

APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL AL TRATAMIENTO DE AGUA DE COLA

AN EXPERIMENTAL APPROACH FOR STICKWATER TREATMENT

García-Sifuentes CO*, Pacheco-Aguilar R, Carvallo-Ruiz G, Lugo-Sánchez ME y García-Sánchez G

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD). Carretera a La Victoria km 0.6. Apartado Postal 1735. Hermosillo, Sonora, México, CP 83304. Teléfono/Fax: +52(662)280-0421.

RESUMEN

Se centrifugó el agua de cola producida por una fábrica de harina de sardina ubicada en el noroeste de México, a fin de recuperar sólidos orgánicos potencialmente útiles y evitar un posible caso de contaminación marina. El sobrenadante fue tratado por medio de ajuste de pH. Por medio de la centrifugación se removieron 43, 36, 18 y 95 % de sólidos totales, proteínas, cenizas y lípidos, respectivamente. El ajuste de pH en la zona alcalina (estudio preliminar) no fue eficiente para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO). No obstante, modificando el pH en las zonas alcalina y ácida (tratamiento experimental), se logró recuperar de 58 a 64 % de compuestos nitrogenados (proteínas, péptidos, aminoácidos) y de 24 a 55 % de cenizas. La fracción soluble (FS_2) presentó más de 65 % de transmitancia; los niveles de DBO_5 y DQO disminuyeron a 93 y 91 %, respectivamente. Aunque la fracción soluble final (FS_2) sobrepasa los límites permisibles, se provee información básica experimental con el fin de proponer estrategias complementarias que ayuden a mejorar el tratamiento fisicoquímico y contribuir a la reducción del material orgánico contaminante causado por el agua de cola.

Palabras clave: agua de cola, recuperación de sólidos, centrifugación, ajuste de pH

ABSTRACT

Stickwater (SW) produced by a sardine fishmeal plant in Northwestern México was centrifuged in order to remove potentially useful solids and therefore avoid sea pollution. The resulting effluent was treated by means of pH adjustments (acidic and alkaline). Centrifugation removed 43, 36, 18 and 95 % total solids, proteins, ashes and lipids, respectively. The preliminary study (alkaline treatment) did not decrease biochemical oxygen demand (BOD_5) or chemical oxygen demand (COD) levels; nevertheless, alkaline and acidic treatments (experimental treatment) followed by centrifugation showed a nitrogen compounds (proteins, peptides, and aminoacids) removal from 58 to 64 % and from 24 to 55 % of ashes. The soluble fraction 2 (SF_2) showed more than 65 % of transmittance while BOD_5 and COD levels decreased 93 and 91 %, respectively. Although the final soluble fraction (SF_2) exceeded the permissible limits, experimental basic information is provided in order to propose complementary strategies that could improve the physical-chemical treatment and contribute to reduce the contaminant organic

material caused by stickwater.

Keywords: stickwater, solids recovery, centrifugation, pH adjustment

INTRODUCCIÓN

Los efluentes provenientes de la industria pesquera, particularmente de la reductora, son una fuente potencial de contaminación ambiental en esteros y bahías. Entre sus principales desechos se encuentran el agua de descarga, el agua de limpieza de proceso, el condensado proveniente del proceso de evaporación y secado, y desechos de corte (Roedel *et al.*, 1996; López y Lechuga, 2001; Miller *et al.*, 2001; Ahumada *et al.*, 2004). El agua de cola (AC), por su parte, no se considera actualmente como un efluente directo; sin embargo, es de suma importancia, puesto que además de poseer una gran cantidad de materia orgánica, representa 60 % del peso total del pescado sometido al proceso de producción de harina de pescado. El AC es el producto resultante de la centrifugación del licor de prensa que ha sido anteriormente decantado. Es una emulsión de aceite en agua, donde el aceite es acompañado por proteínas y otros materiales orgánicos. Aunado a lo anterior, no todas las industrias poseen un sistema eficiente de tratamiento, por lo que el agua de cola es descargada directamente al mar.

