

**Evaluación de la detergencia de suciedad  
mixta (grasa y almidón) adherida a  
superficies de acero inoxidable en la industria  
alimentaria**

**Aylín Rocío Fraatz Leal**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2019

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

# **Evaluación de la detergencia de suciedad mixta (grasa y almidón) adherida a superficies de acero inoxidable en la industria alimentaria**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Aylín Rocío Fraatz Leal**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2019

## **Evaluación de la detergencia de suciedad mixta (grasa y almidón) adherida a las superficies de acero inoxidable en la industria alimentaria**

**Aylín Rocío Fraatz Leal**

**Resumen.** En la industria alimentaria uno de los factores más importantes es la limpieza de las superficies utilizadas. Las suciedades como la grasa y almidón son muy utilizadas en formulaciones para realizar distintos productos a base de estos. El objetivo fundamental de la investigación realizada es desarrollar protocolos de lavado optimizados para la industria alimentaria, maximizar la limpieza de las instalaciones minimizando el impacto ambiental y costo económico del proceso de limpieza. Esta investigación evalúa la detergencia de diferentes suciedades mixtas formadas por grasas de cerdo ibérico y almidón de papa, con ayuda del sistema patentado llamado BSF (Baño Sustrato Flujo), este sistema es simulación del sistema in situ. La superficie a lavar fue acero inoxidable llevándose el lavado a 50 °C utilizando soluciones de lavado de pH 3, 7 y 13 con concentraciones de 0, 30, 60, 80 y 100% grasa por 10 minutos. Se hizo un análisis de varianza con separación DUNCAN y LSMEANS para evaluar la interacción entre los factores, siendo estos pH y concentración de grasa en las suciedades mixtas. Se logró determinar la influencia que ejerce el pH y concentraciones de grasa y almidón sobre la limpieza de suciedades alimentarias mixtas adheridas a superficies de acero inoxidable.

**Palabras clave:** Ácido, alcalino, BSF, neutro, suciedades alimentarias.

**Abstract.** One of the most important factors in the food industry is the cleaning of the surfaces that are being used. Things that produce a lot of dirt like fats and starches are very commonly used in formulating products. The fundamental objective of this investigation was to develop protocols for cleaning, simultaneously optimizing the food industry through the maximization of the cleaning in the installations and minimizing the environmental impact and cost of the cleaning process. These investigations evaluated the detergency of different types of dirt formed by the fat of pigs and potato starch with the patented system called BSF (Bath Substrate Flow), a system that is a simulation of the CIP (Cleaning In Place). The surface to be washed was stainless steel and it was washing at 50° C using solutions that have a pH of 3, 7 and 13 with concentrations of 0, 30, 60, 80 and 100% of fat for 10 minutes. Statistical analysis was made through an ANDEVA with the separation DUNCAN and LSMEANS to evaluate the interaction between the factors, being the pH and concentrations of fat and starch about the cleaning of alimentary dirt mixed and adheres to stainless steel surfaces.

**Key words:** Acid, alkaline, BSF, food dirt, neutral.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firma .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>14</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>16</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>18</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Bloques completos al azar con arreglo factorial.....	4
2. Concentraciones de grasa e isooctano para la recta de calibrado.....	6
3. Detergencia expresada en % de suciedad de grasa a diferentes pH.....	8
4. Detergencia expresada en % de suciedad de almidón a diferentes pH.....	10
5. Relación de pH y concentraciones de grasa en la detergencia de grasa.....	11
6. Relación de pH y concentraciones de almidón en su detergencia.....	12

Figuras	Página
1. Comparación pH 3, 7 y 13 en suciedad mixta de grasa y almidón.....	7
2. Relación de grasa a 0, 30, 60, 80 y 100% a diferente pH de 3, 7 y 13.....	11
3. Relación de almidón 20, 40, 70 y 100% a diferente pH de 3, 7 y 13.....	13

Anexos	Página
1. Perfil lipídico de grasa de cerdo Ibérico.....	18
2. Esferas de acero inoxidable con suciedad adherida.....	18
3. Lavado de esferas en el dispositivo BSF.....	19
4. Remoción de grasa con Isooctano.....	19
5. Esquema del dispositivo BSF.....	20

# 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria alimentaria el proceso de limpieza es una operación crítica. La normativa del sector establece que los productos alimentarios deben fabricarse en condiciones higiénicas muy exigentes, por lo que la limpieza y desinfección debe ser realizada de forma regular. Los procedimientos de limpieza incorporan agentes químicos que dejan las superficies física y microbiológicamente limpias, evitando problemas de higiene y obstrucción en los equipos. Estos procedimientos están estandarizados y se utilizan de forma similar para la limpieza de distintos tipos de superficies y suciedades. Sin embargo, la formulación de lavado debe optimizarse en función de la suciedad que se pretende eliminar y la superficie o material a limpiar (Suárez *et al.* 2012).

Según Wildbrett (2000), los parámetros se definen en función de los tipos de suciedad y superficie a limpiar. Cada factor tiene un efecto diferente sobre el rendimiento de lavado. La temperatura está directamente vinculada a la energía térmica transferida a través del agua y el calor generado que promueve una velocidad de limpieza mayor. La acción mecánica viene dada por las fuerzas de fricción generadas durante el proceso de lavado. Por último, la acción química es fundamental para el proceso de lavado, este se basa en la existencia de reacciones e interacciones químicas (Wildbrett 2000).

El resultado de una limpieza correcta debe corresponderse con una superficie física, biológica y químicamente limpia (Bénézech y Laland 2002). Para la limpieza de equipos e instalaciones se suelen utilizar sistemas de limpieza in-situ, CIP (por sus siglas en inglés, Cleaning In Place) en las industrias alimentarias. Este sistema se basa en la recirculación de soluciones que contienen los detergentes y/o desinfectantes a través de tanques, tuberías o intercambiadores de calor. Estas soluciones de lavado entran en contacto con la suciedad en condiciones elevadas de turbulencia y velocidad de flujo (Moerman *et al.* 2014).

