

Design of a Wastewater Treatment Plant for Agroindustrial Bins Washing: Technical, Economic, and Environmental Evaluation

Verónica Morales Cárdenas, Doctor en Química¹, Kevin Shiray, Ingeniero Civil Industrial¹ y Francisco Yonson, Ingeniero Civil Industrial¹

¹Universidad de Valparaíso, Chile. veronica.morales@uv.cl

Abstract: *Agro-industrial fruit processing operations require large volumes of water, especially during flotation, washing, and container cleaning processes. These activities generate wastewater containing suspended solids and organic matter which, with proper treatment, can be reused within the production cycle. This project presents the design and techno-economic evaluation of a wastewater treatment plant intended to enable the reuse of water generated during the fruit flotation and washing stages in a Chilean agro-export company. The treated water is subsequently reused for washing agricultural containers used for transporting and handling fruit. The wastewater produced in these operations contains a mixture of leaves, branches, soil particles, partially decomposed apples, and traces of an anionic detergent used during the washing process. To address these characteristics, the proposed treatment system integrates a screening stage, clarification using inclined plates, and activated carbon filtration to remove suspended solids and improve water quality. The system was designed considering an operational water consumption of approximately 10,000 L every three days, equivalent to almost 100 m³ per month. The results indicate that implementing a compact treatment configuration with a relatively low investment and rapid payback can significantly reduce freshwater consumption and minimize wastewater discharge, thereby contributing to more sustainable water management in agro-industrial operations*

Keywords: *water reuse, wastewater treatment, agroindustry, sedimentation, sustainability.*

I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua dulce se ha convertido en uno de los principales desafíos ambientales y productivos a nivel mundial. El crecimiento de la población, la expansión de las actividades industriales y agrícolas, junto con los efectos del cambio climático, han generado una presión creciente sobre los recursos hídricos disponibles [1]. Como consecuencia, diversos sectores productivos han comenzado a explorar estrategias que permitan optimizar el uso del agua y reducir la dependencia de fuentes naturales de abastecimiento. En este contexto, la reutilización de aguas residuales tratadas ha surgido como una alternativa relevante para mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico. Diversos estudios han demostrado que una proporción significativa del agua utilizada en procesos industriales puede ser recuperada mediante tratamientos relativamente simples, permitiendo su

reutilización en distintas etapas del proceso productivo y contribuyendo a una gestión más sostenible del agua [2].

Dentro de los sectores con mayor demanda hídrica se encuentra la agroindustria, donde el agua es utilizada intensivamente tanto en la producción agrícola como en los procesos de acondicionamiento y procesamiento de productos. Estas actividades generan volúmenes importantes de aguas residuales que contienen sólidos suspendidos, materia orgánica y residuos provenientes de los productos manipulados durante el proceso productivo [3]. En particular, la reutilización de agua ha sido ampliamente estudiada en la industria alimentaria y agroindustrial, donde los efluentes pueden ser tratados para su reutilización en diferentes etapas del proceso productivo [4].

En el contexto de la agricultura chilena, el cultivo de pomáceas, particularmente manzanas y peras, posee una gran relevancia económica y productiva, especialmente en regiones como O'Higgins y el Maule. Se estima que entre el 25% y el 30% del agua destinada al riego agrícola se utiliza en este tipo de frutales. Sin embargo, el consumo de agua asociado a este sector no se limita únicamente al riego, sino que también se extiende a las distintas etapas del procesamiento de la fruta en las plantas envasadoras.

En la mayoría de las plantas de proceso de pomáceas, una de las primeras etapas corresponde al lavado y flotación de la fruta, operación que permite remover tierra, hojas, ramas y otros residuos provenientes del campo. Este proceso requiere el uso de volúmenes considerables de agua y genera un efluente que contiene sólidos suspendidos, restos orgánicos de fruta en distintos estados de descomposición y, en algunos casos, detergentes utilizados durante las operaciones de limpieza.

A pesar de ello, muchas plantas envasadoras no reutilizan el agua empleada en estas operaciones, aun cuando gran parte de estos efluentes podría ser tratada mediante procesos relativamente simples. Esta situación resulta particularmente relevante considerando que gran parte de estas instalaciones se encuentran ubicadas en zonas afectadas por escasez hídrica,

donde la gestión eficiente del agua se vuelve un factor clave para la sostenibilidad de la actividad productiva.