Debido a lo anterior, diferentes costas alrededor del mundo presentan contaminación en sus aguas, como es el caso de las bahías de Chancay y Ferrol en Perú (Cabrera, 2001), Galicia, España (Yeong *et al.*, 2002), la Región VIII de Chile (Roedel *et al.*, 1996), y en México, Ensenada, Guaymas y Yavaros (Miller *et al.*, 2001). En la bahía de Guaymas, Sonora, México, se vierten al cerca de 120 000 toneladas anuales de AC (López y Lechuga, 2001). Considerando lo anterior, el AC debe ser tratada antes de su descarga al mar. El tratamiento debe recuperar sólidos disueltos o suspendidos con valor nutricional y económico que pudieran aprovecharse por la industria alimentaria (García-Sifuentes *et al.*, 2009).

Con el fin de disminuir las descargas directas de AC al mar, se han aplicado diferentes tratamientos, como son el proceso de evaporación y ultrafiltración (Jacobsen y Rasmussen, 1984; Hart y Souires, 1985; Jacobsen, 1985; Mameri *et al.*, 1996; Miller *et al.*, 2001; Afonso y Bórquez, 2002b; a; Yeong *et al.*, 2002; HW Process Technologies Inc., 2005; Membrantednikk AS, 2005). No obstante, estos procesos han sido ineficientes, ocasionando problemas de taponamiento de tuberías y membranas por efecto de la grasa emulsificada, partículas

coloidales y proteínas tratadas térmicamente. En estudios anteriores se han propuesto tratamientos químicos o biológicos (Jacobsen, 1985; Del Valle y Aguilera, 1990; Miller *et al.*, 2001; Ahumada *et al.*, 2004), que ponen en evidencia que un solo tratamiento no es suficiente, sino que se requiere una combinación de ellos, debido a la naturaleza de la muestra.

El presente estudio tuvo como objetivo realizar una aproximación experimental al tratamiento del AC para disminuir el material orgánico presente, por medio de una centrifugación complementaria y ajustes de pH al AC obtenida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Agua de Cola (AC)

Las muestras fueron recolectadas directamente del proceso de producción de harina de sardina en una planta localizada en la ciudad de Guaymas, Sonora, México. El AC se obtuvo antes de su entrada al evaporador y después de salir de la centrifuga de discos. Las muestras fueron tomadas en diferentes meses, durante 2005 y 2006. El agua de cola provenía de varias especies pelágicas que se usan comúnmente en la industria reductora, como: *Sardinops sagax caerulea*, *Engraulis mordax*, *Cetengraulis mysticetus* y *Scomber japonicus*. Las muestras fueron tomadas en contenedores de 4 L, se enfriaron en hieleras y se transportaron al laboratorio de Calidad de Productos Pesqueros para su análisis posterior.

Estudio Preliminar

El tratamiento consistió en una centrifugación complementaria al proceso tradicional, con el fin de obtener agua de cola centrifugada (ACC). Posteriormente se hicieron ajustes de pH al ACC. La centrifugación del AC se llevó a cabo a $14\ 300 \times g$ durante 12,5 minutos a 20 °C; se utilizó una centrifuga Beckman J2-21 (Beckman Instrument Inc., Palo Alto, CA). Para seleccionar el mejor agente alcalinizante para la recuperación de sólidos se llevó a cabo un estudio preliminar con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5 N, NaOH 5 N, Na_2CO_3 5 N y cal común al 5 %. El rango del pH investigado fue de 7 a 9,5, con intervalos de 0,5 unidades. Una vez tratada el ACC, se centrifugó de nueva cuenta bajo las condiciones anteriormente mencionadas. Las fracciones solubles (FS) e insolubles (FI) se separaron, y ambas se analizaron por medio de un proximal; en el caso de la FS se evaluaron los valores de demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO_5 , DQO), además del porcentaje de transmitancia.

Aproximación Experimental al Tratamiento

El ACC fue tratada con NaOH 5 N y centrifugada en las condiciones anteriormente mencionadas. Después de la centrifugación, la FS_1 obtenida fue acidificada con ácido tricloroacético (TCA) a 10 %, en relación 1:2 (v/v) y centrifugada nuevamente para obtener la FS_2 . Esta última fracción fue considerada como el efluente final del tratamiento experimental (Figura 1).