A nivel de laboratorio se utilizan dispositivos diferentes que simulan un sistema CIP, entre los dispositivos utilizados se encuentra el dispositivo Baño, sustrato flujo, BSF (por sus siglas en inglés, Bath-Substrate-Flow) equipo patentado por la Universidad de Granada. Este método y dispositivo ayuda en la evaluación de la eficacia detergente de composiciones detergentes de superficies duras. Consta de un recipiente que contiene el baño de lavado provisto de termómetro agitador y orificio para la extracción de muestras, una columna que contiene la superficie a limpiar (sustrato) y la suciedad, una bomba peristáltica, un baño de agua termostatzado para asegurar la temperatura constante del sistema y por último un agitador que homogeniza el baño de lavado (Jurado *et al.* 2007).

El análisis de la detergencia obtenida es indispensable para adaptar el detergente y el protocolo de limpieza al depósito producido. Las suciedades procedentes de alimentos son

en la mayoría de los casos complejas y heterogéneas (Leclercq-Perlat 2002). El acero inoxidable es la superficie preferida en la fabricación de equipos e instalaciones en la industria alimentaria tal y como se especifica en numerosas normas y regulaciones para el diseño y construcción industrial. Los aceros inoxidables de la serie 400 AISI (American Iron & Steel Institute, por sus siglas en inglés) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión.

En la industria se utiliza diferente tipo de detergente. Los detergentes alcalinos son muy corrosivos, se formulan a base de hidróxido de sodio (NaOH) y son efectivos para remover grasas y materiales proteicos. Los detergentes neutros no son muy utilizados ya que algunos contienen polifosfatos y agentes humectantes. Los detergentes ácidos contienen poco poder corrosivo para la mayoría de metales.

Las suciedades alimentarias que existen se han clasificado en: suciedades minerales, orgánicas (lípidos, proteínas y carbohidratos), microbiológicas, entre otras (Sánchez 2019). Uno de los ingredientes más utilizados en la industria alimentaria es el almidón, ya que se utiliza como espesante, gelificante y agente de retención de agua (Singh *et al.* 2003). En los procesos industriales que se utiliza el almidón o derivados, es frecuente que los restos se adhieran a las superficies internas de tuberías y sea difícil de eliminar, sobre todo una vez que se secan (Liu *et al.* 2006). Además de las suciedades amiláceas, la lipídicas también están muy presentes en la industria alimentaria. Los triglicéridos pueden considerarse las sustancias más representativas de este tipo de suciedad, ya que son los constituyentes principales de las grasas animales y vegetales. Las grasas son utilizadas junto al almidón en gran variedad de alimentos como bollería, pastelería, salsas, entre otros (Tirado 2018).

Estudios anteriores han analizado el efecto de la limpieza del almidón seco mediante la incorporación de micro y nano partículas, o la enzima de alfa amilasa en las formulaciones detergentes (Herrera 2016). En este trabajo se incluyeron los siguientes objetivos:

- Evaluar la influencia que ejercen el pH y concentraciones de grasa/almidón sobre la limpieza de suciedades alimentarias mixtas adheridas a superficies de acero inoxidable.
- Determinar a qué concentraciones de mezclas de grasa/almidón permiten una mejor detergencia a distintos pH.
- Determinar cuál pH da mejores valores de detergencia bajo las condiciones del experimento.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### **Materiales.**

- Almidón de papa Panreac
- Grasa de cerdo Ibérico marca el Pozo
- Pigmento sudan III Panreac
- (5.8g NaOH/L) pH 13
- Buffer fosfato pH 3 (0.1M ácido cítrico y 0.2M fosfato disódico)
- Buffer fosfato pH 7 (0.1M fosfato monosódico – 0.1M fosfato disódico)
- Esferas de acero inoxidable
- Isooctano Panreac

### **Equipo.**

- Estufa agitador
- Balanza analítica
- BSF (Baño Sustrato Flujo)
- Termómetro
- Espectrofotómetro
- Ultraturrax

### **Ubicación.**

El estudio fue realizado en el Grupo de Investigación Tensioactivos, Enzimas y Emulsiones (TEP212-RNM332) ubicado en el Departamento de Ingeniería Química dentro de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada.

### **Diseño experimental.**

El diseño utilizado fue Bloques Completos al Azar con arreglo factorial, los datos se realizaron a través de un análisis de varianza y una separación de medias DUNCAN y LSMEANS con una probabilidad  $< 0.05$ , realizando quince tratamientos con tres repeticiones cada una, evaluándose un total de 45 unidades experimentales. En el cuadro 1 se describen los tratamientos evaluados en este estudio.

Cuadro 1. Bloques Completos al Azar con arreglo factorial.

pH	Concentraciones de grasa (%)				
	0	30	60	80	100
pH3	TRT1	TRT2	TRT3	TRT4	TRT5
pH7	TRT6	TRT7	TRT8	TRT9	TRT10
pH 13	TRT11	TRT12	TRT13	TRT14	TRT15

### **Elaboración de suciedades.**

Para la elaboración de suciedades se utilizó la metodología de Tirado (2018), descrita a continuación:

**Preparación de grasa.** Para elaborar la grasa se tomó una cantidad de manteca de cerdo ibérico y se introdujo en un vaso de precipitados con una cantidad aproximada de 0.02 g de Sudan III por cada 100 g de grasa. La mezcla se colocó sobre un calefactor-agitador a 40 °C con agitación suave durante unos 30 minutos hasta que se fundió y se coloreo por completo. La grasa ya fundida y coloreada se filtro mediante un quitasatos con un papel de filtro y con ayuda de vacío para eliminar restos de Sudan III.

**Preparación de almidón.** Para elaborar el gel de almidón, se necesitaron 45 g de almidón de papa y 105 g de agua destilada, para realizar la mezcla de almidón y agua, seguidamente se llevó a la estufa agitador y se calentó a 68 °C por una hora, y, por último, se colocó en un baño con agua por una hora.

**Elaboración de suciedad mixta (grasa + almidón).** En la elaboración de la suciedad mixta primero se preparó la grasa y almidón por separado y se dejaron reposar 1 hora, seguidamente se mezclaron 103.4 g de almidón y 46.6 g de grasa para elaborar suciedad al 60% y se homogenizó con ayuda del ultraturrax. Finalizando el paso de homogenización se dejó reposar en baño con agua por un día.