Una alternativa para mejorar la eficiencia en el uso del agua consiste en tratar el efluente generado durante el proceso de flotación y lavado de la fruta para reutilizarlo posteriormente en otras etapas del proceso que no requieren agua de alta pureza. En este sentido, el lavado de contenedores reutilizables conocidos como *bins*, utilizados para el transporte de fruta desde el huerto hasta la planta de procesamiento, representa una oportunidad adecuada para implementar estrategias de reutilización de agua dentro del mismo sistema productivo.

La reutilización de agua en procesos industriales no solo permite reducir el consumo de agua fresca, sino que también contribuye a disminuir la descarga de efluentes al medio ambiente. En regiones donde la disponibilidad de agua es limitada, este tipo de estrategias adquiere una relevancia aún mayor, ya que permite avanzar hacia modelos productivos más eficientes y sostenibles [5].

En Chile, la escasez hídrica se ha intensificado durante la última década debido al fenómeno conocido como “megasequía”, lo que ha afectado significativamente la disponibilidad de agua para uso agrícola e industrial. Frente a este escenario, la implementación de soluciones tecnológicas orientadas a mejorar la eficiencia hídrica representa una oportunidad importante para el sector agroexportador.

En este contexto, el presente estudio propone el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales orientada al tratamiento del efluente generado durante las etapas de flotación y lavado de fruta en una empresa agroexportadora chilena, con el propósito de permitir su reutilización en el lavado de bins dentro del proceso productivo. El objetivo general de la investigación es diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales de origen agrícola que permita su reutilización en la limpieza de bins en la empresa Yanten Urbina Ltda.

Para alcanzar este propósito, se plantean como objetivos específicos la selección del proceso de tratamiento más adecuado en función de las características del efluente, la estimación de los costos asociados a la implementación del sistema, y la identificación de los principales impactos — económicos, ambientales y sociales— derivados de la incorporación de esta solución en la operación de la empresa. De esta manera, el estudio busca evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema compacto de tratamiento que contribuya a reducir el consumo de agua fresca y mejorar la gestión del recurso hídrico en el proceso productivo.

II. METODOLOGIA

El estudio se desarrolló considerando las condiciones operacionales de una empresa agroexportadora dedicada al

procesamiento de manzanas. El efluente analizado corresponde al agua utilizada en las etapas de flotación y lavado de la fruta, operaciones destinadas a remover residuos provenientes del campo. Este efluente presenta principalmente hojas, ramas, tierra, manzanas en proceso de descomposición y detergente aniónico, constituyendo la corriente de agua a recuperar para la que se diseñó la planta de tratamiento de agua residual (PTAR)

De acuerdo con la información recopilada durante la etapa de diagnóstico, el sistema de lavado y flotación utiliza aproximadamente 10.000 litros de agua cada tres días, lo que corresponde a cerca de 10 m³ por ciclo operativo. Considerando la frecuencia promedio de operación de la planta, el volumen total de agua utilizada en estas operaciones alcanza aproximadamente 100 m³ al mes.

Para el diseño de la PTAR se consideró la composición del agua residual (AR), el uso que la empresa dará al agua tratada y las operaciones unitarias atinentes al proceso, decidiendo que las etapas necesarias son: cribado, sedimentación/clarificación y filtrado con carbón activo.

A. Diseño del Cribado

La primera etapa del sistema corresponde a un proceso de cribado, destinado a remover los sólidos de mayor tamaño presentes en el efluente generado durante la flotación y lavado de la fruta. Para el diseño se realizaron los siguientes pasos:

- Determinación del Caudal de Agua Residual.
- Cálculo y dimensiones de rejillas y barros.
- Definición de la distancia entre los barros de las rejillas.
-
- Definición tipo de remoción de escombros de la rejilla (Manual o Mecánico).

B. Selección del Sedimentador/clarificador

- Determinación del tipo de sedimentador/clarificador
- Determinación de las dimensiones del sedimentador
- Determinación del tipo de extracción del sedimento (purga)

C. Determinación del Filtro de Carbono Activo

- Selección del modelo de filtro.
- Definición de las dimensiones del filtro.

El dimensionamiento del sistema se realizó considerando el caudal máximo generado durante las operaciones de lavado.

