de manifiesto la gran dificultad de degradar anaeróbicamente los efluentes de lavado. Las investigaciones de laboratorio llevadas a cabo a partir de los años ochenta pusieron de manifiesto la gran dificultad de degradar los efluentes de lavado por medios anaeróbicos. Revelaron procesos de biodegradación especialmente lentos, tiempos de retención de los efluentes en el digestor normalmente de 10 a 20 días<sup>xl</sup>, una degradación incompleta de la grasa de lana (aproximadamente el 50%) y la inhibición de los procesos de metanización, es decir, una baja producción de metano en comparación con la carga orgánica expresada en DQO y estimada en 0,20 l de metano/g de DQO. Por otro lado, esta inhibición ofrecía una mayor robustez de los procesos de metanización a altas cargas de efluentes, mientras que es una fuente de descomposición por acidificación en los digestores convencionales cuando se sobrecargan de compuestos fácilmente fermentables.

La composición del efluente del lavado de lana, emulsión, espuma, impurezas sólidas en suspensión y grasa, es una materia prima inadecuada para ciertos tipos de digestores de alto rendimiento, lo que provoca atascos y otros fallos.

La necesidad de largos tiempos de residencia de los efluentes requiere digestores de gran capacidad, lo que ha dificultado el desarrollo de la metanización de los efluentes del lavado de lana (Wipa Charles, 1994, páginas 39-43)<sup>xli</sup>.

Sin embargo, la vía anaeróbica no se ha descuidado en su aplicación para reducir la carga de DQO de los efluentes. La fermentación anaeróbica ha sido objeto de muchas investigaciones en laboratorio y a escala piloto en el desarrollo de procesos de floculación biológica para mejorar la floculación química para eliminar la grasa de lana y las impurezas emulsionadas en los efluentes. Aquí, el tiempo de residencia es demasiado corto (2-3 días) y las condiciones más bien anóxicas (en oxígeno enrarecido) para que la cadena de degradación alcance la fase final de metanogénesis, la producción de metano obtenida es por tanto baja e irrelevante. El objetivo es la desestabilización de la emulsión antes de la floculación. Los rendimientos obtenidos son del orden del 87% de DQO y del 93% de reducción de grasa (Pelàez 2001)<sup>xlii</sup> o del 98% de reducción de grasa (Enco, 2004)<sup>xliii</sup> en aplicación en Punta Arenas, Lana Estándar Chile (unidad de tratamiento 0,75 millones de dólares, ver capítulo 5.2.2). El volumen del digestor se reduce debido a un menor tiempo de residencia, 2-3 días, en comparación con lo que se necesitaría para metanizar el efluente.

### **Tratamiento de efluentes y producción de biogás para un proceso de lavado de 90t/año**

La Universidad de Wyoming realizó un estudio en 2012 para la hilandería Mountain Meadow, citado al final del capítulo 5.2.4 para evaluar la viabilidad de tratar el efluente de un lavado de pequeña capacidad (90 t/año) en una planta de biogás y recoger el biogás como coproducto del lavado.<sup>xliv</sup>

Los experimentos de laboratorio confirmaron los resultados de los diversos estudios ya mencionados y permiten esperar un rendimiento superior gracias al enriquecimiento gradual de los consorcios microbianos durante el funcionamiento. Los efluentes resultaron ser biodegradables en un 17-75% dependiendo de la concentración inicial y la prueba de potencial de metano (MPT) evaluada en 0,10-0,39 l de metano /g de DOC del efluente añadido. La carga del efluente se redujo en un 72 y 78% de DQO y la acidez del proceso se mantuvo estable. El biogás producido durante el tratamiento anaeróbico puede aplicarse para calentar los baños de la línea de lavado. La viabilidad económica del tratamiento anaerobio aumenta con el incremento de la eficiencia de eliminación de la DQO, el precio de la energía del gas natural y el coste de las tasas de tratamiento en las EDAR.

Partiendo de la hipótesis de un vertido mínimo diario de 11 m<sup>3</sup> de efluente a 15.000 mg de DQO/l, el tratamiento del digestor con una tasa de reducción del COD del 84% (tasa ligeramente superior a la obtenida durante las pruebas) estaría asociado a la producción de 100 m<sup>3</sup> de metano/día, es decir, el 15% de la energía necesaria para calentar las mismas cantidades de agua necesarias para la línea de lavado durante 6 horas.

El estudio de viabilidad integra los costes de inversión y explotación de la planta de GNL, la reducción del coste de vertido del efluente en la EDAR mediante el tratamiento in situ y el beneficio que ofrece la producción de metano frente al consumo de gas natural para la caldera de la línea de lavado.

Dependiendo del conjunto de supuestos realizados y de los diferentes escenarios considerados, el análisis muestra que el tratamiento anaeróbico de los efluentes del lavado de lana con recuperación de biogás puede ser ventajoso para un lavado de pequeña capacidad.

## **6.3 Compostaje y aplicación en tierra**

- El lavado de la lana y el tratamiento de los efluentes producen lodos. Los lodos proceden de la sedimentación de las manchas de lana durante el lavado, del proceso de eliminación química o biológica de la grasa e impurezas de la lana o de un proceso de tratamiento de efluentes. Las cantidades producidas varían según el método de tratamiento (véase Cuadro 8).
- *Dado que la grasa de lana es rica en potasio y nutrientes orgánicos (véase Tabla 5), el concentrado de un proceso de evaporación, utilizado tras la eliminación de la grasa y la suciedad, es un fertilizante orgánico concentrado renovable que puede añadirse a los pastos mediante sistemas de riego (Savage, página 21 *Erreur ! Signet non défini.*).*

### 6.3.1 compostaje

*Se cree que el compostaje es un medio viable para eliminar los lodos generados por el lavado de la lana, al tiempo que se enriquecen los suelos pobres. El carbono, descompuesto por el compostaje, se convierte aeróbicamente en dióxido de carbono, en lugar de metano (como ocurre en los vertederos). El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero mucho menos potente que el metano.*

*En el caso de los lodos de lavado de lana, el objetivo del compostaje es destruir, en la medida de lo posible, los componentes de los lodos que serían indeseables si se esparcieran por las tierras agrícolas. Se trata principalmente de grasa de lana y residuos de ectoparasitocidas. Por lo tanto, los compost producidos a partir de mezclas que contienen grasa de lana deben ser revisados periódicamente para comprobar su contenido en grasa de lana y ectoparasitocidas.*

*En las pruebas de compostaje realizadas en el Reino Unido, el compostaje de 6 a 7 semanas en una hilera con una capacidad de 10 toneladas y el compostaje de 14 días en un túnel cerrado produjeron resultados similares. La reducción de ectoparasitocidas grasos y sintéticos organoclorados y piretroides en el compost fue del 60 % y la reducción de ectoparasitocidas organofosforados fue del 80 %. Se esperaban más reducciones después de la fase de maduración, pero no se controlaron [187, INTERLAINE, 1999].*

*El mercado del compost es incierto. Según el informe de la Asociación de la Industria del Compostaje del Reino Unido, ningún centro es capaz de recuperar sus costes mediante la venta de compost. De hecho, la mayoría de los centros no reciben ningún pago por sus productos. (fuente BREF TEXTILE 2003, páginas 574-577)*

*Cuadro 12: Tiempo de compostaje y maduración, costes de inversión y de tratamiento de tres tipos de plantas de compostaje en tanque (fuente BRIEF TEXTILE 2003)*

<i>Sistema</i>	<i>Tiempo de compostaje días</i>	<i>Duración de maduración días</i>	<i>Coste de la inversión euros/10.000 t/año</i>	<i>Coste de tratamiento euros/t</i>
<i>En caja</i>	<i>7 à 36</i>	<i>0 à 120</i>	<i>450 a 2.250K</i>	<i>9 à 75</i>
<i>En contenedor</i>	<i>10 à 20</i>	<i>30 à 100</i>	<i>450 a 1.500K</i>	<i>15 à 45</i>
<i>Bajo túnel</i>	<i>6 à 30</i>	<i>0 à 56</i>	<i>75 a 3.000K</i>	<i>9 à 45</i>
<i>Fuente : [187, INTERLAINE, 1999], a saber, "The Composting Association, Reino Unido"...</i>				

*En su tesis, Biodegradation and composting profiles of woolscour wastes (Perfiles de biodegradación y compostaje de residuos de lana), 2003, S Kroeningxxvii investigó y desarrolló la técnica de compostaje con serrín*



incorporando lodos de floculación, biomasa del tratamiento aeróbico CFB y residuos del abridor de lana, como muestra en