Para elaborar la suciedad al 30% se mezclaron 17.1 g de grasa y 132.9 g de almidón. Para el tratamiento a 80% se utilizaron 68.2 g de almidón y 81.8 g de grasa y se realizó el mismo procedimiento.

### **Ensuciamiento de esferas de acero inoxidable AISI 410.**

Se elaboraron las esferas de acero inoxidable con peso de 0.80-0.85 g y un diámetro de 2 cm. Las esferas se ensuciaron con las distintas concentraciones de grasa hasta lograr un peso entre 2.60 g - 3.20 g. Después de ensuciar las esferas se llevaron al refrigerador por media hora a 4 °C.

### **Preparación de solución de lavado.**

Se prepararon soluciones de pH 3 (0.1M ácido cítrico y 0.2M fosfato disódico), pH 7 (0.1M fosfato monosódico – 0.1M fosfato disódico) y pH 13 (5.8g NaOH/L). Los tratamientos fueron calentados a 50 °C.

### **Lavados en BSF.**

Los lavados se realizaron en un equipo patentado llamado BSF (Baño-sustrato-flujo) que simula un lavado continuo tipo CIP (Cleaning in Place por sus siglas en ingles).

Media hora antes de empezar a usar el BSF se encendió y calentó el baño a 50 °C. Los lavados se hicieron por triplicado y cada lavado consistía en ocho esferas. Primero se llenaron con 1.2 litros el BSF con la disolución de lavado a realizar el tratamiento (pH 3, pH 7 o NaOH (pH 13), seguidamente se colocaron las ocho esferas y se comenzó el lavado por 10 minutos, con un caudal de 120 L/h Pasados los 10 minutos se sacaron las esferas del BSF y se colocaron en su respectivo vaso, por último, se llevaron al horno por 24 horas.

### **Determinación de la detergencia.**

**Determinación por peso.** Antes de introducir las esferas en el BSF se pesó un vaso de precipitados en el que luego se pesaron las ocho esferas. Seguidamente, se introdujeron las esferas en la columna del BSF y se volvió a pesar el vaso de precipitados para tener constancia de cuánta suciedad había quedado adherida al mismo y, por tanto, no había entrado en el sistema. Conociendo el peso del vaso, las esferas y la suciedad que quedo adherida al vaso se pudo determinar el peso de la suciedad que se introdujo en el sistema. Tras el lavado de las esferas estas se introdujeron en el mismo vaso de precipitados y se sometieron a secado en un horno a 64 °C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo se retiraron del horno y una vez a temperatura ambiente se pesó el vaso con las esferas. Conociendo el peso del vaso y de las esferas se pudo determinar cuál era el peso de la suciedad no lavada durante los 10 minutos en el BSF.

A partir del peso de la suciedad introducida al sistema ( $m_i$ ) y del peso de la suciedad no lavada ( $m_f$ ) se calculó la detergencia con la siguiente ecuación Tirado (2018)

$$\frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 = \text{Detergencia (\%)} \quad [1]$$

**Determinación de gel de almidón.** pasadas las 24 horas se retiraron los vasos de precipitado con sus respectivas esferas del horno, se esperaron tres minutos a que los vasos se enfríen y poderlos pesar.

**Análisis de grasa.** Para analizar la grasa se utilizó la metodología de Tirado (2018) que se describe a continuación:

Una vez teniendo la suciedad de la grasa, se pesó 1 g de la misma en un vial pequeño al que se le añadió una cantidad de 10 ml de isooctano para disolverla con agitación manual. Tras la disolución previa se añadió el isooctano con el gramo de grasa a un matraz aforado de 50 ml que se enrazó con más isooctano y se agitó.

Seguidamente, se preparó y se diluyó con isooctano las siguientes concentraciones representadas en cuadro 2 para la realización de una curva de calibrado. Finalmente se preparó diluyendo con isooctano las concentraciones descritas en el cuadro para poder

realizar una curva de calibrado. En donde dn. Madre (mL) representa la disolución madre de la grasa.

Cuadro 2. Concentraciones de grasa e isooctano para la dilución de la curva de calibrado.

<b>Punto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Volumen disolución madre de grasa (mL)	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5
Volumen isooctano (mL)	5	4.5	4	3.5	3	2	1	0

Por último, se midió la absorbancia de los puntos de la recta con un espectrofotómetro a una longitud de onda de 500 nm.

Teniendo la concentración de la recta patrón, se pudo determinar la grasa por análisis en donde se introdujeron 50 ml de isooctano en el vaso con las esferas para que la grasa se remueva de las esferas. Seguidamente, se retiraron las esferas para poder determinar la absorbancia de la grasa.

Para determinar la absorbancia de la grasa se sacaron tres muestras de cada lavado, cada muestra debió de tener 0.5 ml de la mezcla del isooctano y la grasa, seguidamente se diluyó con más isooctano, dependiendo de qué tan fuerte estaba la coloración de la grasa, ya que se tenía que ver con un color similar a la de la recta patrón. Para calcular la detergencia de la grasa se utilizó la siguiente ecuación en donde la suciedad introducida al sistema ( $m_i$ ) y del peso de la suciedad no lavada ( $m_f$ ) y la suciedad lavada ( $m_f$  grasa lavada):

$$Detergencia\ de\ grasa(\%) = \frac{m_f\ grasa\ lavada}{m_i - m_f} \times 100 \quad [2]$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Efecto del pH sobre la detergencia de suciedad mixta (grasa y almidón).

Para una mejor comprensión de la efectividad del lavado, se realizó una metodología sistematizada llamada “Mapas de Limpieza”, con el fin de optimizar los protocolos de limpieza aplicados a suciedades mixtas utilizados en las industrias alimentarias, donde las composiciones de los depósitos pueden ser diferentes. Estos mapas de limpieza están destinados a ser una ayuda en la selección de los parámetros óptimos de limpieza dependiendo de la composición de los depósitos formados (Sánchez 2019).