Durante el proceso de descarga del sistema de lavado, se estimó un caudal aproximado de 7,5 m³/h, valor que fue utilizado como base para el diseño hidráulico de las unidades de tratamiento.

La figura 1 presenta el diseño esquemático de la planta de tratamiento de agua residual.

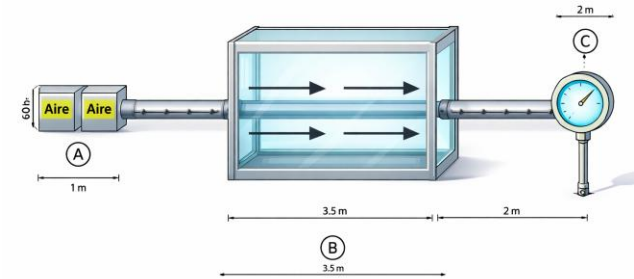


Fig. 1 . Esquema conceptual del sistema de tratamiento propuesto.
A. Cribado, B. Sedimentador. C. Filtro de carbono

III. RESULTADOS

El análisis de las condiciones operacionales permitió determinar los parámetros básicos necesarios para el diseño del sistema de tratamiento.

Considerando un volumen de 10.000 L y tiempo de descarga 80 min se determina que el caudal es de 7,5 m³/h con una velocidad del flujo 10,16 m/min. La planta se proyectó en base al caudal obtenido y considerando que el canal de descarga de AR posee dimensiones de 0,324 m de alto y 0,220 m de ancho. La rejilla de cribado (Fig.2) se diseñó en PVC debido a que presenta mayor resistencia a la corrosión que el acero y su costo es menor, las especificaciones calculadas se presentan en la tabla I.

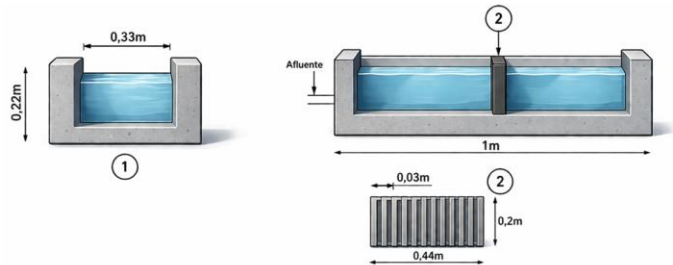


Figura 2. Estructura Reja de Cribado.

TABLA I
PARAMETROS DIMENSIONALES DE LA REJA DE CRIBADO

Concepto	Dato
Ancho de barra (m)	0,01
Abertura (m)	0,03
Ancho de la rejilla (m)	0,44
Altura de la rejilla (m)	0,2
Eficiencia (%)	75
Ancho útil libre (m)	0,24
Ancho ocupado por las barras (m)	0,08
Número de barras	8
Perdida de carga (m)	0,0241

Para definir el sedimentador/clarificador se compararon 6 modelos presentes en el mercado en cuanto a: dimensiones, eficiencia, tipo de purga, costo de instalación y proximidad del proveedor, siendo electo el equipo de placas inclinadas Wuxi Yosun. (Fig 3)

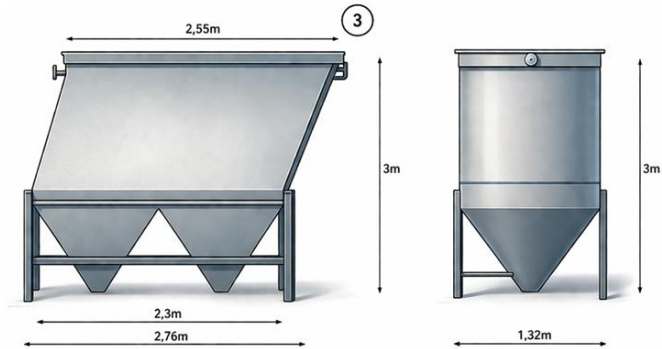


Figura 3. Estructura Sedimentador de Placas Inclinadas.