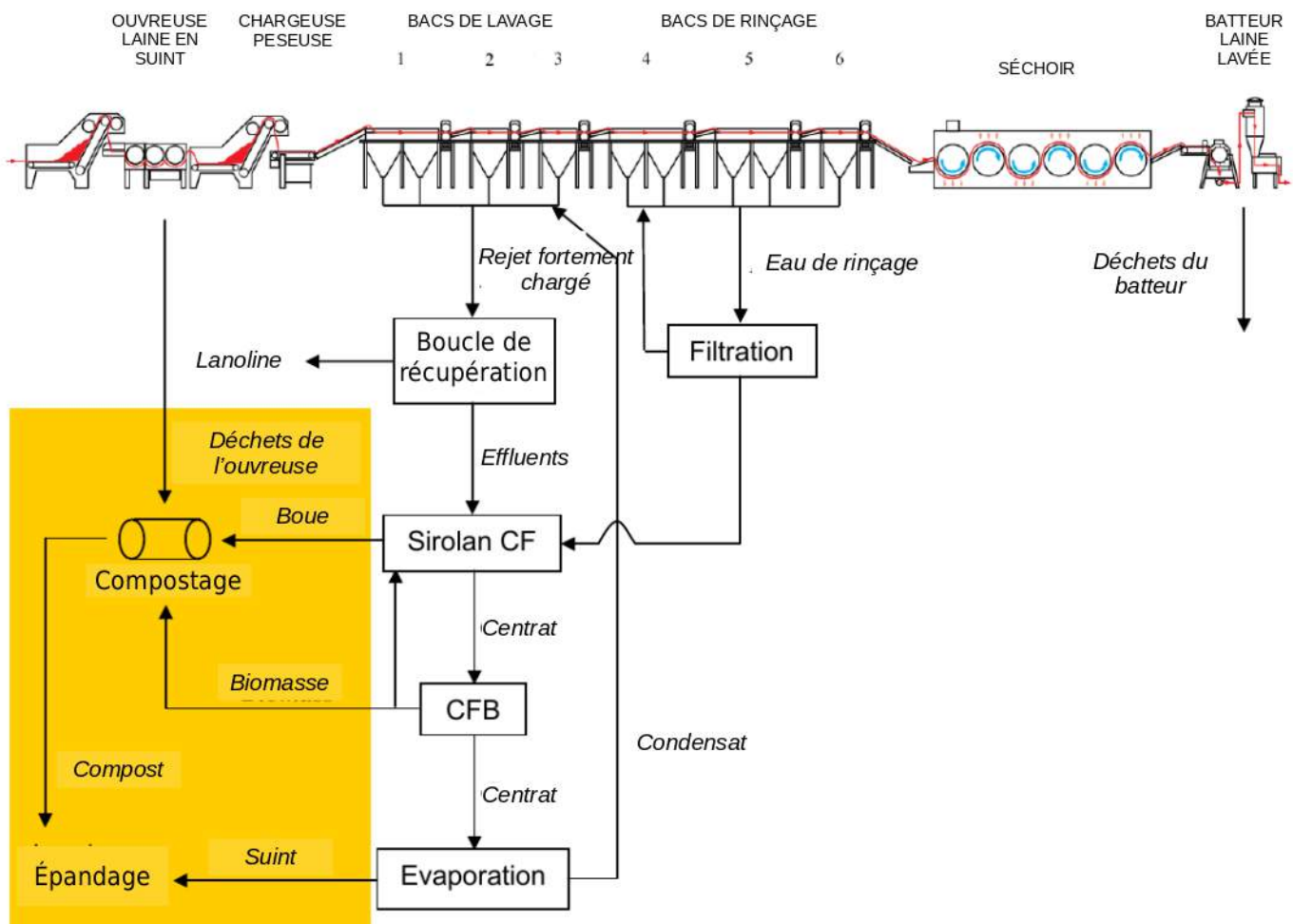


Figura 8 informa sobre los experimentos realizados en condiciones reales en Nueva Zelanda. El compostador utilizado es un tambor rotativo RotoCom de Andar, [distribuido en Italia](#).

5. El compostaje de los residuos de lana página 141

5.1. El sistema de compostaje Rotocom página 141

5.2. Pruebas de compostaje en la fábrica de lana de Ashburton página 142

5.3. Estudio de caso: Compostaje de lodos de lana de Kaputone página 167

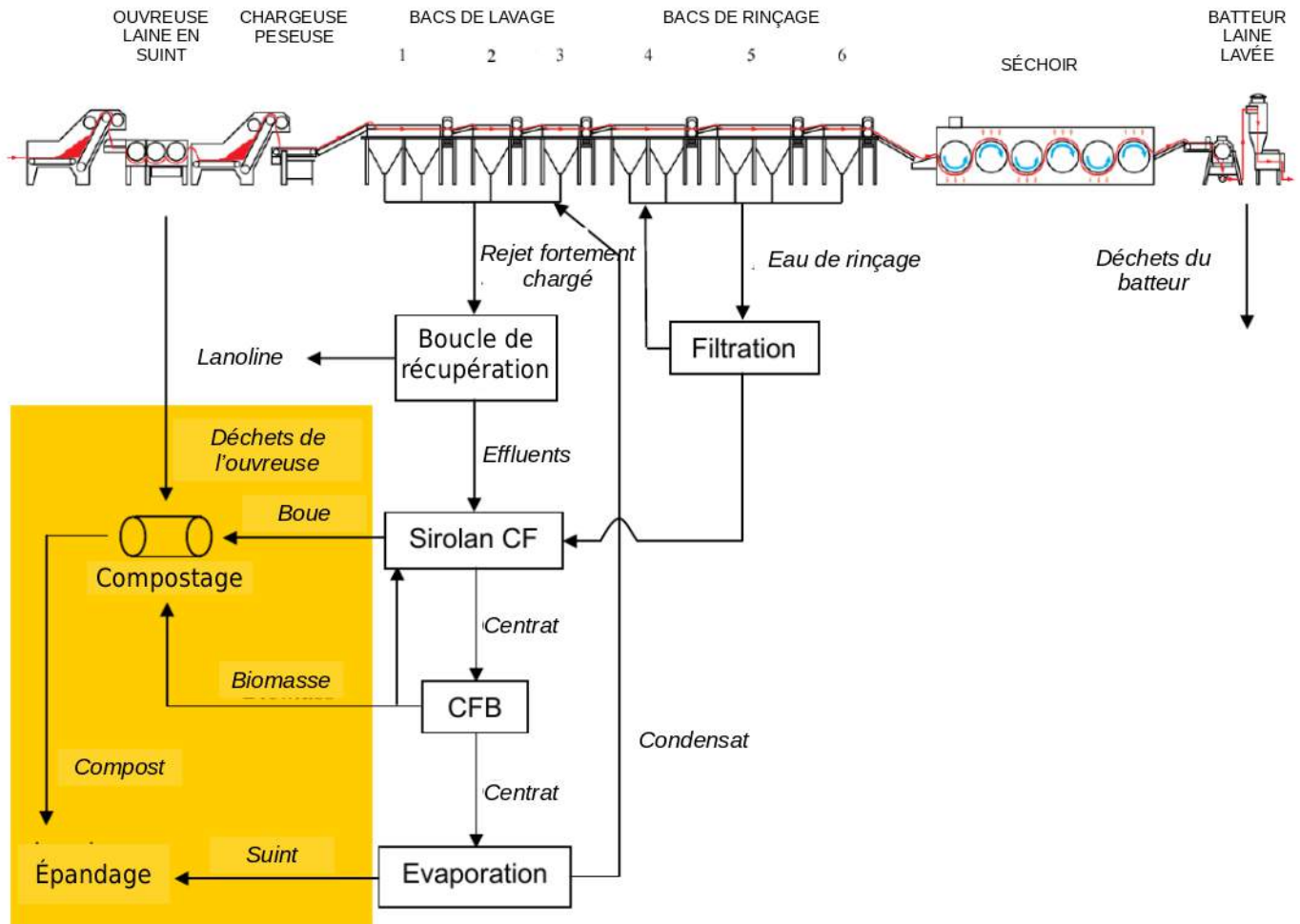
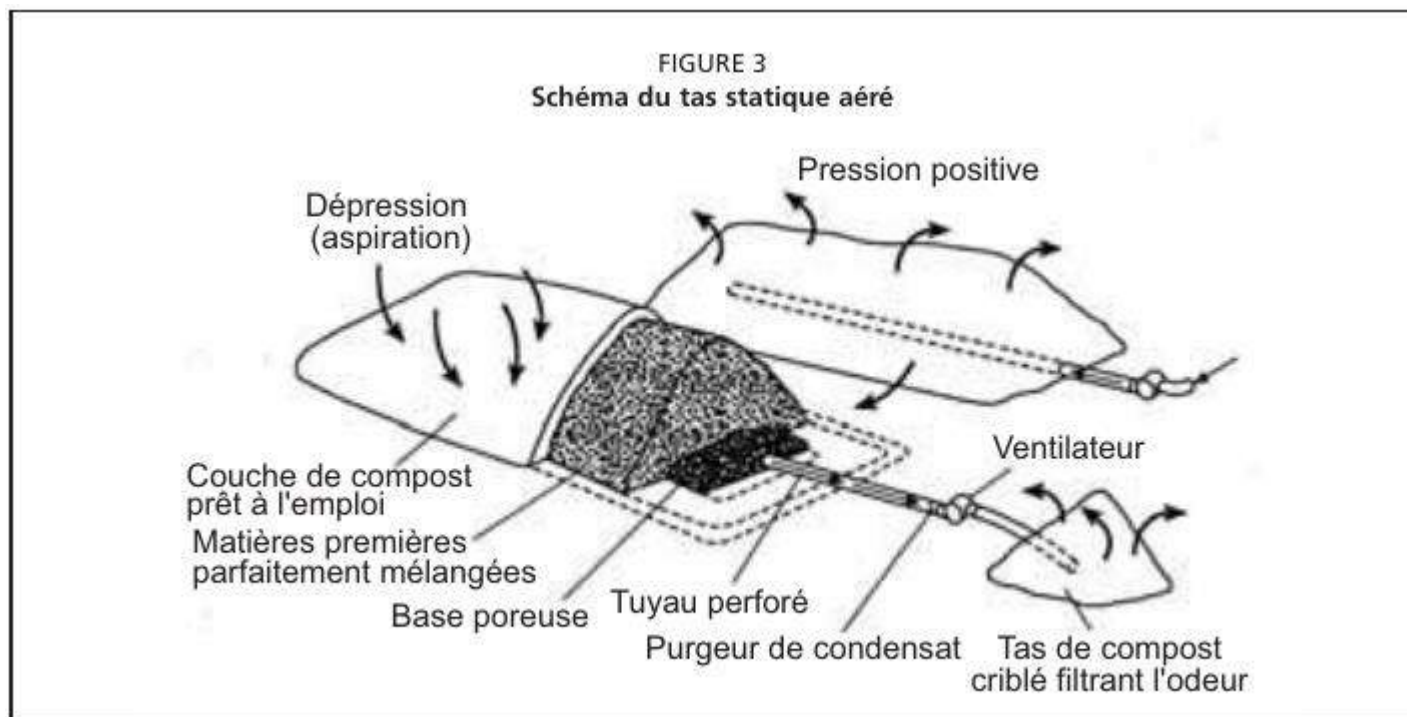


