

Evaporación de efluentes de la industria de la aceituna de mesa en la ciudad de Aimogasta, La Rioja, Argentina

60

Juarez Romero, Julio Ariel (1)

Gattinoni, Natalia (2)

Anschau, Rene Alicia (2)

Viton, Mauro (3)

(1) Laboratorio de Industria y Sanidad Olivícola, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Agencia Aimogasta; Ruta Nac. N°60 s/n Aimogasta, La Rioja, Argentina.

(2) Depto. de Cs. de la Atmósfera y los Océanos- Instituto De Investigación Clima y Agua – INTA ; Nicolás Repetto y de los Reseros s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires.

(3) Instituto De Investigación Microbiología y Zoología Agrícola (IMyZA) – INTA Nicolás Repetto y de los Reseros s/n (1686), Hurlingham, Buenos Aires.

* E-mail: juarez.julio@inta.gob.ar

Evaporación de efluentes de la industria de la aceituna de mesa en la ciudad de Aimogasta, La Rioja, Argentina

Resumen

Se recolectaron muestras de aguas residuales de un sistema de alcantarillado público de Aimogasta para este experimento. Varias fábricas de aceitunas descargan sus aguas residuales en el sistema de alcantarillado público. Se midió el volumen de efluentes evaporados en una balsa impermeabilizada. Simultáneamente se registraron datos meteorológicos, Temperatura(T), Precipitaciones(ppt), radiación solar directa (Rs), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (u); se obtuvieron a través de una estación meteorológica automática (AWS) ubicada en las instalaciones de INTA Aimogasta. La evaporación del agua se calculó utilizando los datos recopilados y una ecuación de evaporación potencial de agua de Penman adaptada por Valiantzas (2006). Los valores calculados y los valores medidos de evaporación tuvieron valores de correlación de 0.937 y 0.945.

Se tomaron muestras de aguas residuales en el estanque de evaporación durante el mismo período de tiempo con fines de caracterización (conductividad eléctrica, pH, cloruros disueltos, sólidos totales y volátiles).

Palabras clave

Efluentes, evaporación, aceitunas de mesa

61

Evaporation of effluents from the table olive industry in the city of Aimogasta, La Rioja, Argentina

Abstract

Wastewater samples from the Aimogasta public sewage system were collected for this experiment. Several olive table factories discharge their wastewater into the Aimogasta public sewage system. Evaporated wastewater volume was measured in waterproofed evaporation pond. Meteorological data -Temperature (T), Rainfall (ppt), direct solar radiation (Rs), relative humidity (HR) and wind speed (u) -was collected through an automatic weather station (AWS) located in INTA Aimogasta facilities. The water evaporation was calculated using the collected data and an adapted Penman's potential water evaporation equation adapted by Valiantzas (2006). The calculated values and the evaporation measured values had a 0.937 and 0.945 correlation values.

Wastewater samples were taken in the evaporation pond during the same time period for characterization purposes (electric conductivity, pH, dissolved chlorides, total and volatile solids).

Keywords

Wastewater, evaporation, table olive

Introducción

Situación de los vertidos de efluentes de la industria de la aceituna de mesa a nivel mundial

El desafío principal para la industria de aceituna de mesa es el control de contaminación ambiental (Brenes 2004). El impacto medioambiental es una de las principales prioridades de la industria olivarera. La utilización de salmueras de fermentación, contaminan las aguas residuales con NaCl y elevada carga orgánica. La problemática se agrava por la presencia de determinadas sustancias químicas de tipo polifenólico que poseen efecto bactericida. En estos efluentes, se encuentran valores muy elevados de los parámetros indicadores de la contaminación, tales como la DBO5, DQO, y SS.

La depuración de este tipo de aguas residuales es especialmente problemática, y las soluciones existentes no son económicamente viables, lo mejor es reducir los volúmenes de aguas residuales al mínimo y dejarlas evaporar en depósitos convenientemente impermeabilizados (Ayuso Muñoz et al. 2008). Los gastos onerosos incurridos en la eliminación de estos bio productos obligan a los productores a adoptar medidas eficaces para racionalizar el uso del agua para reducir la contaminación. Tales efluentes no pueden ser descargados en alcantarillas, arroyos o ríos debido a su alta demanda química y biológica de oxígeno, debido principalmente al contenido orgánico e inorgánico disuelto. En algunos países, por ejemplo, Italia, la mayor parte de ellos se tratan en depuradoras apropiadas y los costes de tratamiento están directamente relacionados con el transporte de bio-productos, pero normalmente los precios actuales oscilan entre 50 y 80 euros / tonelada (Marsilio et al. 2008). En España, principal país productor del mundo, los efluentes salen de las fábricas y son volcados en sistemas de captación de los Ayuntamientos y son estos últimos los que se encargan de tratarlos y por lo tanto de regular los requisitos con que las industrias deben volcarlos al sistema para hacer factible su tratamiento (Juarez Romero 2017).