En la figura 1 se puede observar que la detergencia de suciedades con concentraciones de 30% grasa y 70% almidón es baja cuando se utilizan medios ácidos y neutros, lo cual se sugiere el uso de variables de limpieza que aumenten la eliminación de la fracción de almidón. Por lo tanto, el uso de un detergente alcalino (NaOH, pH 13) mejora las detergencias con esta composición de suciedad.

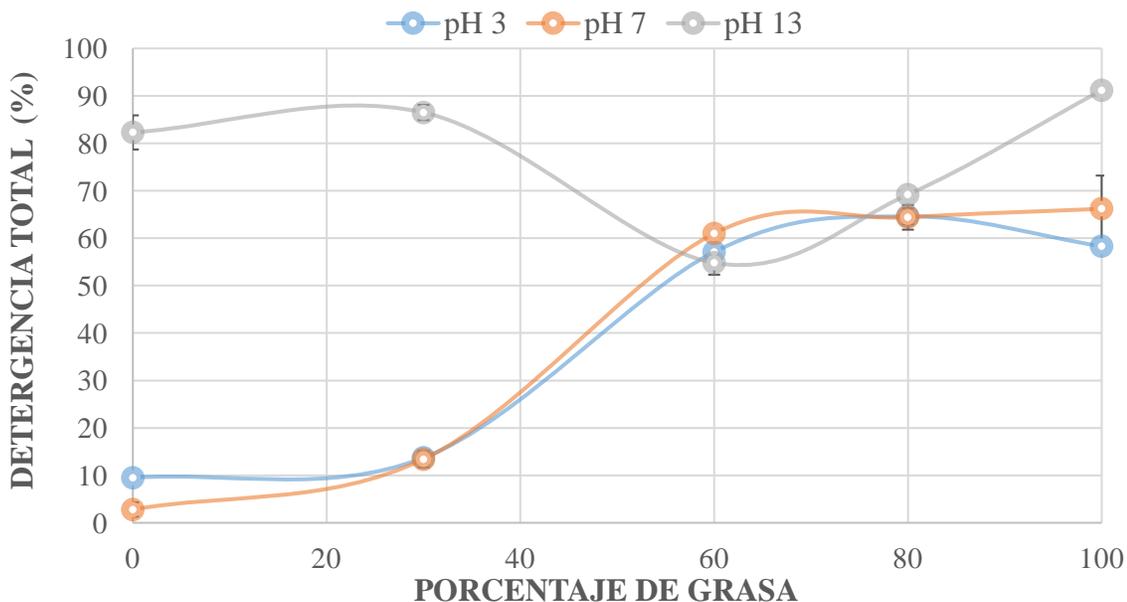


Figura 1. Comparación pH 3, 7 y 13 en suciedad mixta de grasa y almidón.  
CV= 52.87%

Cuando las concentraciones de grasa en la suciedad fueron altas (60 y 80%), se pudo observar una detergencia por encima del 50%, independientemente del pH del detergente.

Este comportamiento se debe a que, en la suciedad mixta a temperatura de 50 °C, la grasa se vuelve líquida y por lo tanto se remueve con mayor facilidad por la acción mecánica del flujo de lavado. Según Daza *et al.* (2008) el punto de fusión depende el tipo de alimentación que se le da al cerdo ibérico. La alimentación tradicional está basada en dietas mixtas ricas en carbohidratos (cebada y trigo) y pobres en grasa, causando una consistencia alta en grasas de cerdo y obteniendo una rica composición en ácidos grasos saturados, los cuales presentan un punto de fusión por encima de 30 °C. Sin embargo, cuando cambian las dietas mixtas y las enriquecen con grasas insaturadas evitando la síntesis endógena, se logran puntos de fusión más bajos de 26 y 27 °C.

Aproximadamente el 66% de los ácidos grasos de la grasa del cerdo ibérico son insaturados, presentando un punto de fusión bajo y en algunos casos cercano a la temperatura ambiente. Del 66% de las grasas insaturadas, según el análisis de perfil de ácidos grasos realizados en este estudio, el 62% lo conforma el ácido oleico y linoleico, los cuales presentan temperaturas de punto de fusión de 15 y -5 °C respectivamente. Esto sucede debido a la longitud de los residuos de los ácidos grasos y el número de sus enlaces dobles, esto influye en el punto de fusión de las grasas. Cuanto más corto sea el residuo y más dobles enlaces contenga un ácido graso más bajo será el punto de fusión (Koolman y Rohm 2005). Lo cual respalda el hecho que a 50 °C la remoción de grasa es mucho más fácil debido a que se encontraban en estado líquida.

### **Detergencia de grasa.**

En el cuadro 3 se compara el buffer fosfato con mayor influencia para la evaluación de la detergencia (%) en la suciedad de grasa con soluciones de detergente ácido (pH 3), neutro (pH 7) y alcalino (pH 13) para las distintas concentraciones de grasa de 0, 30, 60, 80 y 100%. Estos resultados permiten mejorar las estrategias de limpieza para poder aumentar la eliminación de cada suciedad adherida al acero inoxidable en las industrias de alimentos. Se puede observar en el cuadro 3 que el medio alcalino, el cual contiene 0.55% de hidróxido de sodio (NaOH), tiene el mayor porcentaje de detergencia, siendo este un 70.20% o remoción de grasa de la superficie de acero inoxidable, independientemente el porcentaje de grasa inicial. Esta remoción es significativamente más alta que los otros niveles de pH.

Cuadro 3. Detergencia expresada en % de suciedad de grasa a diferentes pH.

<b>Tratamiento</b>	<b>Detergencia ± DE*</b>
pH13	70.203 ± 35.77 <sup>A</sup>
pH 3	50.360 ± 27.78 <sup>B</sup>
pH 7	43.040 ± 35.77 <sup>C</sup>
	CV = 38.71

\*A-C. Las medias con diferente letra son significativamente diferentes (P < 0.05)

DE: Desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación.