Figura 8: Ejemplo de un esquema de gestión de residuos para un lavado de lana (Kroeningxxvii, 2003, página 172) Descripción del tratamiento de Sirolan® mediante floculación química CF y CFB aeróbica (Kroening,

S. Kroening también realizó y documentó un proyecto de biorremediación en 2007 en un lavadero recientemente cerrado (2005) en Ashburton<sup>xlv</sup>. La operación consistió en tratar in situ unos 1700 m<sup>3</sup> de lodos secos y grasos procedentes de una antigua laguna de tratamiento de aguas de lavado. Los lodos analizados antes del compostaje tenían un contenido de grasa de lana del 20% en peso. La mezcla de lodos: material añadido se hizo en una proporción de 1:2,5 en volumen, que varió según el contenido de humedad de los lodos para conseguir la consistencia deseada. El aporte de material exterior consistió en compost de residuos verdes y en compost elaborado a partir de la siega del césped y el yeso. El mezclador de compostaje NexGen, con una capacidad de 4 m<sup>3</sup>, también pulverizó [microorganismos Efficent EM®](#) (3 l/lote de 4 m<sup>3</sup>) para activar aún más el proceso de compostaje y reducir los olores. A falta de acceso a una fuente de agua in situ, las hileras de compostaje se volteaban aprovechando las precipitaciones. La grasa de lana ya no era observable después de 4 semanas, observaciones confirmadas por los análisis.

Otro estudio presenta un compost realizado con la técnica de pila estática aireada mezclada con residuos verdes en el Reino Unido en 2007<sup>xlvi</sup>. Las proporciones de lodos y residuos verdes fueron de 1:0,76 en peso y 1:2 en volumen.



Source: NRAES-114, 1999.

Un documento de 2008, [Small Capacity Electromechanical Composting Devices](#), analiza los equipos de compostaje de [pequeña capacidad](#) y su coste.

### 6.3.2 Difusión en el suelo

Caso de dos lavados con una capacidad de aproximadamente 200 t/año

- La planta de lavado de Souvigny (véase el capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable**. esparcir el agua de lavado y los lodos desde 2003 hasta 2012 en los prados de su gestor con una tonelada de purines. La operación fue objeto de un plan de esparcimiento y no hubo desengrase previo de los efluentes. El agua de lavado se descargó en la STEU. Esta es una situación que no he encontrado en toda la documentación que he leído.
- Jenny Anderson, del lavadero de Ullkontoret, en la isla de Gotland (véase la sección **Erreur ! Source du renvoi introuvable**.), menciona en Washing the Wool-Scouring Wool (Lavado de la lana), en las páginas 82-83, que aplicarán a sus tierras alrededor del lavadero después de desengrasar el efluente.

En un lavado industrial de varios miles de toneladas/año, los efluentes tras el desengrasado por floculación siguen cargados de vellón de hierba marina muy soluble en agua. Los posibles restos de pesticidas, generalmente lipofílicos, se han separado de los efluentes con la grasa de lana en tratamientos anteriores. Esto deja un efluente cargado de potasio y nutrientes que es interesante para el riego de los cultivos.

Tabla 5 muestra la composición de un efluente de este tipo después de la floculación CF seguida de un tratamiento aeróbico CFB y de la evaporación (proceso Andar) para concentrarlo, como se muestra en

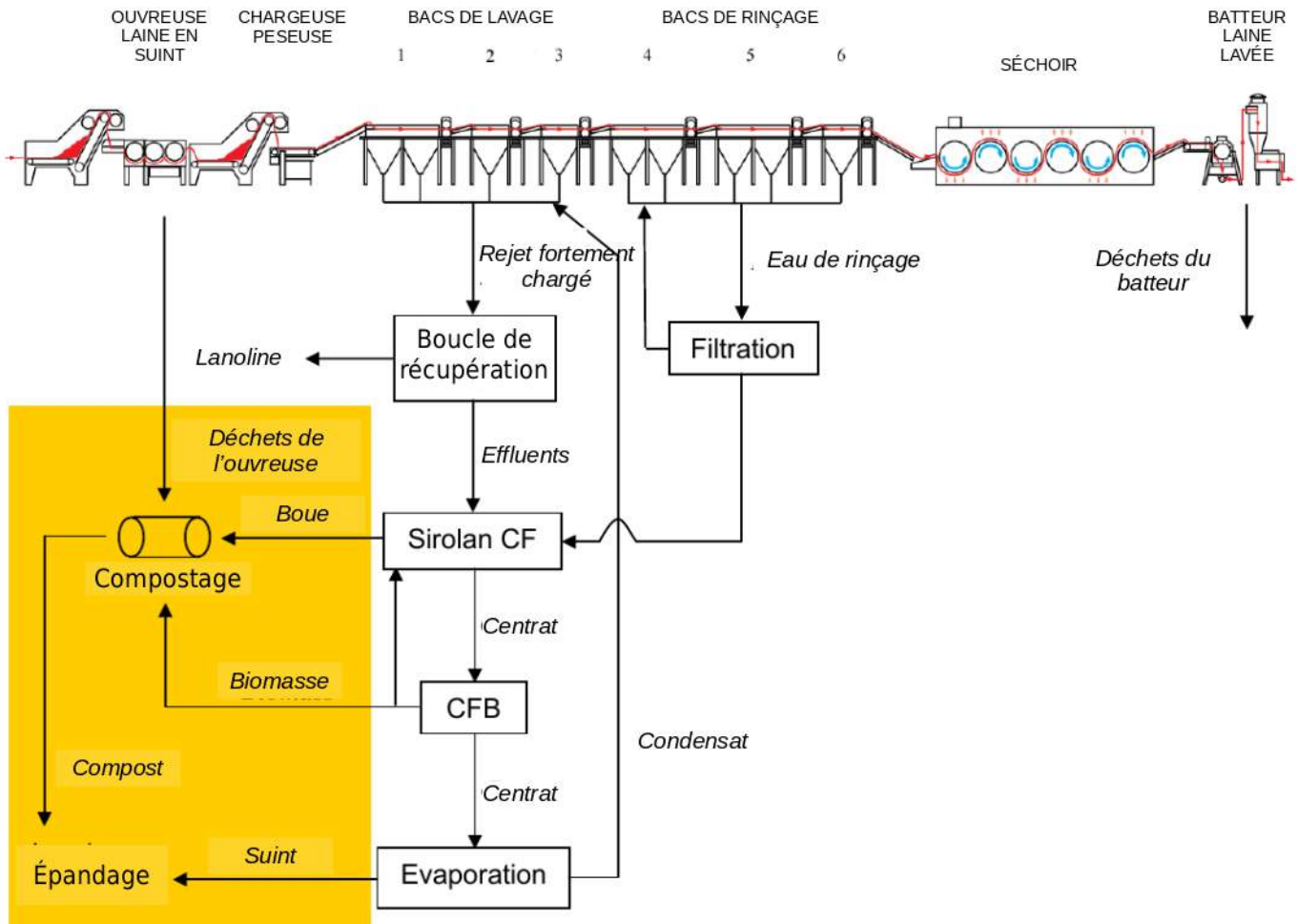


Figura 8. En *Biodegradation and composting profiles of woolscour wasxxvii*, Kroening habla de la lana concentrada en el capítulo 3, páginas 57-89, y del experimento realizado en agroforestería.

## 7 Conclusiones y alternativas

Este documento ha intentado abordar la cuestión medioambiental del lavado en su totalidad, avanzando en su desarrollo en la medida de lo posible sin prejuzgar el tamaño de un proyecto de instalación. Es evidente que la mayoría de los estudios y la literatura científica disponibles están orientados a los problemas y soluciones relacionados con el lavado continuo de gran capacidad, tratando miles de toneladas/año.

El lavado de agua, si bien es factible a muy pequeña escala con medios muy modestos, presenta en su esencia y según sus variantes las molestias que conducen rápidamente a problemas de consumo de agua y vertidos, y luego a problemas medioambientales al cambiar de escala. La concentración de las capacidades de producción conduce a la rarefacción de los lugares, a una sobreabundancia de tecnología e ingeniería para separar los baños y gestionar en el mismo lugar los contaminantes de una multitud de vellones de origen a veces lejano. ¿Es concebible que estas lanas, una vez lavadas, puedan volver a sus zonas de cría para proseguir su desarrollo local sin desvirtuar la noción de "local"?

La virtuosa normativa medioambiental europea acoge incondicionalmente la producción realizada fuera de sus fronteras, a veces con los mismos equipos de lavado que había sancionado, que se desmontaban aquí y se volvían a montar allí, en un marco normativo más tolerante. Los propios modelos que se promovieron en la elaboración de la normativa han desaparecido. Este juego podría servir para identificar los lavados de lana estudiados en la encuesta de Interlaine de 1999, que sirvió de base para la elaboración de las buenas prácticas de BREF TEXTILE BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES, y ver cuántas de ellas siguen existiendo en la actualidad. Aunque la

causa medioambiental es justa, necesaria, presionada por el cambio climático y el agotamiento de los recursos hídricos y energéticos, e impulsada por un impulso ciudadano, la solución promovida por Europa puede ser inadecuada para la deslocalización de la industria lanera.