Las características del sedimentador/clarificador se presentan en la tabla II

TABLA II
CARACTERISTICAS DEL SEDIMENTADOR/ CLARIFICADOR

Sedimentador / Clarificador	
Tipo	Placas Inclınadas
Dimensiones	3.3 x 1.8 x 3.0 m
Capacidad	10 m ³ /h
Proveedor	Wuxi Yosun

Los mismos criterios empleados en el sedimentador, restando la purga y sumando capacidad de tratamiento, fueron empleados para definir el filtro de carbono (Fig.4). Entre 5 opciones, el que mejor se adapta a los requerimientos es el modelo DEC/M 780 IMA Water. Este filtro puede tratar un máximo de 12 m³/h acorde al caudal a tratar de 7,5 m³/h, ocupa un volumen que permite optimizar el espacio y su costo de adquisición e instalación es aceptable. Las especificaciones del filtro se pueden apreciar en la tabla III.

TABLA III
PARAMETROS DIMENSIONALES DE LA REJA DE CRIBADO

Filtro de Carbono	
Ancho	780 mm
Alto	2.200 mm
Caudal	12m ³ /h
Carga de Carbón	330 Kg
Proveedor	IMA Water
Modelo	DEC/M 780

La primera etapa del sistema corresponde a un proceso de cribado, destinado a remover los sólidos de mayor tamaño presentes en el efluente, tales como hojas, ramas, restos de fruta y otros materiales de origen vegetal. Esta unidad actúa como una etapa de pretratamiento, reduciendo la carga de sólidos gruesos que ingresan a las unidades posteriores del sistema y evitando posibles obstrucciones en los equipos de tratamiento.

Posteriormente, el agua pasa al sedimentador de placas inclinadas, unidad diseñada para favorecer la remoción de sólidos suspendidos presentes en el efluente. Este tipo de tecnología permite aumentar significativamente el área efectiva de sedimentación dentro de un volumen relativamente reducido, ya que las placas inclinadas disminuyen la distancia que las partículas deben recorrer para sedimentar.

El uso de sedimentadores de placas inclinadas es común en plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales debido a su alta eficiencia y bajo requerimiento de espacio [6]. Esta característica resulta particularmente relevante en instalaciones industriales donde la disponibilidad de espacio es limitada.

En la última etapa el agua tratada pasa a través de un sistema de filtración con carbón activado, etapa destinada a mejorar la

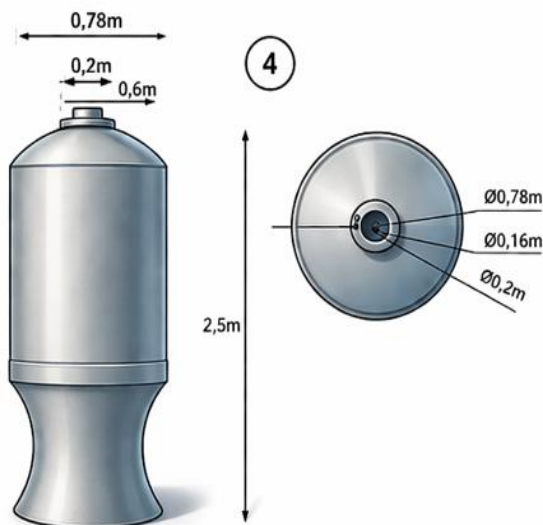


Fig. 4. Estructura Filtro de Carbón Activo

calidad del agua tratada mediante la remoción de compuestos orgánicos disueltos, la reducción de la turbidez y la eliminación de posibles olores presentes en el efluente. Los sistemas de adsorción mediante carbón activado han demostrado ser altamente efectivos para mejorar la calidad del agua en diversas aplicaciones industriales [7].

IV. EVALUACION ECONOMICA

En relación con los costos de implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales, se estimó una inversión de capital (CAPEX) de \$39.324.616 CLP, valor que considera la adquisición de equipos, infraestructura y costos asociados a la instalación del sistema, como se detalla en la Tabla IV. Por otra parte, los costos anuales asociados a la operación del sistema (OPEX) incluyen gastos de operación, mantención y administración, los cuales fueron estimados en \$680.756 CLP, \$1.500.000 CLP y \$10.200.000 CLP, respectivamente. Estos valores representan un costo operativo aproximado de \$33.920 CLP diarios para el funcionamiento del sistema de tratamiento.

A partir del análisis económico realizado mediante un flujo de caja proyectado a 5 años, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de \$1.705.484.013,84 CLP y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 51%, indicadores que evidencian la viabilidad económica del proyecto. Un VAN positivo de esta magnitud indica que los beneficios económicos asociados a la reutilización del agua superan ampliamente la inversión inicial y los costos de operación del sistema. Asimismo, la TIR obtenida es significativamente superior a las tasas de descuento comúnmente utilizadas en proyectos de infraestructura industrial, lo que refuerza la conveniencia de implementar la solución propuesta.