Técnicas Analíticas

Las mediciones de pH se llevaron a cabo utilizando un

potenciómetro Corning 240. El contenido de nitrógeno total fue cuantificado con un equipo Leco FP-528; el contenido proteico se calculó como el porcentaje de nitrógeno $\times 6.25$. Los lípidos, humedad y cenizas se analizaron siguiendo las metodologías oficiales de la AOAC (AOAC, 2000). El porcentaje de transmitancia se evaluó utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 3B a 575 nm; se utilizó agua como blanco (Castillo *et al.*, 1987). La medición de DBO_5 y DQO se llevó a cabo de acuerdo a las normas mexicanas aplicadas para efluentes (SECOFI, 2001a; b). El oxígeno disuelto se midió con un oxímetro Thermo Orion modelo 410 provisto de un electrodo Orion 97-08. Los resultados fueron expresados como mg de O_2/L . En el caso de DQO, el exceso de dicromato de potasio (no reducido, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,25 M; la materia oxidable fue calculada en términos de equivalentes de oxígeno y reportada como mg O_2/L .

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico NCSS versión 5.1 (Kaysville, UT). La Comparación de medias se llevó a cabo utilizando la prueba de Tukey-Kramer a un nivel de significancia del 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de la centrifugación se obtuvieron tres fases: 1) fase superior de lípidos emulsificados ($3,9 \pm 0,3$ %, w/w), 2) fase intermedia líquida ($87,5 \pm 2,8$ %, w/w), a la cual se le nombró ACC, y 3) fase inferior de sedimentos ($9,4 \pm 0,8$ %, w/w). Los resultados de la composición del AC y ACC se muestran en el Tabla 1.

Como se ha observado anteriormente, se encontró una variación muy pronunciada en la composición del AC; esto se explica debido a la utilización de diferentes especies de sardinas a nivel industrial y a la naturaleza fisiológica propia de la sardina. La composición de la harina de pescado, así como del AC, varía dependiendo de la especie de pescado, época y condiciones fisiológicas (Bandarra *et al.*, 1997; Bechtel, 2005). Se ha reportado un contenido de proteínas en el AC de 70 a 86 % (base seca) en especies como abadejo de Alaska (*Theragra chalcogramma*) y salmón (*Oncorhynchus sp*) (Bechtel, 2005; Sathivel *et al.*, 2005). Para especies como menhaden (*Brevoortia gunteri*) se han reportado contenidos de 65, 23 y 16 % de proteínas, lípidos y cenizas, respectivamente, en AC (Castillo *et al.*, 1987).

En la Tabla 1 se muestra el impacto de la centrifugación sobre la composición inicial del AC. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de lípidos del AC entre los muestreos realizados, así como también en la composición del AC con respecto al ACC. Después de la centrifugación complementaria se obtuvo una remoción de 43, 36, 18 y 95 % de sólidos totales, proteínas, cenizas y lípidos, respectivamente. Al respecto, se han reportado resultados menores en AC muestreada en 2007; se encontraron diferencias en la variación de lípidos, atribuibles a la época de captura (Pacheco-Aguilar *et al.*, 2009). El hecho de obtenerse

un coeficiente de variación menor en la composición de sólidos totales y proteínas del ACC con respecto al AC, podría ser indicativo de una mayor uniformidad en la composición; esto probablemente brindaría más ventajas al someter el ACC a algún tratamiento, pues podría presentarse mayor eficiencia del tratamiento elegido.

Adicionalmente, la Tabla 1 muestra el efecto de la centrifugación complementaria en los niveles de DBO₅ y DQO; se removió 48 y 46%, respectivamente, lo que hace evidente la diferencia significativa ($p < 0.05$) entre AC y ACC. Los resultados también muestran que el componente mayoritario del material orgánico suspendido o en solución fue proteína.