El detergente alcalino es más eficiente que los demás debido a que es un detergente desengrasante. Este detergente se caracteriza por tener buenas propiedades emulsionantes, es decir, son capaces de eliminar la suciedad procedente de aceites y grasas, debido a su

formulación química. Estos tienen moléculas que presentan afinidad por las moléculas de grasa, de manera que permite disolución mediante la formación de micelas (estas son las moléculas de grasa que se disponen en el seno de la solución a modo de burbujas) (Hurtado 2013). En cuanto a costos, el detergente alcalino es el más barato y esto es una ventaja para las empresas ya que bajan los costos de producción.

Las soluciones detergentes preparadas a pH neutro fueron las que removieron menos suciedad de grasa; este efecto se puede deber a que estos actúan eliminando la tensión superficial del agua y que la suciedad tenga menor suciedad grasa. Al reducir la tensión superficial del agua, la suciedad puede desprenderse y queda en el agua y esta será eliminada en bajas concentraciones (Hurtado 2013).

El grupo de investigación TEP212-RNM332 de la Universidad de Granada está realizando estudios similares a los de esta investigación (datos por publicar), en donde evalúan la influencia de lavados con los mismos valores de pH (3, 7 y 13), pero utilizando diferente temperatura, siendo esta de 40 °C. En los estudios de la universidad de Granada encontraron que cuando la grasa estaba a bajas concentraciones (< 30%), las detergentencias eran muy bajas cuando se utilizaban soluciones de pH 3 y 7. Cuando las soluciones eran alcalinas, las detergentencias eran mayores, lo cual, indica, que la solución actuó más eficiente. Cabe recalcar que esto último no sucede en todos los porcentajes de detergentencia.

En la presente investigación se ha encontrado que, al elevar temperatura, las detergentencias son mayores, esto sucede debido a que los lavados a temperatura de 50 °C pueden ser considerados como una fase móvil y es llevado por el flujo de la solución de lavado (Cuckston *et al.* 2019). Goode *et al.* (2013) afirma que la acción de la temperatura puede reducir el uso de un producto químico para procesos de suciedades cohesivos sólidos como la limpieza.

En general, se puede afirmar que el aumento de la temperatura favorece la detergentencia total de las diferentes suciedades estudiadas, especialmente debido a la estructura porosa del sustrato, que determina condiciones de cizallamiento suaves dentro de ellos. La disminución de la viscosidad de la suciedad con este aumento de la temperatura contribuyó significativamente a una mayor eficiencia de limpieza (Jurado *et al.* 2011).

### **Detergencia de Almidón.**

La tendencia del resultado de detergentencia de almidón es similar al de grasa, con una media de 38.56%. Sin embargo, el coeficiente de variación de las detergentencias de almidón es alto como se muestra en el cuadro 4. Esto se puede deber a que los datos incluyen el valor de 0% de almidón, lo cual, hace que la variación sea muy alta entre los valores de detergentencia de 100 y 0%. El medio alcalino en los detergentes puede destruir numerosas suciedades, principalmente grasas y proteínas por una hidrolización y pectización, asimismo, facilita la solubilización, siendo uno de los componentes más utilizados en sistemas de limpieza CIP (Herrera 2016). El medio alcalino también contribuye a la degradación del almidón a través de cambios en sus propiedades de hinchamiento y gelatinización (Wang y Copeland 2012).

Según Lai *et al.* (2004), los iones de la solución alcalina difunden hacia la región amorfa de los gránulos de almidón, rica en amilasa, y causan un mayor hinchamiento de los gránulos con una consecuente exudación de amilosa. En condiciones de alta alcalinidad se rompen los enlaces de hidrógeno intermoleculares del almidón, favoreciéndose su solubilidad en agua (Han y Lim 2004), y, por tanto, el lavado de las superficies con suciedad de almidón. La degradación de amilosa en soluciones fuertemente alcalinas tienen lugar por ruptura progresiva en los enlaces de hidrógeno que estabilizan las hélices que lo conforman, adoptando una configuración más aleatoria. La amilopectina no es tan susceptible al tratamiento alcalino.

Cuadro 4. Detergencia expresada en % de suciedad de almidón a diferentes pH.

Tratamiento	Detergencia±DE*
pH 13	38.156 ± 37.84 <sup>A</sup>
pH 7	22.906 ± 17.05 <sup>B</sup>
pH 3	16.854 ± 29.80 <sup>C</sup>
	CV= 96.33

\*A-C Las medias en la misma con diferente letra son significativamente diferentes (P < 0.05) DE: Desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación.

### Relación pH y concentración de suciedad sobre detergencia de grasa y almidón.

**Relación pH y concentración de suciedad sobre la detergencia de grasa.** En el cuadro 5 y figura 2 se puede analizar las pruebas de lavado en el equipo BSF. Estos se realizaron a 50 °C usando soluciones de limpieza con pH 3, 7 y 13 (NaOH) con el fin de analizar la influencia del medio ácido, neutro y alcalino en el proceso de la limpieza con las distintas concentraciones de grasa. Todos los tratamientos tuvieron probabilidad <0.05 lo cual quiere decir que el pH tiene una interacción con el porcentaje de grasa. Se puede observar que el medio alcalino es el que tiene porcentajes mayores de detergencia en las diferentes concentraciones. También se puede observar que la detergencia obtenida de medio neutro y ácido son prácticamente idénticos para altas concentraciones de grasa. La grasa utilizada es de cerdo ibérico, el perfil lipídico de esta contiene: ácido palmítico (C16) con un 25.08%, ácido palmitoleico (Z C16:1n9) con 1.35%, ácido esteárico (Z c18:1n9) con 8.35%, ácido oleico (Z C18:2n6) con 58.73%, ácido linoleico (Z C18:2n6) con 4.74% y ácido C18:1n7 (W7) con 1.74%. El total de ácidos grasos saturados son de 33.43%, de ácidos grasos polinsaturados de 4.74% y por último los ácidos grasos monoinsaturados son de 61.83%. Si bien se observa que a concentraciones >60% existe una mayor detergencia, esto se debe que a mayor concentración de grasa mayor detergencia. También se puede observar que a concentraciones de 60, 80 y 100% las detergencias estadísticamente son iguales. Es importante saber el efecto que tienen los detergentes a diferentes concentraciones de grasa y temperatura para poder bajar los costos de producción, es decir que a estas concentraciones de 60, 80 y 100% no se debe de incrementar ni la temperatura ni el detergente porque van a tener la misma detergencia.