62

Figura 1. Imagen de los efluentes corriendo a la vera de la ruta de ingreso a la ciudad de Aimogasta. Fuente propia. Situación de los vertidos de efluentes de la industria de la aceituna de mesa en argentina

En la provincia de Mendoza a partir de que los efluentes son volcados en cauces públicos son regulados por el Departamento General de Irrigación. En esta provincia se practica el re-uso agrícola de efluentes industriales, a través del colector Pescara, que recibe los efluentes líquidos de establecimientos fabriles (de predominancia agroindustrial, como bodegas), ubicados aguas arriba de la zona del Departamento Maipú. Los efluentes característicos de estos establecimientos son: materia orgánica, sólidos en suspensión, soda cáustica y ocasionalmente metales pesados, etc. Antes de ingresar a la zona de re-uso, las aguas del Colector Pescara se diluyen con agua proveniente de una batería de pozos a efectos de alcanzar una conductividad eléctrica adecuada para su aprovechamiento agrícola (2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Con estas aguas se riegan 3300 ha en Guaymallén y 7000 ha (mezcladas con aguas claras) en Lavalle (Álvarez, Amilcar; Elía et al. 2011).

En la Provincia de La Rioja en el año 2012 la Secretaria de Medio Ambiente solicito declaraciones juradas a los industriales del Departamento Arauco, donde se encuentran la mayoría de las industrias olivícolas, solicitando informen si realizan algún tratamiento a los efluentes y la respuesta unánime fue, que no realizan ningún tratamiento. Pero el IPALAR es el organismo responsable de los cauces públicos donde se derraman los efluentes, este organismo tampoco realiza ningún tratamiento de los efluentes que surcan por cauces públicos ni aplica penalidades a quienes vierten contaminantes en ellos (Juarez Romero 2017).

Ante esta situación en la provincia de La Rioja es de gran interés el cálculo de la capacidad de evaporación de estos efluentes para diseñar apropiadamente balsas de evaporación para el tratamiento de los efluentes. El tratamiento de efluentes, a través de balsas de evaporación, persigue tratar el efluente y proteger el recurso hídrico de cargas contaminantes.

Una amplia variedad de métodos para estimar la evaporación en aguas abiertas, han sido reportados en la literatura. Se pueden categorizar en siete tipos; evaporación, balance de masa, modelos de presupuesto de energía, modelos de transferencia masiva, modelos de combinación, el método de temperatura de equilibrio y factores empíricos. El método de balance de masa para medir la evaporación en agua abierta es simple en principio. La evaporación se calcula como el cambio en el volumen de agua almacenada y la diferencia entre la entrada y la salida. En los últimos cincuenta años, la fórmula más utilizada para estimar la evaporación del agua o la vegetación ha sido la ecuación de Penman (1948). (Finch y Hall 2001). Penman (1948) publicó la ecuación, que a diferencia de otras ecuaciones tiene en cuenta el factor viento y el factor radiación para predecir la evaporación de aguas abiertas (Finch y Hall 2001; Valiantzas 2006). La ecuación original de Penman (1948) se usa ampliamente como el método estándar en aplicaciones de ingeniería hidrológica para estimar la evaporación potencial de aguas abiertas en diferentes ubicaciones y condiciones climáticas (Finch y Hall 2001).

El objetivo del presente trabajo fue comparar la evaporación de la balsa medida por balance de masa y la evaporación calculada por ecuación de Penman adaptada por J. Valiantzas para los datos de la estación meteorológica de la Agencia Aimogasta de INTA.

Materiales y Métodos

Cálculo de evaporación con versiones simplificadas de la ecuación estandarizada de Penman

La forma clásica de la ecuación de Penman (1948, 1963) para estimar la evaporación potencial o la evapotranspiración (Shuttleworth, 1993) es

$$E_{PEN} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{(R_n)}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{6.43 f_u D}{\lambda}, \quad (1)$$

Donde EPEN es evaporación- potencial - agua abierta o evapotranspiración (mm / d); R_n es la radiación neta en la superficie (MJ / m² / d); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación (kPa / C); γ es el coeficiente psicométrico (kPa / C); λ es el calor latente de vaporización (MJ / kg); f_u es función de viento,

$$f_u = a_u + b_u u,$$

donde a_u y b_u son coeficientes de función de viento; u es la velocidad del viento a 2 m de altura (m / s), para la ecuación original de Penman (1948, 1963) $a_u = 1$, $b_u = 0.536$; $D = (e_s - e_a)$ es el déficit de presión de vapor (kPa); e_s es la presión de vapor de saturación (kPa); e_a es la presión de vapor real (kPa).