Por cierto, es un cambio en la escala de responsabilidad que debemos hacer, para dejar de descargarnos, literal y figuradamente, en sitios de procesamiento lejanos, algunos de los cuales son cada vez más raros, todavía dentro de las fronteras europeas y estrictamente regulados por nuestra normativa según un modelo técnico probado, y otros que están fuera de nuestra vista, regulados según las leyes del mercado.

Todavía existe un campo de experimentación menos restrictivo, menos rígido en su aplicación, para las capacidades de lavado inferiores a 500 kg. Sin duda, habrá que explorar para diseñar y construir las bases de las cadenas locales de principio a fin, desde la cría hasta el producto acabado, desde el vellón hasta el reciclaje del producto acabado, incluyendo la gestión de los contaminantes del vellón.

Algunas iniciativas en Europa o Estados Unidos citadas en este estudio apuntan en esta dirección. Merecen un mayor desarrollo y apoyo mediante asociaciones y el intercambio de experiencias y conocimientos.

Otro enfoque, tal vez complementario, sería explorar alternativas, basadas en un principio diferente al del lavado con agua, cuyas molestias e impactos económicos se han observado.

Aquí hay dos formas muy diferentes de lavarse que merecen atención:

- Uno de ellos se basa en el conocido principio de solubilización de la grasa de lana en un disolvente no polar. El desarrollo de un nuevo proceso se ha completado y está a la espera de su fase de pruebas semi-industriales.
- La segunda vía es de investigación y se basa en la premisa de que es posible limpiar los vellones poco grasos mediante procesos biológicos, sin añadir detergente ni álcali.

## 7.1 Limpieza con disolventes

Mientras que las consideraciones medioambientales seguían teniendo poca repercusión en las opciones industriales, el lavado con disolventes ha seguido siendo marginal durante mucho tiempo, probablemente debido a su relativa complejidad e inversión. Hoy en día, ha sido ampliamente superado en complejidad y coste por las modernas columnas de lavado de agua, que son inseparables de sus sistemas integrados de separación y reciclaje y de sus equipos de tratamiento de efluentes.

### 7.1.1 ¿Qué beneficios?

Ciertamente, la percepción inmediata que se puede tener de los disolventes, su volatilidad y su olor característico, su posible inflamabilidad, los símbolos de advertencia, los riesgos insidiosos y a menudo mal conocidos, las recomendaciones de uso, los equipos de protección adaptados y las medidas a tomar en caso de inhalación, proyección o ingestión que aparecen en los envases, nos llevan a ser muy recelosos en su utilización.

Entonces, ¿cómo puede considerarse que un lavado con disolvente es una solución más respetuosa con el medio ambiente que un lavado con agua?

- Mediante la separación de la grasa de lana, que es la primera fuente de contaminación de los efluentes del lavado de agua:

- En un lavado con agua, la grasa se emulsiona en grandes cantidades de agua caliente en los baños por kg de lana tratada, de la que luego será difícil separar la grasa por extracción parcial (recuperable por centrifugación 20-40%) y tratamiento de efluentes. En un lavado con disolvente, las cantidades de disolvente son pequeñas comparadas con las cantidades de grasa de lana a tratar y la solución concentrada de grasa + disolvente se separará por evaporación-condensación (90% recuperable por centrifugación).

- La energía requerida es menor para el lavado con disolvente (principalmente gasificación/liquidación) que para el lavado con agua (principalmente calentamiento de los baños), tanto porque el calor específico y latente del disolvente es menor que el del agua como porque las cantidades en kg de disolvente o de agua/kg de lana tratada están a favor del disolvente.
- Al final, una economía de medios y de consumo para la extracción de la grasa de lana por disolvente (rápida y casi en total, 90%) comparada con una extracción por diferentes procesos, físicos (centrifugación 20-40%) luego físico-químicos y biológicos durante el tratamiento de los efluentes (sin valorización de la grasa de lana).

El principio del lavado de disolventes tiene similitudes con el lavado de agua con reciclaje de agua en sus procesos: hay dos circuitos muy distintos, la línea de lavado de lana y el bucle de tratamiento y reciclaje de disolventes :

- La línea de lavado incluye esquemáticamente un baño para separar los contaminantes solubles de la lana en el disolvente líquido y, a continuación, una deshidratación y/o evaporación del disolvente de la fibra. Dependiendo del proceso de lavado con disolventes, puede ser necesario un lavado con agua para liberar los contaminantes del vellón insolubles en disolventes que todavía están en la lana, como la grasa y la suciedad de la lana soluble en agua. Sin embargo, este lavado es ligero, ya que la lana se desengrasa y la grasa de la lana es muy soluble en agua. La lana se puede desempolvar en cuanto se desengrasa mediante el batido, una operación que se facilita porque la grasa ya no se adhiere a las fibras.
- Tratamiento del disolvente y bucle de reciclaje: el disolvente del baño, cargado de grasa de lana y cualquier otro compuesto solubilizado, debe ser purificado y reciclado. Esta operación se realiza mediante la evaporación del disolvente, donde la grasa de lana que no se ha vaporizado se recogerá junto con los demás residuos solubles e insolubles arrastrados junto con el disolvente durante la fase de lavado. El disolvente limpio vuelve al baño.
- El lavado con disolventes ofrece una separación eficaz de cada uno de los contaminantes y se presta a su recuperación o tratamiento diferenciado.

### 7.1.2 Algunas de las formas

Aunque el lavado con disolventes tiene más de un siglo de <sup>xlvii</sup>antigüedad, la diversidad de procesos desarrollados recientemente muestra diferentes enfoques para gestionar las dificultades y los riesgos asociados a este método de lavado en función de la elección del disolvente utilizado:

*Varios procesos diferentes alcanzaron la fase de prototipo comercial entre los años 1950 y 1970 sin lograr un éxito comercial significativo. Entre ellos, un proceso desarrollado en el Instituto de Investigación Textil de Suecia,<sup>xlviii</sup> el proceso de chorro de disolvente del CSIRO<sup>xlix</sup> y un proceso desarrollado en Yorkshire en West Riding Woolen and Worsted Mills Ltd.<sup>l</sup> Tanto el proceso sueco como el del CSIRO utilizaron un corte de petróleo con punto de ebullición, mientras que el proceso de Yorkshire utilizó tetracloroetileno.*

*La tecnología de lavado con disolventes de mayor éxito es el proceso de Smet, con siete plantas en funcionamiento comercial en 1990<sup>li</sup>. Utiliza una combinación de disolventes no polares (hexano) y polares (alcohol isopropílico) para tratar de eliminar la grasa y la suciedad de la lana, respectivamente. Sin embargo, los aceptables resultados obtenidos por la planta de Smet en las pruebas comparativas de rendimiento de la lana<sup>lii</sup> le dieron poco éxito comercial en los años 90<sup>lii</sup>. El elevado coste de inversión de una instalación de este tipo era un freno en comparación con una instalación convencional de agua, en un periodo de baja rentabilidad de la industria de la lana en general.*

*En 1983 se introdujo en Japón un nuevo tipo de lavado con disolventes: el proceso Toa-Asahi, que utiliza 1,1,1 tricloroetano como disolvente. La lana se desengrasó con el disolvente, se desempolvó y luego se lavó con jabón/sosa convencional para eliminar la grasa y la suciedad residual de la lana. Sólo se instaló una planta que dejó de funcionar. Parte del problema de este proceso era que el disolvente elegido era a la vez agotador de la capa de ozono y un gas de efecto invernadero.<sup>liii</sup>*

*Históricamente, los elevados costes de inversión han desaconsejado la instalación de sistemas de limpieza con disolventes. Además, como la mayor parte de las inversiones en lavado durante la década de los 90 se destinaron a la mejora o reubicación de plantas y no a instalaciones "nuevas", el margen para realizar cambios radicales en la tecnología ha sido limitado. Una excepción es la tecnología de lavado con disolventes de Wooltech Ltd. de Brisbane (Australia),<sup>liv</sup> que desarrolló un sistema que utiliza una formulación de 1,1,2-tricloroetileno (TCE). Este disolvente no es inflamable y no agota el ozono, ya que se degrada químicamente antes de llegar a la capa de ozono. Sin embargo, el TCE es tóxico para los seres humanos y requiere una*

*manipulación adecuada, tal como se describe en las hojas de datos de seguridad de los materiales (MSDS) disponibles en línea. En Trieste (Italia) se instaló una planta de fabricación a gran escala que incluía un sistema completo de limpieza con disolventes Wooltech, a tiempo para la exposición ITMA de 1995 en Milán.*

*(...) En comparación con los equipos convencionales de lavado acuoso, que son sencillos, robustos y tienen una larga vida útil, los equipos de lavado con disolventes son mucho más sofisticados y requieren un enfoque de ingeniería química para su funcionamiento. Sin embargo, si a la planta de lavado de agua se le añade un sistema completo de tratamiento de efluentes para cumplir la estricta normativa medioambiental, los niveles de sofisticación de la ingeniería son similares (Fuente Ciencia y Tecnología de la Lana , páginas 45-46) 2002 <sup>lv</sup>*

### 7.1.3 Lavado con disolventes y IED

La hilandería Wooltech recibió 26 millones de euros de la región y de la Cámara de Comercio e Industria de Friul-Venecia Julia <sup>lvi</sup> para su establecimiento en el puerto franco de Trieste en 1995. Hasta 2005 <sup>lvii</sup> explotó la última planta de lavado de disolventes de Europa.