Cuando la emulsión de las grasas es alterada puede formar una película continua e insoluble, que es difícil de remover. La grasa puede ser removida por medio de emulsionantes que la mantienen en suspensión acuosa, utilizando detergentes que incrementen su solubilidad en el agua (en este caso el detergente alcalino) y por medio de saponificación o formación de jabón (Revilla 2009).

Cuadro 5. Relación de pH y concentraciones de grasa en la detergencia (%) de grasa.

Grasa (%)	pH 3	pH 7	pH 13
	Media ± DE*	Media ± DE*	Media ± DE*
0	0.00 ± 0.00 <sup>G</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>G</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>G</sup>
30	41.66 ± 5.22 <sup>EF</sup>	27.46 ± 12.71 <sup>F</sup>	90.66 ± 1.18 <sup>AB</sup>
60	73.16 ± 1.55 <sup>BCD</sup>	52.06 ± 2.49 <sup>E</sup>	76.96 ± 1.55 <sup>BCD</sup>
80	69.96 ± 1.80 <sup>CD</sup>	72.81 ± 7.83 <sup>BCD</sup>	86.00 ± 2.09 <sup>ABC</sup>
100	67.00 ± 5.92 <sup>D</sup>	62.85 ± 7.05 <sup>E</sup>	97.38 ± 0.74 <sup>A</sup>

CV(%): 28.87

A-G: Letras iguales no presentan diferencia significativa (P > 0.05)

\*DE: Desviación estándar.

CV (%): Coeficiente de variación

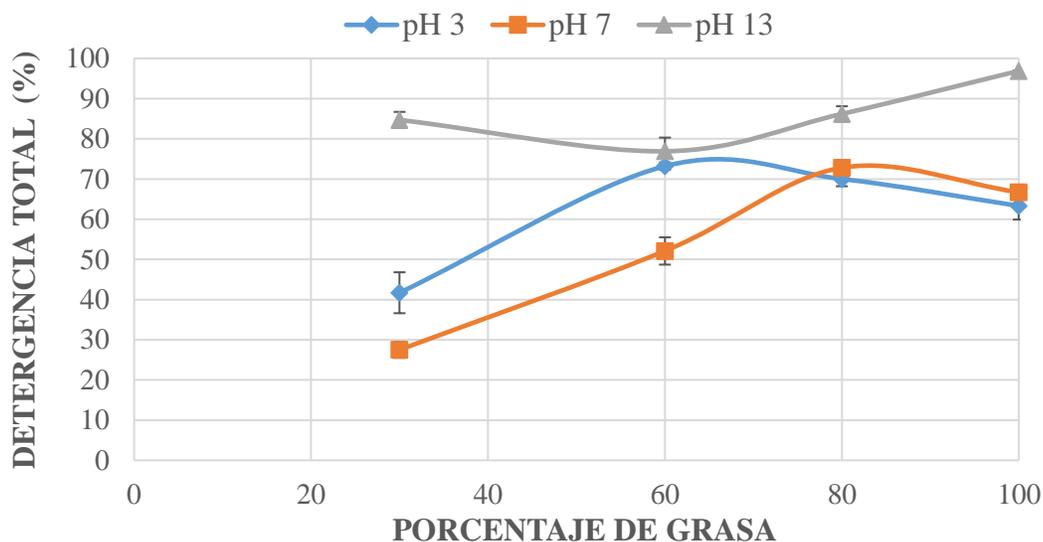


Figura 2. Relación de grasa a 0, 30, 60, 80 y 100% a diferente pH de 3, 7 y 13.

CV= 28.87%

### Relación pH y concentración de suciedad sobre la detergencia de almidón.

El cuadro 6 y figura 3 explica la influencia que existe de pH con las concentraciones de almidón. Es bien sabido que el hidróxido de sodio y otros álcalis inducen la despolimerización del almidón, especialmente cuando se aplica calor (Lai *et al.* 2004). De acuerdo a Nor Nadiha *et al.* (2010), el almidón de papa es más sensible a hidrólisis y

solubilización por tratamiento con álcali que los almidones de otras fuentes. También se puede observar cómo influye el pH en la detergencia del almidón, el lavado del almidón retenido en superficies duras está influenciado fundamentalmente por las interacciones y fenómenos de la degradación que experimenta cuando entra en contacto con componentes de la solución detergente (Herrera 2016).

Cuadro 6. Relación de pH y concentraciones de almidón en su detergencia (%).

Almidón (%)	pH 3	pH 7	pH 13
	Media ± DE*	Media ± DE*	Media ± DE*
0	0.00 ± 0.00 <sup>D</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>G</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>D</sup>
20	41.19 ± 1.23 <sup>B</sup>	30.71 ± 22.10 <sup>BC</sup>	2.53 ± 3.57 <sup>D</sup>
40	33.08 ± 0.89 <sup>BC</sup>	74.47 ± 3.13 <sup>A</sup>	21.69 ± 8.06 <sup>C</sup>
70	2.46 ± 3.25 <sup>D</sup>	7.40 ± 3.71 <sup>D</sup>	84.69 ± 2.03 <sup>A</sup>
100	7.53 ± 2.85 <sup>D</sup>	1.93 ± 1.73 <sup>E</sup>	81.86 ± 2.97 <sup>A</sup>
CV(%): 93.71			

<sup>A-D</sup>: Letras iguales no presentan diferencia significativa ( $P > 0.05$ )

\*DE: Desviación estándar.

CV (%): Coeficiente de variación

Uno de los factores a considerar en los procesos de lavado del almidón es el pH de la solución. Muchos de los procesos de limpieza y las fórmulas detergentes contienen ingredientes que confieren al medio de lavado un carácter básico. El hidróxido sódico y otros álcalis inducen la despolimerización del almidón, especialmente cuando se aplica calor. Los agentes alcalinizantes tienen una mayor propensión a atacar las regiones amorfas de los gránulos de almidón ricas en amilosa y esto causa un incremento de la exudación de amilosa y también un cierto grado de hidrólisis de las cadenas del almidón (Lai *et al.* 2004).