La principal desventaja de la ecuación de Penman es que algunas de las principales variables meteorológicas que aparecen directamente en la ecuación, no son entregadas directamente por las estaciones meteorológicas estándar, los registros meteorológicos de rutina generalmente disponibles son temperatura del aire, T (°C), radiación solar RS (MJ / m² / d), humedad relativa, HR (%) y velocidad del viento, u (m / s). Por esto Valiantzas, 2006, derivó una fórmula algebraica simple, equivalente en precisión a la ecuación de Penman para calcular la evaporación a partir de datos medidos fácilmente disponibles. La derivación de la fórmula se basa en simplificaciones hechas a la forma “estandarizada” de la ecuación de Penman. Los dos componentes de la ecuación de Penman estándar (radiación y aerodinámica) se calcularon indirectamente a partir de los datos meteorológicos de rutina disponibles utilizando el procedimiento de cálculo estandarizado recomendado por Shuttleworth, (Valiantzas 2006).

En este trabajo usaremos dos fórmulas algebraicas, desarrollada por Valiantzas (2006), usando las variables T , RS (o n), HR y u , equivalentes en precisión a la ecuación de Penman.

64

La fórmula (2) de Penman estandarizada por Valiantzas, requiere datos de velocidad de viento.

Formula (2)

$$E_{pen} \approx 0.051(1 - \alpha) R_s \sqrt{\frac{(t_{max}^2 + t_{min}^2)}{2} + 9.5} - 0.188 \left(\frac{(t_{max}^2 + t_{min}^2)}{2} + 13 \right) \left(\frac{R_s}{R_a} - 0.194 \right) \cdot \left(1 - 0.00014 \cdot (0.7 t_{max}^2 + 0.3 t_{min}^2 + 46) \right)^2 \sqrt{\frac{HR}{100}} + 0.049 (E_{pen} + 16.3) \left(1 - \frac{HR}{100} \right) (a_u + 0.536 u)$$

Y la formula (3) de Penman estandarizada por Valiantzas esta no requiere datos de velocidad de viento ya que toma la velocidad del viento media mundial, 2m/s.

Formula (3)

$$E_{pen} \approx 0.047 \cdot R_s \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{t_{min}^2 + t_{max}^2}{2} \right) + 9.5 \right] - 2.4 \cdot \left(\frac{R_s}{R_a} \right)^2} + 0.09 \left(\left(\frac{t_{min}^2 + t_{max}^2}{2} \right) + 20 \right) \cdot \left(1 - \frac{HR}{100} \right)$$

Los datos de temperatura, humedad relativa ambiente, precipitación, radiación solar y capacidad de evaporación

se tomaron de los registros de la estación meteorológica automática, marca Metos®, de la Agencia INTA Aimogasta, a 6,7 km, al Noroeste de la ubicación de la balsa.

Los datos obtenidos durante el periodo de evaporación medido en la balsa, se usarán en la formula Penman adaptada por Valiantzas, J. para correlacionar los resultados de evaporación con los medidos en la balsa con efluentes.

Determinación de lámina evaporada de efluentes.

Se utilizó para la experiencia la balsa construida para esto por personal de la Agencia de INTA en Aimogasta en terreno propiedad del Municipio de Arauco, la balsa es rectangular de 50 metros de largo por 5 metros de ancho y una profundidad máxima promedio de 0.60m, está recubierta con plástico Polietileno de alta densidad (PEAD) de 500 micrones color negro, la balsa se encuentra ubicada en su largo de Norte a sur, que es la dirección predominante de los vientos. Se construyó una toma en el cauce de efluentes industriales, que pasan al costado de la propiedad, con una acometida de tubería hasta la balsa para poder cargarla con estos efluentes. Para medir el volumen de los efluentes que se ingresaron a la balsa se midió cronometrando el llenado de un recipiente de volumen conocido tres veces consecutivas, se realizó esta medida cada 5 minutos durante el llenado. El nivel de la balsa se midió con una escala fija graduada cada 1 cm. Se inició la carga en el nivel 20 cm y se llevó hasta el nivel 40cm, midiendo el caudal agregado, y se dejó evaporar hasta que el nivel llegue otra vez a los 20 cm, momento en que se registra el final del ciclo y dónde se reinicia la carga midiendo el caudal agregado. Se midió la superficie de evaporación del espejo de efluente al inicio de la carga y al final, para usar el promedio.