Tabla 1. Composición química, demanda química (DQO) y bioquímica de oxígeno (DBO₅) en agua de cola y agua de cola centrifugada

Table 1. Chemical composition, chemical (COD) and biochemical oxygen demand (BOD₅) of stickwater and centrifuged stickwater

	AC	ACC
pH	5,8 ± 0,3	NM
Sólidos totales (%)	9,5 ± 2,7 ^a	5,4 ± 0,7 ^b
Proteínas (%)	4,7 ± 1,3 ^a	3,0 ± 0,3 ^b
Cenizas (%)	1,7 ± 0,1 ^a	1,4 ± 0,3 ^b
Lípidos (%)	1,8 ± 1,6 ^a	0,1 ± 0,1 ^b
DBO ₅ (g O ₂ /L)	48,1 ± 11,1 ^a	25,0 ± 8,0 ^b
DQO (g O ₂ /L)	152,2 ± 25,1 ^a	82,3 ± 24,3 ^b

Los valores corresponden a la desviación estándar media de siete muestras (n = 7) tomadas en distintos meses. Los valores en la misma fila con diferente superíndice muestran diferencia significativa ($p < 0,05$). NM: No medido

Estudio Preliminar

Con el fin de promover la precipitación y posterior remoción de los sólidos contenidos en el ACC, se evaluaron diferentes agentes alcalinizantes (NaOH, Na₂CO₃, Ca(OH)₂, cal común). Los mejores resultados de estos agentes se obtuvieron en términos de sólidos recuperados y contenido de proteínas en FI₁ y transmitancia en la FS₁ (Tabla 2). Los mejores resultados de transmitancia se encontraron utilizando cal común y Ca(OH)₂; no obstante, en el caso de la cal común se observó mayor contenido de impurezas (arenilla), por lo que, para la segunda parte del estudio preliminar se utilizó solamente Ca(OH)₂. Los resultados indicaron que a través de diferentes valores de pH, la mayoría de la proteína (>74 %) y cenizas (>72 %) permanecieron en la FS₁ (Tabla 3). Un comportamiento similar se reportó para AC de menhaden (*Brevoortia gunteri*), estudio en el cual permaneció de 80 a 89 % de proteína en el sobrenadante (FS) después de la aplicación del tratamiento (Castillo *et al.*, 1987).

El Tabla 3 también muestra los altos niveles de DBO₅ y DQO; aun con el tratamiento, los niveles encontrados no

Tabla 2. Evaluación de diferentes agentes alcalinos para la remoción de sólidos provenientes del agua de cola centrifugada (estudio preliminar)

Table 2. Evaluation of different alkaline agents to remove solids from centrifuged stickwater (preliminary study)

	NaOH	Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	Cal
Sólidos recuperados en FI₁* (%)				
pH 7	0,12	0,37	0,09	0,35
pH 7,5	0,26	0,66	0,24	0,71
pH 8	0,44	0,81	0,29	0,92
pH 8,5	0,45	1,02	0,4	1,17
pH 9	0,45	1,04	0,45	1,07
Proteínas en FI₁** (%)				
pH 7	44,2	35,2	39,1	36,0
pH 7,5	36,9	36,0	38,8	33,1
pH 8	37,4	34,1	34,4	33,6
pH 8,5	34,1	31,9	33,4	32,8
pH 9	34,6	33,1	33,6	34,1
Transmitancia de FS₁ (%)				
pH 7	0,7	2,2	0,5	2,5
pH 7,5	0,8	12,5	0,5	18,7
pH 8	4,0	30,2	1,1	26,6
pH 8,5	9,6	44,2	2,1	55,0
pH 9	9,5	18,0	5,9	30,2

FI = Fracción insoluble, FS = Fracción soluble, *g sólidos/100 g ACC. ** Base seca. Los datos mostrados son producto de un balance de materia realizado con el promedio de n=3.

cumplen con lo requerido por las normas mexicanas, las cuales establecen de 200 a 400 mg/L en DBO₅ y 400 a 480 mg/L para DQO (SEMARNAT, 1996). Las remociones obtenidas para DBO₅ y DQO fueron de 61,2 y 74,6 %, respectivamente. En España se reportaron remociones de 18 % de DQO en AC tratada con NaOH a pH 7,1 (Guerrero *et al.*, 1998). En México la calidad de los efluentes industriales se evalúa en términos de la materia orgánica e inorgánica contenida (DBO₅ y DQO). Los resultados del presente estudio indican que el Ca(OH)₂ trabajó mejor en el rango de pH de 7 a 7,5; no obstante, los agentes alcalinizantes por sí mismos tienen muy poca eficiencia. Considerando estos resultados y el hecho de que el uso de Ca(OH)₂ a la larga pudiera causar la formación de incrustaciones en las tuberías de proceso, se llevó a cabo otra prueba con NaOH, junto con otro ajuste de pH en la zona ácida (Figura 1).