En condiciones de elevada alcalinidad se rompen los enlaces de hidrógeno intermoleculares del almidón favoreciendo su solubilidad en agua. Sin embargo, la amilopectina es más difícil de disolver que la amilosa (Han y Lim 2004). Los álcalis afectan la estructura y comportamiento físico del almidón en disolución lo que genera cambios en sus propiedades funcionales como el poder de hinchamiento y su perfil de gelatinización (Wang y Copeland 2012). El grado de degradación molecular y la composición de los productos de esta degradación depende de parámetros como la temperatura, naturaleza y concentración del álcali y la presencia de oxígeno (Han y Lim 2004). Sin embargo, cada tipo de almidón presenta una susceptibilidad diferente al tratamiento alcalino siendo el almidón de papa el más sensible al hidrólisis de solubilización por tratamiento con álcalis. La detergencia en el medio neutro, el almidón es poco soluble en soluciones acuosas y esto hace que la detergencia del almidón no se vea influenciada como los medios ácidos debido al efecto que tiene. Estos se utilizan para la producción de almidones modificados por medio de hidrólisis ácida (generalmente en presencia de alcoholes) si bien las condiciones para favorecer la ruptura de los enlaces glucosídicos implican elevadas temperaturas y tiempos de reacción (Yiu *et al.* 2008).

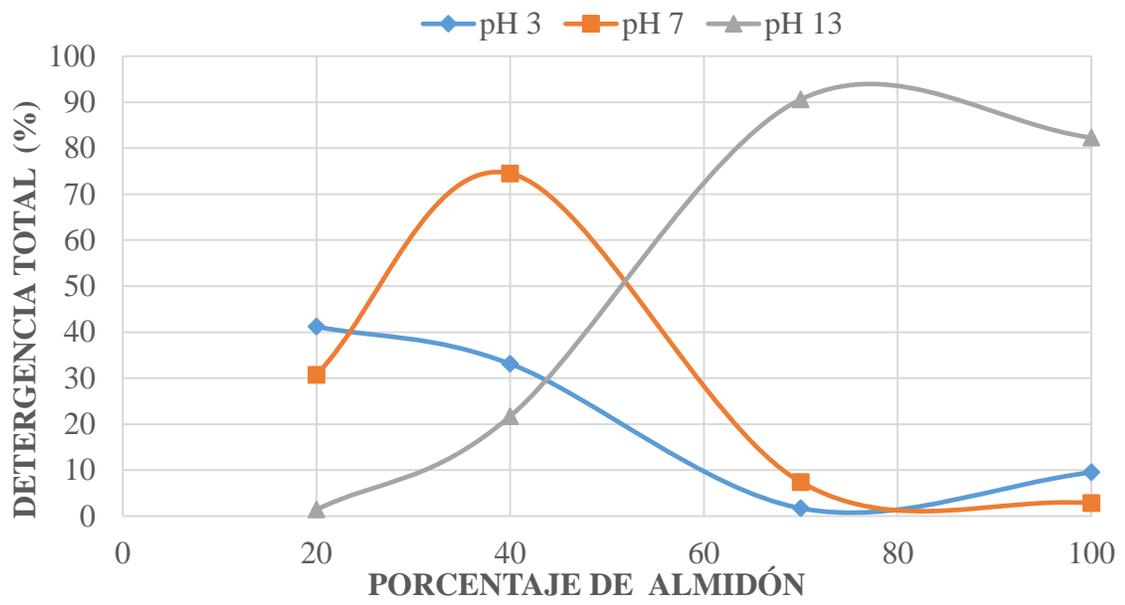


Figura 3. Relación de almidón a concentraciones de 20, 40, 70 y 100% a diferente pH 3, 7 y 13.  
CV= 94.68%

## 4. CONCLUSIONES

- Se determinó que para mayor efecto de remoción de grasa, el pH del detergente es el que influye en la limpieza y no las concentraciones de suciedades.
- Se determinó que la mayor detergencia de almidón se obtiene con un pH alto (13) y alta concentración de almidón mayor a 40% de suciedad.
- El detergente con medio alcalino (pH 13) es el mejor en las detergencias de grasa al 100% y almidón al 70%.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Ampliar el estudio con el uso de otras grasas utilizadas en América Latina como la de cerdo blanco.
- Realizar una evaluación de costos para saber que detergente es más económico.
- Realizar estudios incluyendo proteínas en la matriz de suciedad.

## 6. LITERATURA CITADA

- Bénézech T, Llande M. 2002. Sistemas CIP. En: Leveau, J.Y y Bouix M. Manual técnico de higiene y limpieza y desinfecciones 1a. Madrid: Mundi-prensa. 600p.
- Boulané – Petermann L. 1996. Processes of bioadhesion on stainless steel surfaces and cleanability: A review with special reference to the food industry. *Biofouling*. 10 (40); 275-300. Doi: 10.1080/08927019609386287.
- Cuckston G, Alam Z, Goodwin J, Ward G, Wilson D. 2019. Quantifying the effect of solution formulation on the removal of soft solid deposits from stainless steel substrates. *J Food Eng*. 243:22-32.
- Daza A, Rey A, Carrasco C, Bore C. 2008. Influence of acorn size on growth performance, carcass quality and fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular fat from Iberian pigs fattened in confinement. *J AGREP*. 6(2):230-235.
- Fryer P, Asteriadou K. 2009. A prototype cleaning mal: A classification of industrial cleaning process. *Trends in Food Science and Technology*. 20 (6-7):5-262. Doi: 10.1017/jtifs.2009.03.005.
- Goode K, Asteriadou K, Robbins K, Fryer P. 2013. Fouling and Cleaning Studies in the food and Beverage Industry Classified by Cleaning. *Type.Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safatey*. 12 (2): 121-143. Doi:10.1111/1541-4337.12000
- Han J, Lim S. 2004. Structural changes in corn starches during alkaline dissolution by vortexing, *Carbohydrate Polymers*. 55(2):193-199. Doi:10.1016/j.carbpol.2003.09.006.
- Herrera O. 2016. Estudio de formulaciones detergentes y métodos para la limpieza del almidón en la industria alimentaria utilizando micro/nanoparticulas, enzimas y tensioactivos. [Tesis]. Universidad de Granada. Granada, España. 275p; [consultado el 4 de may. de 2019]. <https://hera.ugr.es/tesisugr/26228038.pdf>
- Hurtado M. 2013. Higiene general en la industria alimentaria. INAQ0108. 1ª edición. IC Editorial. Antequera, Málaga España. ISBN 9788415848806. 300p.
- Jurado E, Bravo V, Bailón R, Nuñez J, Atmajer D. 2007. Metodo BSF y dispositivo para la evaluación de la eficacia deterativa y dispersante de tensioactivos, de coadyucantes de la detergencia y de composición de detergentes de superficies duras. España ES 2251269.
- Jurado E, Bravo V, Bailón R, Nuñez J, Atmajer D. 2010. Detergentes para superfiies duras. España ES 2086223.
- Jurado E, Bravo V, Moreno F, Núñez O, Altmajer D. 2011. Fatty soils removal form hard surfaces in a cleaning-in-place system. *J. Food Sci*. 1: 1-18.