Se repitieron estos ciclos de carga y evaporación, durante un periodo de 12 meses.

Análisis de la muestra:

65

Se tomaron 2000 ml de alícuota de efluente ingresante a la balsa, y se les realizaron las siguientes determinaciones: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Concentración de Cloruros (método de Mohr), Sólidos Volátiles (SV), Sólidos Totales (ST) y Precipitación en Tubo Himoff. (Garrido-Fernández 1991)

Resultados

Cálculo de la capacidad de evaporación en balsa piloto

Se hicieron 11 cargas de efluente en el año. 7 cargas se hicieron entre los niveles 20 y 40cm. El volumen de efluentes incorporado en cada carga fue de un promedio de 45497 litros. Como el momento de iniciar la nueva carga se determina observando el nivel de 20 cm en una escala de mínima medida de 1cm. Se observó una variabilidad en el volumen que se reponía en cada carga de 5,28%CV, coincidiendo aproximadamente con la variación de 1cm en 20 cm que es la precisión en la escala, de 5%de CV, por lo tanto, la variabilidad del volumen cargado se explica en su mayoría con la precisión de la escala que mide el nivel.

Se determinó la lámina de evaporación dividiendo el volumen evaporado en los días transcurridos y en la superficie promedio de evaporación y restándole la precipitación en el periodo. Así está lamina medida directamente se comparó con la lámina de evaporación calculada con fórmula Penman. En la figura 2 podemos ver la lámina evaporada medida durante el año y la lámina evaporada calculada con formula (2) de Penman estandarizada por Valiantzas

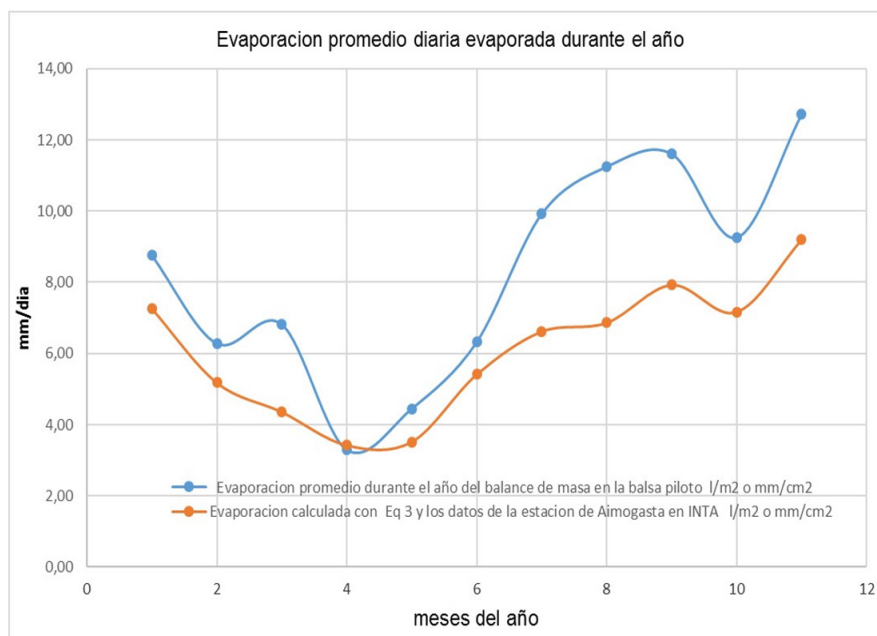


Fig. 2: Comparativa de Lamina promedio evaporada durante el año del balance en la balsa piloto y la calculada con Ecuación N°2 y los datos de la estación meteorológica de la Agencia INTA de Aimogasta.

El Coeficiente de Correlación de estas dos series es de 0,937. Esta ecuación toma en cuenta los valores de velocidad de viento. En la figura 3 podemos ver la lámina evaporada medida durante el año y la lámina evaporada calculada con fórmula (3) de Penman estandarizada por Valiantzas