Aproximación Experimental al Tratamiento

En esta etapa, el ajuste inicial del pH (7,0 a 9,0) fue complementado con la adición de TCA a la SF₁ obtenida des-

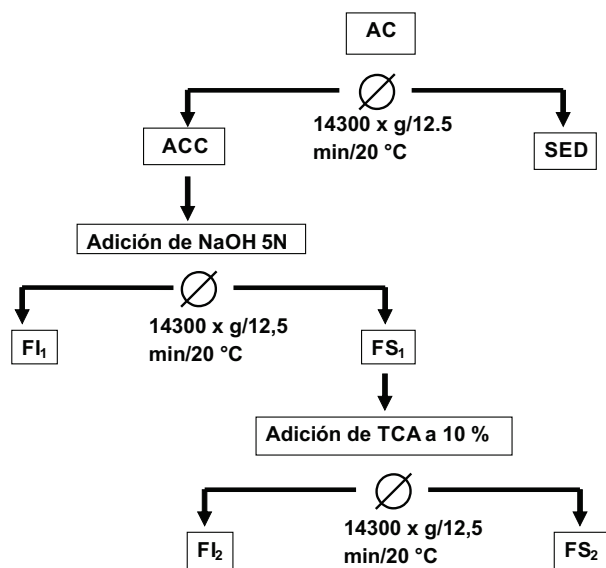


Figura 1. Diagrama de flujo del tratamiento experimental del agua de cola. AC: agua de cola; ACC: agua de cola centrifugada; SED: sedimentos; FI: fracción insoluble; FS: fracción soluble; TCA: ácido tricloroacético.

Figure 1. Flow diagram of stickwater experimental treatment

pués de alcalinizar y centrifugar, llevando el pH hasta 1,5, de esta manera se obtuvo la FS₂. El impacto del tratamiento experimental en la composición proximal, porcentaje de transmitancia, demanda bioquímica (DBO₅) y química de oxígeno (DQO) en agua de cola centrifugada y fracciones solubles, se muestra en la Tabla 4. Se puede observar la disminución en

los componentes considerando el 100 % inicial. Estos resultados también exhibieron una mejor reducción en los niveles de DBO₅ y DQO. Se obtuvieron remociones de DBO₅ y de DQO de hasta 93 % y 91 %, respectivamente; esto con respecto al AC sin tratar. Los resultados también indicaron una mejoría en la transmitancia, aumentando a niveles mayores al 65 %. En Ensenada, México, se reportaron remociones de DQO de 70 a 80 % en AC proveniente de la industria de la reducción, utilizando un sistema de tratamiento por flotación de aire (Miller *et al.* 2001). En Argelia (Mameri *et al.* 1996) se logró remover 78 % de los niveles de DBO₅ utilizando un sistema de ultrafiltración; sin embargo, se reportan problemas de taponamiento de membranas debido a la composición en coloides del AC.

Como se muestra en la Tabla 4, la remoción de proteínas en FS₂ fue en un rango de 58 a 64 %; mientras que para cenizas fue en un rango de 24 a 55 %. Si se compara con los resultados mostrados en la Tabla 3, se puede observar que solamente alcalinizando, permaneció más de 70 % de proteínas y cenizas en la FS₁, es decir las remociones de dichos componentes químicos fue menor al 30 %. Esto evidencia que el ajuste del pH en la zona alcalina, seguido del ajuste en la zona ácida, mejoró notablemente la recuperación de sólidos, entre ellos materia orgánica.

Los resultados encontrados bajo las condiciones del presente estudio, proveen información básica experimental para la toma de decisiones en la búsqueda de alternativas de aplicación de un tratamiento factible y conveniente para el AC que, según este acercamiento, posiblemente deberá consistir en la combinación de diferentes tratamientos, es decir, tratamientos multi-etapa, debido a la complejidad y elevada carga orgánica del agua de cola.