El proceso Wooltech se cita como técnica de referencia de las MTD en BRIEF TEXTILE 2003 :

- Se describe en el capítulo 2.3.1.3 Lavado en medio solvente en las páginas 76-80.
- Los efectos sobre la salud y el medio ambiente basados en los datos de Wooltech se presentan en el capítulo 2.3.1.4 Cuestiones medioambientales relacionadas con el lavado de la lana con un disolvente orgánico páginas 79-80
- *El lavado con disolventes se menciona como MTD en el apartado 5.2.1 Lavado de la lana, en las páginas 585-586: "El lavado de la lana puede realizarse en un medio acuoso (el caso más común) o con un disolvente orgánico. Ambos procesos se definen como MTD, siempre que se cumplan una serie de requisitos. Lavado con disolvente orgánico  
El lavado con disolventes orgánicos es una MTD, siempre que se apliquen las medidas descritas en el apartado 2.3.1.3 para reducir las emisiones de volátiles y evitar cualquier posible contaminación de la capa freática, ya sea difusa o accidental. »*

Sin embargo, el contexto normativo y sanitario ha evolucionado desde la publicación de BREF TEXTILE 2003, de manera que el proceso Wooltech no podría seguir utilizándose en la actualidad. De hecho, el 1,1,2 tricloroetileno está clasificado como SVHC (sustancia altamente preocupante) e incluido en la lista XIV del reglamento europeo REACH sobre sustancias peligrosas. La sustancia está prohibida en Europa y sujeta a autorización desde el 21 de abril de 2016. Debido a esto, pero también a que ya no hay lavado con disolvente de la lana en la actualidad, el grupo de trabajo de BRIEF TEXTILE 2021 en preparación mantuvo pero suprimió (antes de excluirlo) todas las referencias al lavado con disolvente en el documento de trabajo en los capítulos 2.3.1.3 [Limpieza y lavado con disolvente] en las páginas 38-40 y 2.3.1.4 [Cuestiones medioambientales asociadas al lavado de la lana (con disolvente orgánico)] en la página 40 y suprimió el lavado con disolvente de la lana de las MTD. Esto no excluye la posibilidad de introducir el lavado con disolventes en Europa, pero debería tener unas emisiones industriales iguales o mejores que las citadas en la futura MTD de TEXTILE para el lavado de lana.

### 7.1.4 Lavado de lana en seco

El proyecto de *descrudado en seco de lana ecoeficiente con recuperación total de subproductos* se llevó a cabo de 2012 a 2016 en España con la colaboración de LEITAT y el Instituto de Química Avanzada de Cataluña (IQAC), centros de investigación, socio industrial de RMT y el lavado de lana de Manuel Rodrigues Tavares STMRT en Portugal. El proyecto Wool Dry Scouring (WDS) consistió en diseñar un nuevo proceso de lavado con disolventes, basado en el tratamiento de circuito cerrado y la recuperación total de residuos, producir un prototipo y evaluar su rendimiento.

El proceso utiliza etano como disolvente ([hoja de datos de seguridad](#)) en un reactor sellado que recibe el lote de grasa de lana a tratar. El dispositivo permite recoger el 95 % de la grasa de lana (recuperable) y parte del polvo de lana al batir la lana seca a la salida del reactor. La DQO se reduce entonces en un 75%. El aclarado con agua y detergente elimina los contaminantes residuales (grasa de lana, suciedad, polvo de lana, etc.) y produce lodos y efluentes a tratar (25% de la DQO inicial). El ciclo de desengrase generó un 3% de emisiones fugitivas de

disolvente durante el experimento. La automatización reduciría las emisiones fugitivas al 1% en el proceso industrial <sup>3</sup>. Algunos beneficios del proceso en comparación con el lavado con agua y el proceso de tratamiento relacionado :

- La calidad del lavado es superior a la de un lavado con agua de referencia.
- 70% menos de consumo de agua
- 30% menos de energía
- Reducción de costes global estimada en un 40% en comparación con un lavado con agua convencional. (reducción de cargas y recuperación de subproductos)

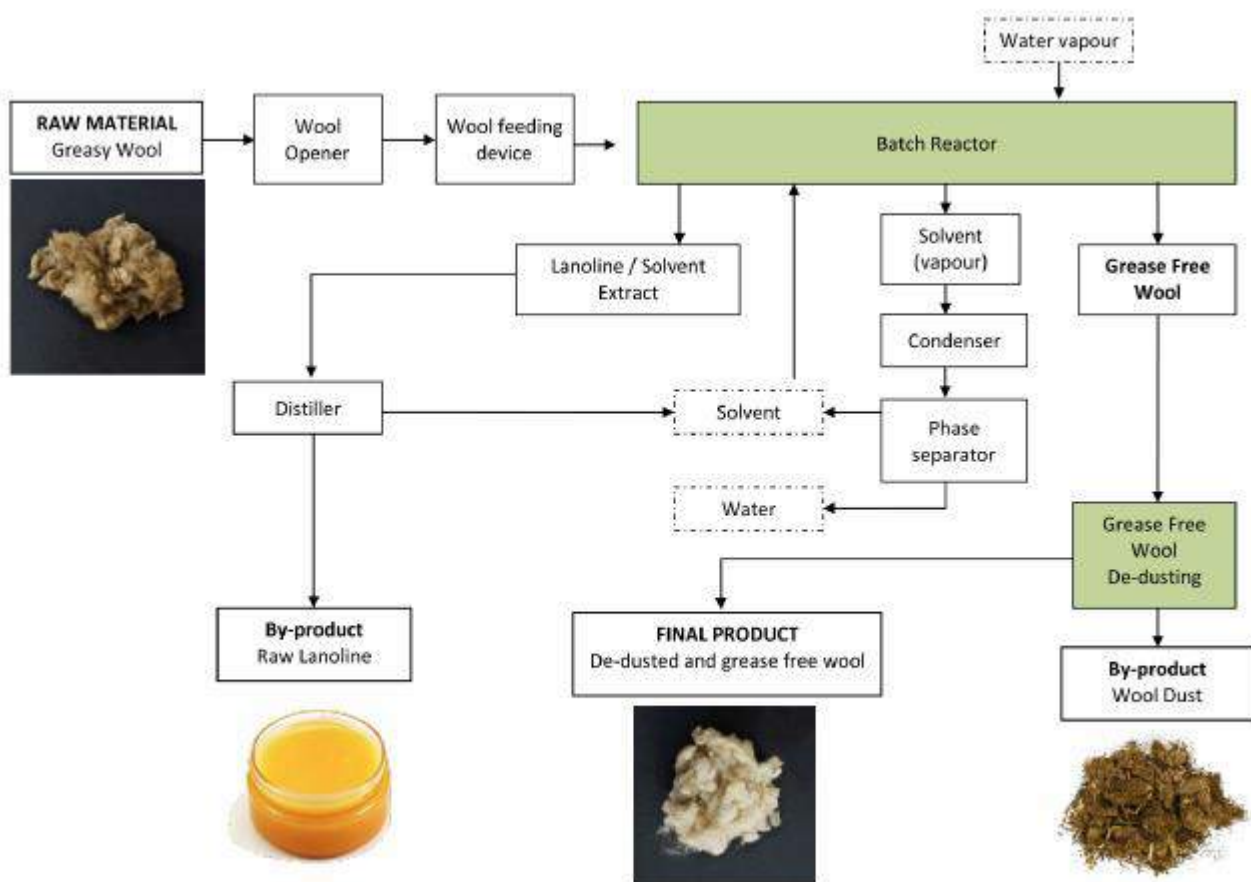


Figura 9: Esquema del descrudado en seco de la lana - excluyendo el aclarado con agua y su

El diagrama completo de flujos y residuos se encuentra en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

### Impacto de la naturaleza de las lanas procesadas

<sup>3</sup> Las emisiones fugitivas de hexano al aire ambiente no deben exceder el valor límite de exposición ocupacional de 8 horas (OEL de 8 horas) de 72 mg/m<sup>3</sup> de aire o 20 ppm.



Aunque la mayor parte de la grasa de lana se recoge mediante el proceso de lavado WDS, la valorización de la grasa de lana de las razas pirenaicas se limitará al bajo contenido en grasa de estas lanas, estimado en 50 kg de grasa de lana / tonelada de lana gruesa en grasa de lana. Sin embargo, es del mismo orden que el valor mínimo de recuperación centrífuga indicado como NEA-MTD para las lanas finas (véase Cuadro 7). Por lo tanto, la cantidad de grasa de lana recuperable favorece el lavado con disolventes incluso para las lanas gruesas.

### **Pesticidas**

El valor de la grasa recogida dependerá, de nuevo, del nivel de pesticidas en los vellones de los tratamientos. Este criterio puede depreciar mucho el valor de la grasa de lana para los laboratorios de transformación.

*En el proceso de Wooltech descrito en el BRIEF TEXTILE 2003, se menciona en la página 232: hay que señalar que esta lana no contiene pesticidas, ya que todos los pesticidas se separan fácilmente del disolvente y se eliminan con la grasa (se presentaron datos analíticos para apoyar esta conclusión). Esto supone una ventaja adicional para la planta de acabado textil, ya que le resulta más fácil cumplir los valores límite de las emisiones de plaguicidas.*

Si este es también el caso del proceso WDS, entonces sería una ventaja para la lana lavada y el agua de enjuague sin pesticidas, pero en detrimento de la grasa de lana recogida, donde se concentrarían si los vellones tratados tienen restos de pesticidas.