66

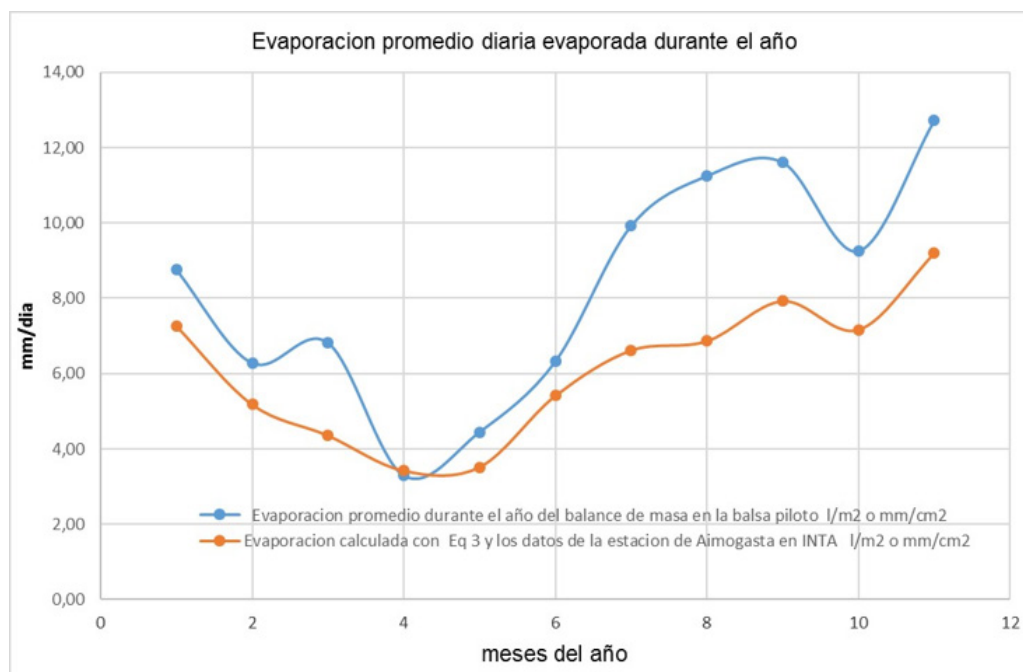


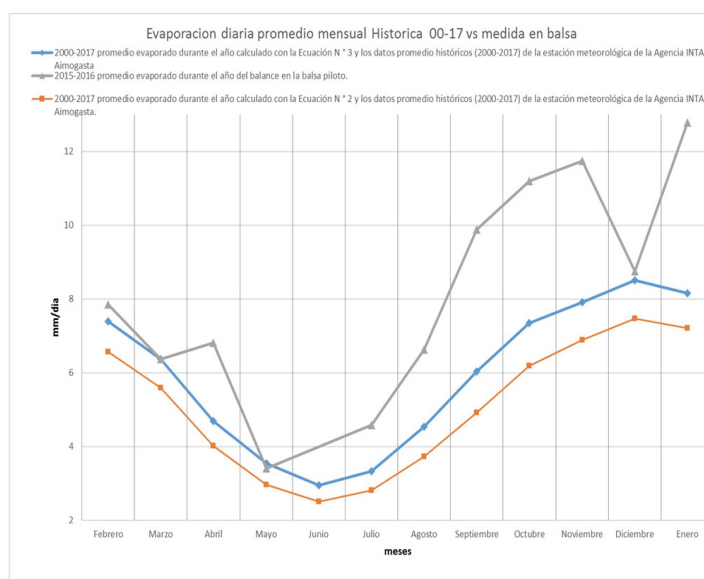
Fig. 3. Comparativa de Lamina promedio evaporada durante el año del balance en la balsa piloto y la calculada con Ecuación N°3 y los datos de la estación meteorológica de la Agencia INTA de Aimogasta.

El Coeficiente de Correlación de estas dos series es de 0,945. Esta ecuación no necesita los valores de velocidad de viento y asume un valor promedio mundial de 2m/s de velocidad. Esta velocidad promedio es mayor que la medida en la estación meteorológica de INTA, que fue en el periodo analizado de 0,4m/s.

Evaluando velocidades registradas en un anemómetro a 20 km a barlovento de la balsa, en la estación Pichana 4 a 13,6 km, vimos que la velocidad promedio a 10 metros era de 5 m/s, como podemos ver el efecto barrera del pueblo reduce los vientos donde se encuentra la estación INTA.

Observamos una mejor correlación al aumentar el viento y como la balsa se encuentra en campo abierto es de esperar que tenga mayores vientos que los que registra la estación ubicada en la agencia Aimogasta de INTA y esto explique que la ecuación n° 3 de una mejor correlación que la ecuación n°2.

Esto nos permitió validar la ecuación de Penman de cálculo de la evaporación (Ep). Luego para poder predecir la evaporación futura usamos los promedios inter- anuales de los datos meteorológicos para el cálculo de la Ep, esto nos da un promedio histórico que nos permite pronosticar el comportamiento climático del lugar.



67

Fig. 4: Comparativa del promedio evaporado durante el año del balance en la balsa piloto y lo calculado con Ecuación N°2 y los datos promedios históricos (2000-2017) de la estación meteorológica de la Agencia INTA de Aimogasta.