Tabla 3. Impacto del tratamiento preliminar en la composición proximal, porcentaje de transmitancia, demanda bioquímica (DBO₅) y química de oxígeno (DQO) en agua de cola centrifugada y fracciones solubles

Table 3. Impact of the preliminary treatment on the proximal composition, transmittance percent, chemical (COD) and biochemical oxygen demand (BOD₅) of the centrifuged stickwater and soluble fractions

	Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	DBO ₅ (g O ₂ /L)	DQO (g O ₂ /L)	T (%)
AC	100	100	100	57,0	166,0	0
ACC	79,7	2,5	91,2	22,1	82,4	1
FS ₁ -pH 7,0	76,9	nd	85,0	22,1	42,6	2
FS ₁ -pH 7,5	76,0	nd	86,2	23,2	42,0	12
FS ₁ -pH 8,0	75,5	nd	82,5	26,3	81,1	30
FS ₁ -pH 8,5	75,0	nd	72,5	22,1	148,0	44
FS ₁ -pH 9,0	74,7	nd	88,7	23,2	148,3	18
FS ₁ -pH 9,5	74,2	nd	85,0	23,2	144,4	2

AC: agua de cola; ACC: agua de cola centrifugada; FS: fracción soluble; T: porcentaje de transmitancia; nd: no detectado. Los datos mostrados son producto de un balance de materia realizado con el promedio de n=3.

TABLA 4. Impacto del tratamiento experimental en la composición proximal, porcentaje de transmitancia, demanda bioquímica (DBO₅) y química de oxígeno (DQO) en agua de cola centrifugada y fracciones solubles

Table 4. Impact of the experimental treatment on the proximal composition, transmittance percent, chemical (COD) and biochemical oxygen demand (BOD₅) of the centrifuged stickwater and soluble fractions

	Proteína (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	DBO ₅ (g O ₂ /L)	DQO (g O ₂ /L)	T (%)
AC	100	100	100	57,4	166,0	0
ACC	72,7	0,98	92,1	17,6	64,6	1,0
FS ₂ (pH 7,0-1,5)	35,9	nd	47,3	4,0	14,7	72,0
FS ₂ (pH 7,5-1,5)	38,0	nd	49,7	6,3	23,3	72,0
FS ₂ (pH 8,0-1,5)	38,0	nd	76,4	6,6	27,7	68,0
FS ₂ (pH 8,5-1,5)	42,3	nd	50,3	4,8	23,7	67,0
FS ₂ (pH 9,0-1,5)	35,9	nd	50,9	5,2	25,6	65,7
FS ₂ (pH 9,5-1,5)	35,9	nd	44,8	6,0	23,5	72,3

AC: agua de cola; ACC: agua de cola centrifugada; FS: fracción soluble; T: porcentaje de transmitancia. Los datos mostrados son producto de un balance de materia realizado con el promedio de n=3.

CONCLUSIONES

Debido a la composición del AC, la centrifugación complementaria y el tratamiento por ajuste de pH en la zona alcalina, no disminuyen en gran medida la materia orgánica contenida. No obstante, con la centrifugación complementaria al eliminar sólidos suspendidos se genera un efluente más homogéneo. Esto, en conjunto con el óptimo ajuste de pH, tanto en la zona alcalina como ácida, puede ser una buena opción para remover gran proporción de la materia orgánica (principalmente proteínas) contenida en el AC. En consecuencia, disminuyen también los niveles de DBO₅ y DQO, parámetros utilizados normalmente por las normas mexicanas como índices de contaminación. Aunque el efluente final no cumplió con las normas correspondientes, se provee información básica experimental con el fin de proponer estrategias complementarias que ayuden a mejorar el tratamiento fisicoquímico desarrollado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de manera especial a Productos Pesqueros de Guaymas S.A. de C.V. (PROPEGUAY) por las facilidades otorgadas para realizar el presente estudio.

REFERENCIAS

- Afonso, M.D. y Bórquez, R. 2002a. Nanofiltration of wastewaters from the fish meal industry. *Desalination* 151: 131-138.
- Afonso, M.D. y Bórquez, R. 2002b. Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry. *Desalination* 142: 29-45.
- Ahumada, R., Rudolph, A. y Contreras, S. 2004. Evaluation of

coastal waters receiving fish processing waste: Lota Bay as a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*. 90: 89-99.

- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington. EUA.
- Bandarra, N.M., Batista, I., Nunes, M.L., Empis, J.M. y Christie, W.W. 1997. Seasonal changes in lipid composition of sardine (*Sardina pilchardus*). *Journal of Food Science* 62: 40-42.
- Bechtel, P.J. 2005. Properties of Stickwater from fish processing byproduct. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 14: 25-38.
- Cabrera, C. C. 2001. Contaminación e impacto ambiental en la bahía de Chancay. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. 4: 37-46.
- Castillo, P., Rao, R. y Liuzzo, J. 1987. Potential of acid activated clay in the clarification of menhaden stickwater. *Journal of Environmental Science and Health part B*. 4: 471-489.
- Del Valle, J. y Aguilera, J. 1990. Recovery of liquid by-products from fish meal factories: a review. *Process Biochemistry*. 25: 122-131.
- García-Sifuentes, C. O., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M.E., García-Sánchez, G., Ramírez-Suárez, J.C. y García-Carreno, F.L. 2009. Properties of recovered solids from stick-water treated by centrifugation and pH shift. *Food Chemistry*. 114: 197-203.
- Guerrero, F.L., Omil, F., Mendez, R. y Lema, M. 1998. Protein recovery during the overall treatment of wastewaters from fish-meal factories. *Bioresource Technology*. 63: 221-229.
- Hart, O. y Souires, R.C. 1985. The Role of Membrane technology in industrial water and wastewater management. *Desalination* 56: 69-87.
- HW ProcessTechnologies Inc. 2005) A continuous production membrane water treatment plant and method for operating same cross reference to related application. Número de patente WO/2005/030647. World Intellectual Property Organization. 07 de abril del 2005.

- Jacobsen, F. 1985. Effect of enzymatic treatment of stickwater on evaporator capacity and fouling. *Process Biochemistry*. 20: 103-108.
- Jacobsen, F. y Rasmussen, O. 1984. Energy savings through enzymatic treatment of stickwater in the fishmeal industry. *Process Biochemistry*. 19: 165-169.
- López, R.O. y Lechuga, A.M. 2001. Contaminantes en los Cuerpos de Agua del Sur de Sonora. *Salud Pública de México*. 43: 289-305.
- Mameri, N., Abdessemed, D., Belhocine, D., Lounici, H., Gavach, C., Sandeaux, J. y Sandeaux, R. 1996. Treatment of fishery washing water by ultrafiltration. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 67: 169-175.
- Membrantednikk, AS. 2005. Removal of oil and fat from stickwater by use of UF-filter. Número de patente. WO/2005/026061. World Intellectual Property Organization. 24 de marzo de 2005.
- Miller, J.D., Hupka, J., Niewiadomski, M., Flores, B. y Morse, M. 2001. Advanced wastewater treatment for the fish processing industries near Ensenada, Baja California. Final report. Proyecto número W-00-3. University of Utah. 1-28
- Pacheco-Aguilar, R., Leyva-Soto, P., Carvallo-Ruiz, G., García-Carreno, F.L. y Márquez-Ríos E. 2009. Efecto de la concentración de quitosano y pH sobre la remoción de sólidos en agua de cola de la industria sardinera. *Interciencia* 34: 274-279.
- Roeckel, M., Aspe, E. y Marti, M.C. 1996. Achieving clean technology in the fish-meal industry by addition of new process step. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 67: 96-104.
- Sathivel, S., Bechtel, P.J., Babbitt, J.K., Prinyawiwatkul, W. y Patterson, M. 2005. Functional, nutritional, and rheological properties of protein powders from Arrowtooth Flounder and their application in mayonnaise. *Journal of Food Science*. 70: E57-E63.
- SECOFI 2001a. Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI. Análisis de Agua. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales Tratadas. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación. 17 de abril del 2001
- SECOFI 2001b. Norma Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de Agua. Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación. 17 de abril del 2001
- SEMARNAT 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación. 24 de junio de 1996
- Yeong, W.T., Mohammad, A.W., Anuar, N. y Rahman, R.A. 2002. Potential use of nanofiltration membrane in treatment of wastewater from fish and surimi industries. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 24: 977-987.