### **Datos del proyecto**

Programa	LIFE11 ENV/ES/000588
Duración	Del 1 de septiembre de 2012 al 28 de febrero de 2016
Presupuesto total	3 007 866€
Contribución de la CE	1 477 182€
Ubicación del proyecto:	Cataluña
sitio web del proyecto:	<a href="https://life-wds.eu">https://life-wds.eu</a>
video de presentación	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=2m-JARgqiDI">https://www.youtube.com/watch?v=2m-JARgqiDI</a>
documentos:	
	<a href="#">WDS Layman report 2016</a>
	<a href="#">Wooldryscouring (WDS) - Lavado de lana en seco ecoeficiente con recuperación total de subproductos</a>

El siguiente paso sería la realización de una instalación a escala semi-industrial.

## **7.2 Un lavado biológico**

El diseño de un lavado totalmente biológico es concebible. Aquí hay algunas pistas:

1. En los últimos diez años se ha desarrollado una práctica en las redes de aficionados a la lana, una práctica [que se comparte en Internet](#) bajo el nombre de FMS, *Método de la Sucia Fermentada*, para lavar la lana sin más medios que una lata, un vellón de lana gruesa y agua no clorada a casi 30°C como mínimo (se debe practicar en verano). Se produce una buena fermentación, la lana se limpia al cabo de unos días sin remover y el baño puede reutilizarse para los siguientes vellones con mayor eficacia. Basta con enjuagar con agua clara y cualquier olor desagradable del baño de fermentación desaparece tras el secado. El desengrasado es probablemente insuficiente en esta etapa, pero es adecuado para las actividades manuales por el momento. La lana resultante tiene más brillo y suavidad que el lavado con detergente (Lavado de lana - Lavado de lana páginas 54-55, 110-111).
2. Ya en 1956 se registró una patente en Estados Unidos sobre un proceso de lavado de lana por fermentación anaeróbica. Esta fermentación del vellón se produce de forma espontánea al cabo de unos días

sumergiendo la lana en un baño en condiciones anaeróbicas. El resultado es la degradación de los compuestos biodegradables presentes y la producción de biogás. Según este principio, no hay emulsión de la grasa de lana en el baño de fermentación, sino posiblemente una descomposición de la grasa in situ.

lviii

3. Es posible construir un digestor anaeróbico de 60 litros en pocas horas y por unos cien euros y comprobar que unos cuantos vellones colocados en este pequeño digestor pueden producir metano y ganar en limpieza tras un simple enjuague con agua clara en la máquina. La operación puede repetirse con el mismo baño de fermentación.

El enfoque ha sido hasta ahora experimental y empírico, los fenómenos involucrados parecen no estar resueltos. El hecho es que los procesos citados han dado algunos resultados que ya son adecuados para ciertos usos de la lana. ¿Quizás estemos redescubriendo en 1. el *método del suint fermentado*, la técnica de *lavado del suint* citada en el capítulo **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, basada en las propiedades de autolimpieza de la lana? Por lo demás, en el contexto económico y medioambiental actual, un método que ha caído en desuso podría encontrar un segundo aire, aunque se reduzca a remojar la lana antes de un lavado convencional. La reducción de la carga de agua, energía, detergente y efluentes mediante un simple remojo, que podría describirse como una fase de prelavado, debería tener sentido al leer un documento dedicado a la profunda huella ecológica del lavado de lana convencional.

Los puntos 2. y 3. son más precisos, ya que en última instancia conducen a explotar en el lavado de vellón el proceso de digestión anaeróbica del que hablamos en el capítulo 6.2 tratamiento de los efluentes de lavado, en particular para "consumir" la grasa residual de lana emulsionada en el agua de descarga del baño de lavado. Ya se han realizado algunos experimentos sencillos a lo largo de varios meses con recogida y registro de la producción de biogás, lo que constituye una prueba de los procesos en curso. Estas pruebas pueden ser realizadas por cualquier persona con medios modestos. El interés de estas observaciones podría resumirse en la siguiente pregunta:

**¿Es posible desarrollar un proceso de fermentación en el que las bacterias y las enzimas degraden los contaminantes del vellón, especialmente la grasa de la lana, sin afectar a la fibra? Un "enriamiento" específico de la lana, por así decirlo, para establecer un paralelismo con la maceración del cáñamo o del lino en la preparación de la fibra textil.**

Por qué no, ¡los microorganismos tienen recursos increíbles!

¿Conoce [la historia del deslanado de la lana, cómo Mazamet estableció e hizo su fortuna a partir de](#) un monopolio durante casi 150 años, el de un centro mundial de la lana del deslanado? Los mazameños argumentaron que la "calidad del agua" de Mazamet tendría propiedades especiales y únicas, lo que les permitiría separar la lana de las pieles de oveja saladas que confluían desde todos sus mostradores situados en los principales países productores del hemisferio sur. De hecho, el deslanado puede realizarse en cualquier lugar, siempre que se conozca la receta, iniciada en 1851: una fermentación controlada de las pieles en un horno *-el proceso de calentamiento-* que abre los poros y libera la fibra de lana, permitiendo recuperar tanto la lana como el cuero.

Es simple, todo lo que tenías que hacer era pensar en ello.

## 8 Anexos

Tabla 13: Algunos datos físicos y químicos de la grasa de lana cruda <sup>lix</sup>

Color	amarillo a marrón claro
Densidad (a 15°C)	0,94-0,97
Índice de refracción (40°C)	1,48
Punto de fusión	35-40°C
Contenido de ácido libre	4-10%
Contenido de alcohol libre	1-3%
Valor del yodo	15-30
Índice de saponificación	95-120
Peso molecular	790-880
Proporción de ácidos grasos	50-55%
Proporción de alcoholes	45-50%
Ácidos: punto de fusión	40-45°C
Valor del yodo	10-20
Peso molecular medio	330
Alcoholes: punto de fusión	55-65°C
Valor del yodo	40-55
Peso molecular medio	370

TABLE 4. Constituents of steroid alcohols in lanolin.

Sterols in lanolin	Content (wt. %)
Cholesterol	38
dihydrocholesterol	trace
Cholesta-3,5-diene-7-one	3.6
Lanosterol	14.8
Dihydrolanosterol	10.3
3-hydroxylansta-8-en-7-one	1.6
Hydrocarbons and undetermined alcohols	5.9

Figura 10: Composición de los alcoholes esteroides en la lanolinexi

TABLE 2. Constituents of lanoline fatty acids [3, 11].

Lanolin acid	Number identified	Content (wt %)	Carbon length	Carbon length major fractions
Normal acids	27	12.1	C8-C38	C14, C16, C24, C26
Iso acids	17	22.1	C8-C40	C14, C16, C18, C20, C26
Anteiso acids	18	26.3	C7-C41	C15, C19, C21, C25, C27
Normal $\alpha$ -hydroxy acids	23	21.8	C10-C32	C16
Iso $\alpha$ -hydroxy acids	12	4.5	C12-C34	C18-C24
Anteiso $\alpha$ -hydroxy acids	12	0.8	C11-C33	C23-C25
Normal $\omega$ -hydroxy acids	14	3	C22-C36	C30, C32
Iso $\omega$ -hydroxy acids	8	0.8	C22-C36	C30, C32
Anteiso $\omega$ -hydroxy acids	7	1.3	C23-C35	C25, C31
Total	138			
Unsaturated fatty acids	42	2.1		C16, C18
Poly hydroxy fatty acids		4.7		
Total fatty acids confirmed	180	99.5		

TABLE 3. Composition of mono and 1,2 diols alcohols wool wax alcohol.

Lanolin Alcohols	Number identified	Content (wt. %)	Carbon length	Carbon length major fractions
Normal- monoalcohol	16	1.6	C14-C34	C24, C26
Iso-monoalcohol	11	6.5	C14-C34	C20, C22, C26
Anteiso-monoalcohol	11	9	C17-C35	C21, C25, C27
Normal-Aliphatic 1,2 diols	14	0.4	C12-C25	C16, C18, C20
iso-Aliphatic 1,2 diols	9	5.9	C14-C30	C18, C20, C22, C24
anteiso-Aliphatic 1,2 diols	8	2.4	C15-C29	C21, C23
Total aliphatic alcohols	69	25.8		

Egypt. J. Chem. 61, No. 6 (2018)

Figura 11: Compuestos de lanolina

Fuente : Una crítica exhaustiva sobre la extracción de grasa de lana, propiedades y aplicaciones <sup>lx</sup>, 2018

Tabla 14: Algunos compuestos orgánicos aislados en el suintlx

componentes de vapores volátiles	Porcentaje	Otros compuestos alifáticos
Ácido fórmico $\text{HCOOH}$	Rastrear	
Ácido acético $\text{CH}_3\text{COOH}$	60	Ácido oleico Ácido esteárico
Ácido propiónico $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	25	
Ácido butírico $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	5	
Ácido valérico $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$	4	
Ácido caproico $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}$	3	
Ácido enántico $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{COOH}$	rastrear	
Ácido caprílico $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COOH}$	rastrear	
Ácido benzoico $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	3	
Fenol (derivado de un ácido fenil sulfónico) $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	rastrear	
Otros compuestos		
Ácido oxálico $\text{HOOC}\text{COOH}$		
Ácido succínico $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$		Amoníaco Monometilamina Trimetilamina
Ácido glicólico $\text{CH}_2(\text{OH})\text{COOH}$		
Ácido láctico $\text{deCH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$		
Ácido málico $\text{HOOCCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$	No se proporciona	
Glicina $\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$		
Leucina $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$		
Tirosina $\text{HO Ph CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$		
Ácido úrico $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_4$		