Caracterización de los efluentes

Debido a que el muestreo de los efluentes fue hecho al final del sistema colector público de efluentes donde vuelcan 7 fábricas diferentes, las características son un promedio de las actividades de estas fábricas y van variando según las etapas de elaboración durante el año.

Determinación de pH

En la Fig. 5 vemos que en época de inicio de campaña cuando la aceituna es tratada con hidróxido de sodio los efluentes pueden tomar valores altos de pH, tanto como 9. Solo un mes después el pH desciende y desde allí oscila entre 6 y 4,5. Esto es esperable ya que, aunque se siga usando hidróxido de sodio durante 3 meses los lavados de las primeras aceitunas quemadas superan en varias veces el volumen de soluciones de hidróxido de sodio usadas en

el quemado. Las sales de sodio combinadas con los ácidos orgánicos de la aceituna, tienen un fuerte efecto buffer que explica la poca variación del pH en la etapa posterior al quemado. El promedio de pH medidos fue de 5,24 con un mínimo de 4,35 y un máx. de 9,04. Este valor promedio es un poco más alto que el 4,7 citado para efluentes de la industria de la aceituna de mesa en España (Ayuso Muñoz et al. 2008)

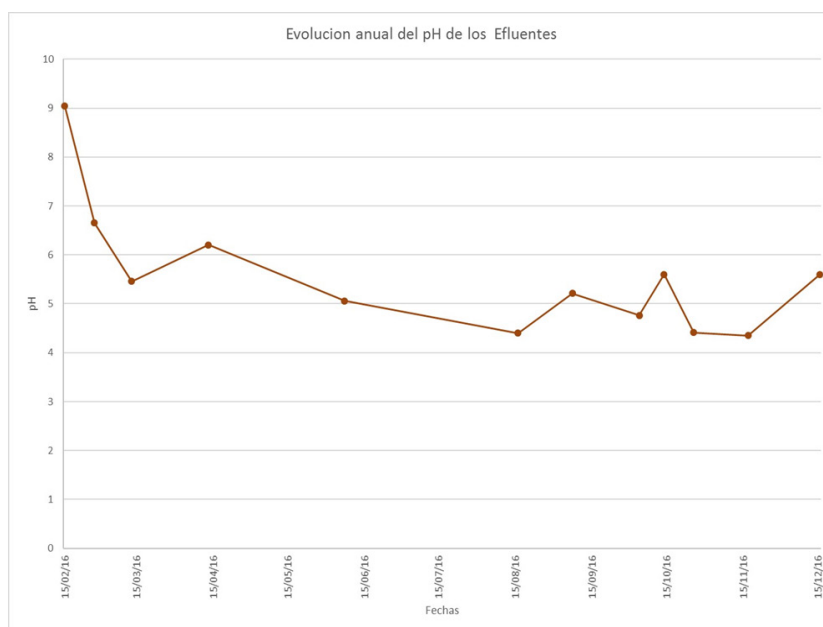


Fig. 5 Evolución anual del pH en los efluentes del sistema colector de Aimogasta

Determinación de la conductividad eléctrica (CE)

La medición de la CE nos da una idea de las sales disueltas en el efluente. Los valores medidos oscilan entre 13,3 y 29,3 mS/cm con un promedio de 22,4 mS/cm. Estos valores son un poco más altos que los 17,9mS/cm citados para efluentes de la industria de la aceituna de mesa en España (Ayuso Muñoz et al. 2008).

Los meses donde bajan los valores se podrían explicar por ser una época en la que se producen los lavados que son los efluentes más voluminosos de todos los producidos en las plantas.

Determinación de cloruros

Los valores obtenidos se pueden observar en la fig. 6, tienen un promedio de 1,38% con un mínimo de 0,88% y un máx. de 1,88 %. La representación del % de sólidos disueltos totales calculados a partir de la CE medida nos muestran una evolución similar, con un coeficiente de correlación 0,9, lo que nos hace inferir que las sales de Cloruros son mayoritarias en el efluente y explican en gran proporción la CE.