- Koolman J, Röhm K. 2004. *Bioquímica: Texto y Atlas*. 3ra ed. Madrid: Médica Panamericana. ISBN: 84-7903-724-5. 400p.
- Lai L, Karim, A, Norziah M, Seow C. 2004. Effects of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and NaOH on pasting properties of selectes native cereal starches. *J Food Sci*. 69(4):249-256. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.tbo5324.x.
- Leclerq-Peral M. 2002. Modelización. Leveau J.Y, Boux M. Ed: *Manual técnico de higiene, limpieza y desinfección*. 1ª ed. Madrid, Mundo Prensa. ISBN: 84-89922-43-8.
- Liu W, Zhang Z, Fryer P. 2006. Identification and modelling of diferente removal modes in the cleaning of a model food deposit. *Chem Eng*. 618229: 58-7534.
- Moerman F, Rizouliérs P, Majoor F. 2014. *Cleaning in place (CIP) in food processing*. En: Moerman F, Leuven K. Ed, *Hygiene in food processing: principles an practices*. Woodhead publishing limited. p. 305-383.
- Nor Nadiha M, Fazilah A, Bhat R, Karim A. 2010. Comparative susceptibilities of sago, potato and corn starches to alkali treatment. *Food Chem*. 121 (4): 1053-1059.
- Revilla A. 2009. *Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis*. 2da ed. San José Costa Rica: IICA.
- Sánchez P. 2019. Realización de “mapas de suciedad” a partir de suciedades y sustratos utilizados en la industria alimentaria. [Tesis]. Trabajo fin de master. Universidad de Granada. Granada, España. 30p.
- Suárez L, Diez M, García R, Riera F. 2012. Membrane technology for the recovery of detergent compound: a Review. *J IND ENG CHEM* 18(6): 1859-1873. Doi:10.1016/j.jiec.2012.05.015.
- Singh N, Singh J, Singh N, Singh B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches form diferente botanical sources. *Food Chemistry*, 81 (2), 219-231. Doi:10.1016/s0308-815(02)00416-8.
- Tirado M. 2018. Aplicación de distintas técnicas (ozono/tensioactivo/micronanopartículas/enzimas/etc.) para la limpieza de suciedades en la industria alimentaria. Determinación de almidón y grasa en suciedades mixtas. [Tesis]. Universidad de Granada. Granada, España. 29p.
- Yiu P, Loh S, Rajan A, Wong S, Bong, C. 2008. Physycochemical properties of sago starch modified by acid treatment in alcohol. *Am. J. Appl. Sci*. (584): 307-311.
- Wang S, Copeland L. 2012. Effect of alkali treatment on structure and function of pea starch granules. *J Food Chem*. 135(3):1635-42. Doi:10-1016/j.foodchem.2012.06.003.
- Wildbrett G.2000. Factores determinantes de la eficiencia de las operaciones de limpieza. En: Wildbrett G. Ed. *Limpieza y desinfección en la industria alimentaria*. Escribia, Zaragoza. 374p. ISBN: 978-84-200-0913-1.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Perfil Lipídico de Grasa de cerdo Ibérico

OT348-2019	19/1404
<b>Acido graso (AG)</b>	<b>%AG</b>
Acido PALMITICO (C16)	25,08
Acido PALMITOLEICO (Z C16:1n9)	1,35
Acido ESTEARICO (C18)	8,35
Acido OLEICO (Z C18:1n9)	58,73
Acido LINOLEICO (Z C18:2n6)	4,74
Acido C18:1n7 (W7)	1,74
<b>AGS (ácidos grasos saturados)</b>	<b>33,43</b>
<b>AGM (ácidos grasos monoinsaturados)</b>	<b>61,83</b>
<b>AGP (ácidos grasos poliinsaturados)</b>	<b>4,74</b>



### Anexo 2. Esferas de acero inoxidable con suciedad adherida



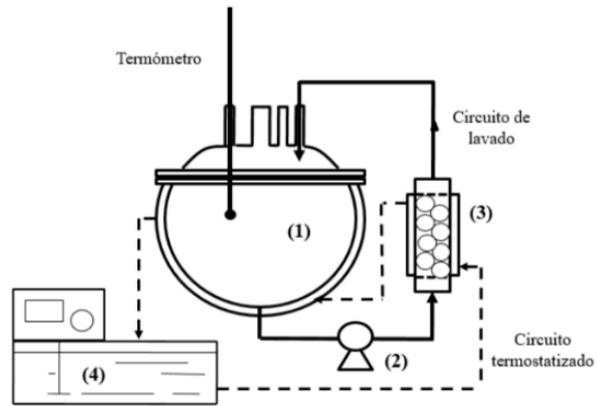
**Anexo 3.** Lavado de esferas en el dispositivo BSF



**Anexo 4.** Remoción de grasa con Isooctano



## Anexo 5. Esquema dispositivo BSF



Esquema del dispositivo BSF (1: reactor, 2: bomba peristáltica, 3: columna, 4: baño termostatizado) (Fuente: Sánchez 2019)