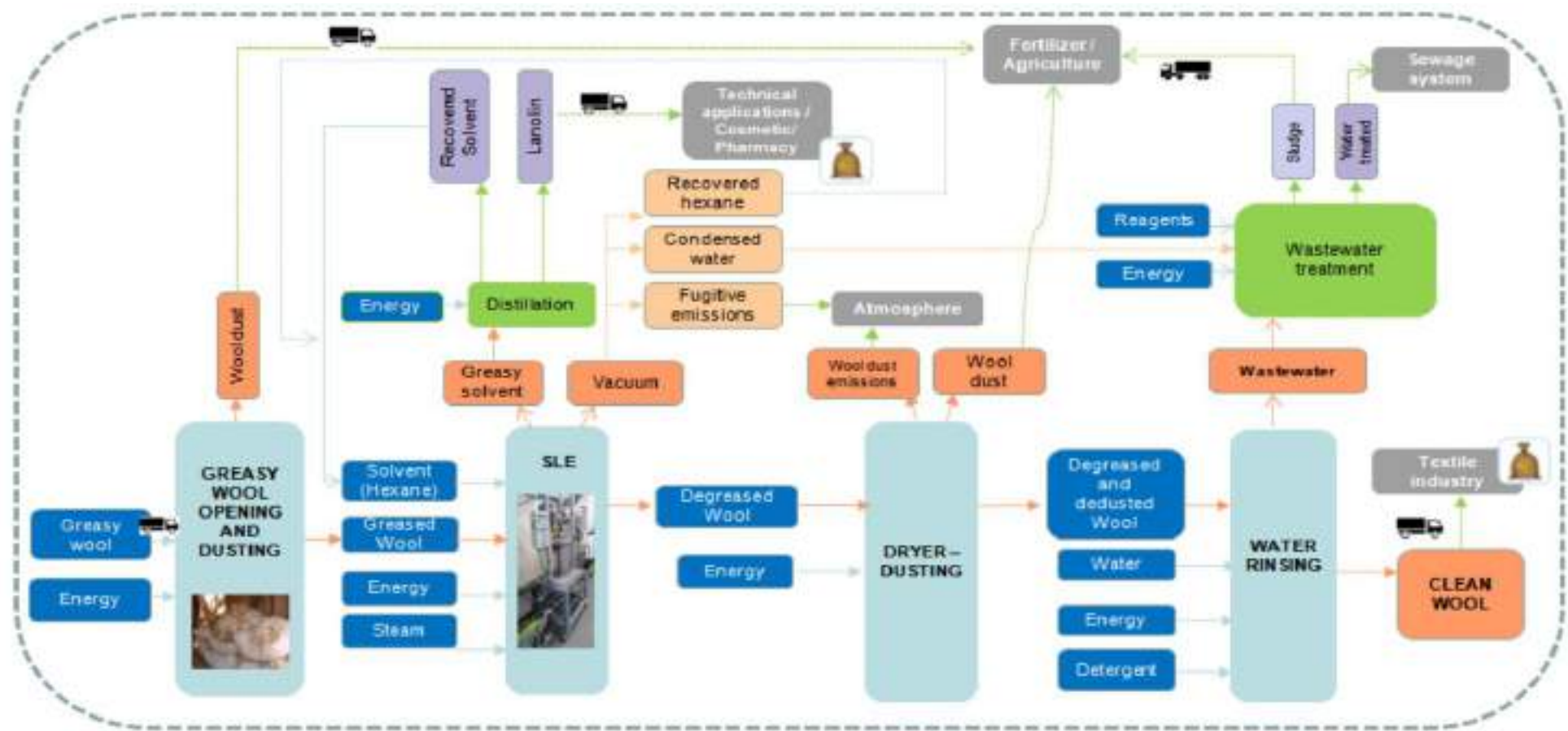


Figura 12: Diagrama de flujo en el descruado de lana en seco

- i Lavado de la lana - Lavado de la lana en Europa Emergencia y futuro ecológico 2016 - 146 p <http://atelierlainesdeurope.eu/francais.htm>
- ii Enciclopedia de Ciencia Animal - (Juego de dos volúmenes) [https://books.google.fr/books?id=mSJWDwAAQBAJ&pg=PT2033&lpg=PT2033&dq=лана+densidad+foliculos+mm2+merino&source=bl&ots=AxJIXzmnBO&sig=ACfU3U2-mBD3TAAK3WSdzVmkg7\\_Vi7JXw&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKewjJxqXXno3qAhURxYUKHfxQBwUQ6AEwA3oECAkQAQ#v=snippet&q=foliculos%20](https://books.google.fr/books?id=mSJWDwAAQBAJ&pg=PT2033&lpg=PT2033&dq=лана+densidad+foliculos+mm2+merino&source=bl&ots=AxJIXzmnBO&sig=ACfU3U2-mBD3TAAK3WSdzVmkg7_Vi7JXw&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKewjJxqXXno3qAhURxYUKHfxQBwUQ6AEwA3oECAkQAQ#v=snippet&q=foliculos%20)
- iii La-Navette-15-Les-standards-laine-de-France.pdf <https://laines.eu/wp-content/uploads/La-Navette-15-Les-standards-laine-de-France.pdf>
- iv Jean Rouanet Matelassier - coleccionista de lana - experto en lana [jeanrouanet.dormilaine@gmail.com](mailto:jeanrouanet.dormilaine@gmail.com)

- 
- v Investigación sobre la composición química del vellón de las ovejas I. - P. V. Charlet <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886584>
- vi A Comprehensive Critique on Wool Grease Extraction, Properties and Applications Hosam El-Din Zakaria El-Sayed\*, Salwa Mowafi, Amira Abou El-Kheir, Eman M. El-Khatib Textile Industries Research Division, National Research Centre, Dokki, Cairo, Egypt. Egipto.J.Chem. Vol. 61, No.6 pp. 1151- 1159 (2018)  
[https://www.researchgate.net/publication/330901541\\_A\\_Comprehensive\\_Critique\\_on\\_Wool\\_Grease\\_Extraction\\_Properties\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/330901541_A_Comprehensive_Critique_on_Wool_Grease_Extraction_Properties_and_Applications)
- vii Biodeterioro de la lana por microorganismos y - U.S. Department . Jeanette M. Cardamone - fichier disponible en français - <http://wyndmoor.arserrc.gov/Page/2001/7044.pdf>
- viii Von Berger, American Wool Handbook, Textile Book Publishers, 2d Ed, 1948, capítulo 4 Chemical Nature and Properties, Mildew and Bacteria página 219  
<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.114968/page/n219/mode/2up?q=spores>
- ix Jean Rouanet Matelassier - coleccionista de lana - experto en lana [jeanrouanet.dormilaine@gmail.com](mailto:jeanrouanet.dormilaine@gmail.com)
- x BRIEF Textil 2003 - 4.4.4 Lavado de lana con disolvente orgánico página 382
- xi Sistemas de lavado de lana - Errol Wood - 7.2 Lavado con disolvente <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/07/Wool-482-582-08-T-07.pdf>
- xii Greenpeace - An Overview of Textiles Processing and Related Environmental Concerns 2005 página 7 [http://www.greenpeace.to/publications/textiles\\_2005.pdf](http://www.greenpeace.to/publications/textiles_2005.pdf)
- xiii BRIEF TEXTILE 2003 - 2.3 Preparación de las fibras: fibras naturales 2.3.1 Lana
- xiv Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para el Acabado Textil VITO -1998 - página 39 [https://emis.vito.be/sites/emis/files/pages/migrated//Textiel\\_volledig\\_rapport.pdf](https://emis.vito.be/sites/emis/files/pages/migrated//Textiel_volledig_rapport.pdf)
- xv Solicitud de la etiqueta Pôle d'Excellence Rurale 2ª oleada Oct. 2010 - PER Alpes Provence Laine página 10
- xvi BREVE 2.3 Preparación de la fibra: fibras naturales 2.3.1 Lana
- xvii American Wool Handbook - Herbert Von Bergen, Richard Mauersberger Textile Book Publishers 1948 <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.114968/page/n417/mode/2up>
- xviii Some Chemistry of the Wool Industry Scouring and Yarn Production - Chemical Processes in New Zealand; 2nd ed.; Packer, J. E., Robertson, J., Wansbrough, H., Eds.; New Zealand Institute of Chemistry: Auckland, 1998 - Detergent selection pages 12-13 <https://nzic.org.nz/app/uploads/2017/10/5F.pdf>
- xix BRIEF TEXTIL 2003 4.3.3 Sustitución de los etoxilatos de alquilfenol (y otros tensioactivos peligrosos) página 360
- xx BRIEF TEXTIL en preparación BAT/BAT 16 página 733
- xxi WoolWise Australian Wool Education Trust, Módulo WOOL-482-582-08 : Procesamiento de la lana Tema 7, página 7-3, 2008 <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/07/Wool-482-582-08-T-07.pdf>
- xxii Textile Preparation And Dyeing Par A. K. Roy Choudhury page 218  
[http://books.google.fr/books?id=0TamObsaaPOC&pg=PA211&lpg=PA211&dq=wool+scouring+bowl&source=bl&ots=7D1ce98BiY&sig=zFb9YObMhBsnHj4I\\_u9N2o0aTsg&hl=fr&sa=X&ei=UopzUc61J8HPhAeWlIDQAQ&ved=0CC0Q6AEwADgK#v=onepage&q=wool%20scouring%20bowl&f=false](http://books.google.fr/books?id=0TamObsaaPOC&pg=PA211&lpg=PA211&dq=wool+scouring+bowl&source=bl&ots=7D1ce98BiY&sig=zFb9YObMhBsnHj4I_u9N2o0aTsg&hl=fr&sa=X&ei=UopzUc61J8HPhAeWlIDQAQ&ved=0CC0Q6AEwADgK#v=onepage&q=wool%20scouring%20bowl&f=false)
- xxiii WOOL-482-582-12-T-02.docx page 14 <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/07/WOOL-482-582-12-T-02.pdf>
- xxiv Visión integral de la química, fabricación y aplicaciones de la lanolina extraída del pretratamiento de la lana Amit Sengupta y Jagadananda Behera - 2014 -  
[http://www.ajer.org/papers/v3\(7\)/F0373343.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(7)/F0373343.pdf)
- xxv Bateup, B 0, Christoe, J R, y Russell, I M, CSIRO Division of Wool Technology, 1995. Se refiere al efluente primario tratado. - Effluent Management guidelines for aqueous wool scouring and carbonising in Australia, página 7 <https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/pub1-effluent-woolscouring.pdf>
- xxvi Lavado de la lana - El lavado de la lana en Europa Emergencia y futuro ecológico 2016 - 148 páginas, <http://atelierlainesdeurope.eu/Boncommande-Saugues.pdf>
- xxvii Perfiles de biodegradación y compostaje de residuos de lana - Kroening 2003 <https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/1483>
- xxviii Recuperación de la grasa de lana a partir de los efluentes del lavado en la fábrica textil 2014 Diana Starovoytova Universidad de Moi página 3  
[https://www.researchgate.net/publication/304322462\\_Wool\\_Grease\\_Recovery\\_from\\_Scouring\\_Effluent\\_at\\_Textile\\_Mill](https://www.researchgate.net/publication/304322462_Wool_Grease_Recovery_from_Scouring_Effluent_at_Textile_Mill)
- xxix Christoe, J. R. Tratamiento y eliminación de aguas residuales. En: Wool Scouring and Worsted Carding: New Approaches; 5th - 7th November 1986; Geelong. 1986. 24 - 32.  
<http://hdl.handle.net/102.100.100/273676?index=1>
- xxx Estudio de viabilidad del lavado de lana en Powys, 28 páginas, 2005, Página 18
- xxxi Presentación de la unidad de evaporación Ecostill - Lavado de lana - Lavado de lana en Europa Emergencia y futuro ecológico 2016 página 117 - [página web de la empresa](#)
- xxxii Una línea de lavado procedente de España e instalada en Suecia - Lavado de lana - Lavado de lana 2016 - páginas 80-83 <http://www.ullkontoret.se> -  
<https://www.facebook.com/ullkontoret/>