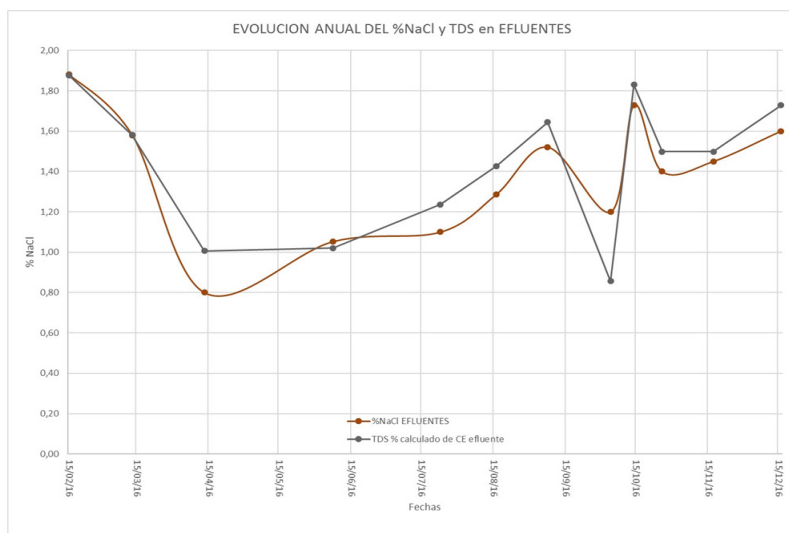


Fig. 6: Evolución anual del porcentaje de NaCl y de los sólidos disueltos totales (TDS) calculados de la CE en los efluentes del sistema colector de Aimogasta

Determinación de Solidos Totales y volátiles en efluentes

El promedio medido de % de solidos Totales fue de 1,6%, es similar a 1,3% promedio de lo citado para España (López Núñez 2007).

69

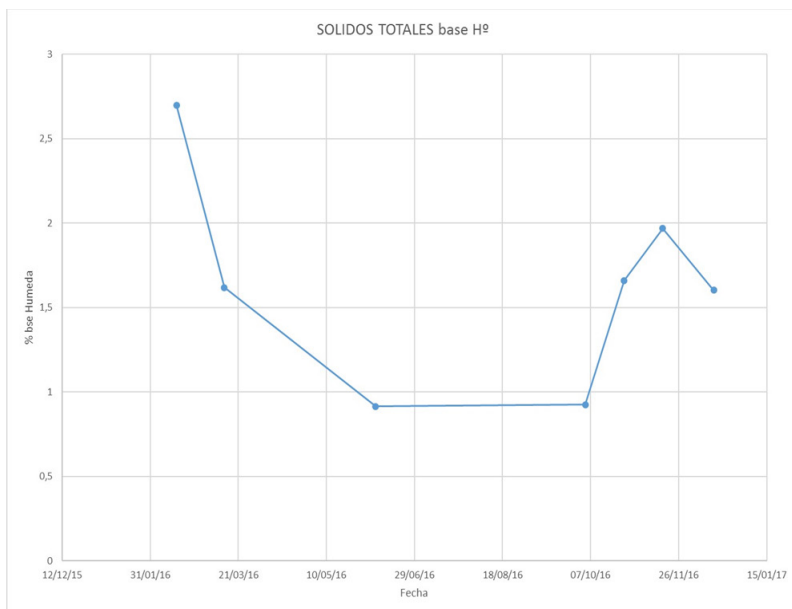


Fig. 7: Evolución anual de los sólidos totales en base húmeda en los efluentes del sistema colector de Aimogasta
El promedio medido de % de solidos Volátiles fue de 27%, es similar a 35% promedio de lo citado para España (López Núñez 2007).

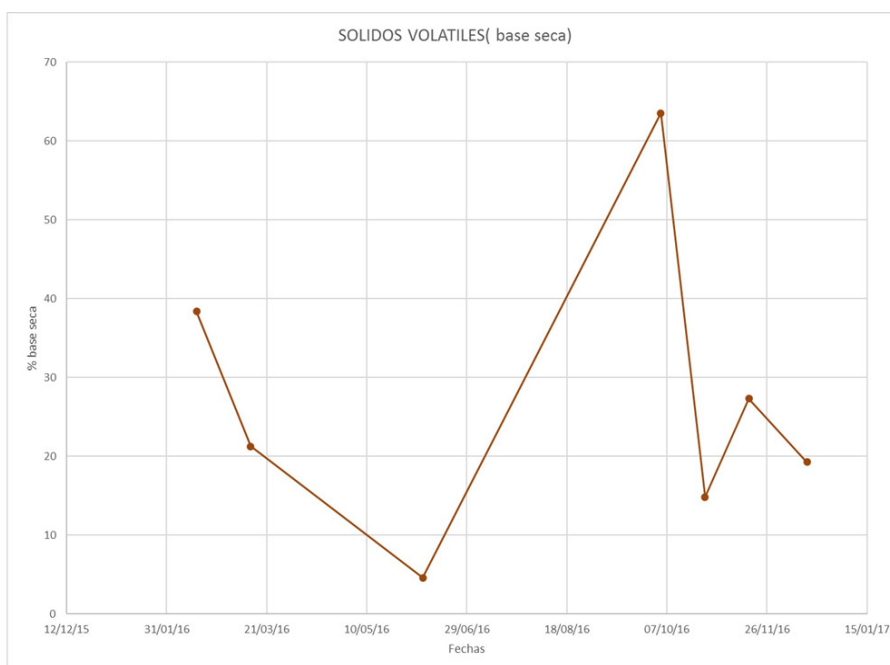


Fig. 8: Evolución anual de los sólidos volátiles en base seca en los efluentes del sistema colector de Aimogasta

Conclusión

70

El ajuste de los valores obtenidos por las fórmulas de Penman estandarizada por Valiantzas a los datos medidos nos permite concluir que estas fórmulas son útiles para aproximar a la evaporación que vamos a observar de este tipo de efluentes, teniendo los datos que son habituales que entreguen las estaciones meteorológicas. Por lo tanto, sería de utilidad para otras zonas, donde se cuenten con esos datos. Se observó que ajusto mejor la fórmula que utiliza valores de viento más cercanos a los que probablemente hay en la balsa. La velocidad del viento es quizás una de las variables que pueden ser más influidas por la geografía del terreno, quizás es por esto que los datos de velocidad del viento de la estación meteorológica fueron más bajos que los promedios citados para otro punto a barlovento de la balsa, esto explica porque la fórmula que toma un promedio de 2m/s de velocidad de viento ajusta mejor a la evaporación medida. Por esto dicho es que sería recomendable medir el dato de viento lo más cerca posible a la ubicación de la balsa o a donde se proyecte instalar.

Caracterización de los efluentes

Los valores obtenidos son similares a los mencionados en publicaciones de otros países para estos efluentes. Por lo que se pueden aplicar sistemas de tratamiento exitosos aplicados en otros países. Los efluentes son de alto contenido de cloruros de sodio y los valores que alcanzan hacen muy difícil su uso para riego agrícola, menos para animales, ni consumo humano. Estos efluentes salinizan los suelos donde se infiltran, incluso podrían llegar a las freáticas contribuyendo a su salinización. En general, las aguas residuales originadas en la industria de la aceituna de mesa son vertidos difíciles y complejos de tratar. La dificultad radica en que se producen vertidos con diferentes características químicas, en cantidades muy considerables, pero de forma discontinua, con elevado contenido orgánico y particularmente de polifenoles; que hace difícil los tratamientos biológicos aerobios o anaerobios convencionales y con elevada concentración salina; difícil de eliminar, que ocasiona corrosión.

Así, en España y en la actualidad el método más generalizado para el “tratamiento” de estas aguas es su acumulación

y evaporación en balsas. Es el sistema elegido, aunque tenga el riesgo de las filtraciones o reboses de las balsas (éstas deben estar correctamente construidas e impermeabilizadas y tener superficie y profundidad adecuadas) y la emisión de olores desagradables por esto las balsas deben ubicarse alejadas de núcleos habitados y con vientos dominantes en sentido contrario para evitar los problemas de olores.

Referencias

- Álvarez, A., Elía, M., Paris, M., Fasciolo, G., & Barbazza, C. (2011). Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 19–39.
- Ayuso Muñoz, J., et al. (2008). Proyecto de depósitos de almacenamiento de efluentes de industrias agroalimentarias (1.ª ed.). Secretaría General Técnica. Servicio de Publicaciones y Divulgación, Junta de Andalucía.
- Brenes, M. (2004). Olive fermentation and processing: Scientific and technological challenges. *Journal of Food Science*, 69(1), 33–34.
- Finch, J. W., & Hall, R. L. (2001). Estimation of open water evaporation: A review of methods (R&D Technical Report W6-043/TR). Environment Agency.
- Garrido-Fernández, A. (1991). Elaboración de aceitunas de mesa. FAO.
- Juárez Romero, J. A. (2017). Reutilización y reducción de efluentes de la aceituna de mesa. INTA.
- López Núñez, R. (2007). Características y tratamiento de las aguas residuales de la industria de aderezo de aceitunas de mesa. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC). <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19898/caracteristicas-y-tratamiento-de-las-aguas-residuales-de-la-industria-de-aderezo-de-aceitunas-de-mesa>
- Marsilio, V., Russi, F., Iannucci, E., & Sabatini, N. (2008). Effects of alkali neutralization with CO₂ on fermentation, chemical parameters and sensory characteristics in Spanish-style green olives (*Olea europaea* L.). *LWT – Food Science and Technology*, 41(5), 796–802. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.017>
- Valiantzas, J. D. (2006). Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data. *Journal of Hydrology*, 331(3–4), 690–702. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.012>