- 
- xxxiii Lavado de lana, situación actual y futuro, Daniel Palet, 1999 - Centro Innotex - CTF, Universidad Politécnica de Cataluña
- xxxiv Fuentes Lavado de la lana - Lavado de la lana páginas 68-69, Využití ovčí vlny v současných podmínkách, Petra Martinková, 2016, páginas 29-38, [https://theses.cz/id/nazuq3/zaverena\\_prace.pdf](https://theses.cz/id/nazuq3/zaverena_prace.pdf), traducción de textos: <https://translate.google.com/translate?hl=fr&sl=cs&u=https://docplayer.cz/47450436-Mendelova-univerzita-v-brne.html&prev=search&pto=aue>
- xxxv Marie-Thérèse Chaupin Atelier-Laines d'Europe
- xxxvi Energy-Efficient Wool Scouring Facility, A Project Designed to Support the NY Sheep Industry by Building a Facility that Scours Wool with Energy Efficiency and Environmental Responsibility, S. Hoyt, 10 páginas, oct. 2003 <https://greenbank.ny.gov/-/media/Files/EERP/Renewables/energy-efficient-wool-scouring-facility.pdf>
- xxxvii Procesos integrados de tratamiento de efluentes primarios de lana - Matthew J. Savage B. E. Hons. Universidad de Canterbury - 2002 [http://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/1125/1/thesis\\_fulltext.pdf](http://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/1125/1/thesis_fulltext.pdf)
- xxxviii [Mejoras en el proceso industrial de extracción de lanolina del efluente procedente del lavado de la lana en base a un tratamiento físico-químico](#) Sánchez Patrocinio, Alberto Autoridad USAL - 2015 -
- xxxix Recuperación de biogás y generación de electricidad a partir del tratamiento anaeróbico de efluentes industriales de lana <https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/AENOR1368802131.53/view>
- xl Degradabilidad anaeróbica del efluente de lavado de lana Darren Isaac y Ralf Cord-Ruwisch - 1991 - [https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/10130/1/anaerobic\\_degradability.pdf](https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/10130/1/anaerobic_degradability.pdf)
- xli La biofloculación anaeróbica como mecanismo para la eliminación de la grasa del efluente del lavado de la lana por Wipa Charles (nee Lapsirikul) 1994 <https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/39184/1/Charles1994.pdf>
- xlii Un concepto de tratamiento integrado anaeróbico-físico-químico para aguas residuales de lavado de lana H. Peláez, S. Gutiérrez, G. Castro, A. Hernández, M. Viñas 2001, <http://wst.iwaponline.com/content/44/4/41>
- xliii Tratamiento de efluentes en thos. Chadwick & Sons Ltd <https://books.google.fr/books?id=Du6iAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q=chadwick&f=false> traducción disponible
- xliv Producción de biogás y viabilidad de los sistemas de recuperación de energía para el tratamiento anaeróbico de los efluentes del lavado de la lana. Schoen, E.J. y D.M. Bagley. Recursos, Conservación y Reciclaje, 2012 <https://pdfslide.net/documents/biogas-production-and-feasibility-of-energy-recovery-systems-for-anaerobic.html>
- xlv Remediación de terrenos industriales contaminados: una solución comunitaria a un problema medioambiental local, S Stivens, S Kroening, M Daly, 2007, <https://www.wasteminz.org.nz/wp-content/uploads/Steve-Kroening.pdf>
- xlvi Eliminación de los lodos de lana por compostaje John Pearson, Fen Lu y Kimti Gandhi - Universidad de Huddersfield, Reino Unido, AUTEX Research Journal, Vol. 4, n°, 2004, 10 p [http://www.autexrj.com/cms/zalaczone\\_pliki/7-04-3.pdf](http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/7-04-3.pdf)
- xlvii Lana, descudado de la lana, secado de la lana, recogida de las fresas, carbonización, mezcla de la lana, engrasado de la lana, cardado de la lana, preparación de la lana y de la urdimbre de lana (1905) por International Textbook Company ics\_90, [https://www2.cs.arizona.edu/patterns/weaving/books/ics\\_90\\_1.pdf](https://www2.cs.arizona.edu/patterns/weaving/books/ics_90_1.pdf)
- xlviilindberg J y Ekegren S, "A new method for solvent scouring of raw wool", Proc. Int. Wool Text. Res. Conf., Melbourne, CSIRO, 1955, E, 342-6.
- xlix Solvent scouring of raw wool', Wool Sci. Rev., 1963, 23, 40-54.
- l Saville N, Shelton W J, Ward R y Sewell J, 'A system of wool scouring using chlorinated solvents', Appl. Polym. Symp., 1971, 18, 1157-61.
- li Barker G V y Davin F, "A focus on solvent scouring with special reference to the de Smet plant in Western Australia", Proc. 8th Int. Wool Text. Res. Conf., Christchurch, Wool Res. Org. de NZ, 1990.
- lii Robinson B y Lee C S P, "A Comparative Study of Raw Wool Scouring Systems", IWS Environmental Technical Bulletin ETB-27, Ilkley, 1993.
- liii Robinson B, Recent developments in raw wool scouring and carbonising, IWS Technical Information Letter, Ilkley, Report TIL/ET-7, 1991.
- liv Hopkins P, Solvent Cleaning of Wool: Some Recent Developments, Deutsches Wollforschungsinstitut Report No 119, pp 128-135, 1997.
- lv Wool Science and Technology by S.W. Simpson, G.H. Crawshaw (z-lib.org), Elsevier, 9 mai 2002 - <https://b-ok.cc/book/862868/34738e>
- lvi Wooltech invierte en el puerto franco de Trieste, Italia Oggi - Número 301 página 11 09/12/1995 <https://translate.google.com/translate?hl=fr&sl=it&u=https://www.italiaoggi.it/archivio/wooltech-investe-nel-porto-franco-di-trieste-263229&prev=search>
- lvii Investigación y desarrollo de la metrología de la lana hasta la fecha - D.J. Cottle Textile Progress, 2015 página 232)



---

lviii Treatment of Wool Wastes A. M. Buswell Research Professor Of Chemistry University of Florida 1956

<http://earchives.lib.purdue.edu/cdm/compoundobject/collection/engext/id/4993/rec/42> traduction available - Brevet US2864746A Process for cleaning raw wool

<https://patents.google.com/patent/US2864746> traduction available

lix Truter, E.V. Wool Wax Chemistry and Technology, Cleaver-Hume Press Ltd., Londres (1956).

lx Una crítica exhaustiva sobre la extracción de grasa de lana , [https://ejchem.journals.ekb.eg/article\\_10327\\_aa608f50a7853fd10cfef37b4397a8cd.pdf](https://ejchem.journals.ekb.eg/article_10327_aa608f50a7853fd10cfef37b4397a8cd.pdf)