En función de estos resultados, se puede afirmar que la implementación de la planta de tratamiento representa una alternativa económicamente favorable para la empresa, ya que la inversión inicial podría recuperarse en un período estimado de 1 año, 9 meses y 13 días. Los costos asociados a la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales se presentan en detalle en la Tabla IV.

TABLA IV
DETALLE DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AR

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Movimiento de tierra				
Excavación, topográfica y compactación	m ³	170	\$20.00	\$3.400.000
Retiro de escombros	Unidad	Global	\$200.00	\$200.00
Compactación y nivelación de base granular	m ²	200	\$20.00	\$4.000.000
Montaje	Unidad	Global	\$7.000.000	\$7.000.000
Interconexiones				
Tubo PVC-P 125mm x 6m PN-6	m	7	\$21.19	\$148.33
Tubo PVC-S 110 mm x 6m PN-6	m	7	\$7.73	\$54.11
Planta de Tratamiento				
Reja de desbaste PVC	Nº	1	\$270.00	\$270.00
Electrobomba Centrifuga 120 L/min	Nº	2	\$200.99	\$401.98
Bomba Sumergible 141 L/min	Nº	1	\$70.00	\$70.00
Tablero eléctrico	Nº	2	\$400.00	\$800.00
Sedimentador de placas inclinadas	Nº	1	\$6.875.500	\$6.875.500
Filtro de carbón Activo	Nº	1	\$2.200.000	\$2.200.000
Subtotal (Total Partidas)				\$25.419.920
Gastos generales (20%)				\$5.083.984
Utilidades (10%)				\$2.541.992
Costo Neto				\$33.045.896
IVA (19%)				\$6.278.720

Además de los beneficios económicos, la reutilización del agua tratada permite reducir el consumo de agua fresca y disminuir la descarga de efluentes al medio ambiente, contribuyendo a una gestión más sostenible del recurso hídrico.

VI. IMPACTO AMBIENTAL

La reutilización de aguas residuales tratadas representa una estrategia relevante para reducir los impactos ambientales asociados al uso intensivo de recursos hídricos en procesos industriales y agroindustriales. En el caso de la PTAR propuesta en este proyecto, la implementación del sistema de tratamiento permitiría recuperar aproximadamente 100 m³ de agua al mes, volumen que de otro modo sería descargado al sistema de drenaje o a cuerpos receptores.

Desde una perspectiva ambiental, esta reducción en el consumo de agua fresca contribuye a disminuir la presión sobre las fuentes naturales de abastecimiento, especialmente en regiones donde la disponibilidad de agua es limitada. Diversos estudios han señalado que la reutilización de agua puede reducir significativamente la demanda hídrica en sectores industriales, contribuyendo a mejorar la sostenibilidad de las operaciones productivas [8].

En cuanto al diseño de la PTAR, la incorporación de tecnologías de tratamiento físico como sedimentación y filtración permite alcanzar mejoras significativas en la calidad del agua sin requerir el uso intensivo de productos químicos ni procesos complejos. Esto representa una ventaja adicional desde el punto de vista ambiental, ya que reduce el consumo de insumos y la generación de residuos secundarios.

En el contexto del cambio climático y la creciente escasez hídrica que afecta a diversas regiones del mundo, la implementación de sistemas de reutilización de agua se ha convertido en una herramienta clave para promover modelos de producción más sostenibles. En particular, el sector agroexportador chileno enfrenta importantes desafíos relacionados con la gestión eficiente del recurso hídrico, lo que hace especialmente relevante la adopción de tecnologías que permitan mejorar el uso del agua dentro de los procesos productivos.

En este sentido, el sistema propuesto en el presente proyecto demuestra que es posible implementar soluciones tecnológicas relativamente simples que permitan mejorar significativamente la eficiencia en el uso del agua, contribuyendo tanto a la sostenibilidad ambiental como a la competitividad del sector agroindustrial.

La construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales se realiza con el propósito de principalmente reutilizar los recursos hídricos, resguardar el ambiente y la salud, por lo tanto, su impacto ambiental debería ser positivo. Sin embargo, los análisis de impacto ambiental se efectúan tomando en cuenta los aspectos tanto positivos como negativos. Estos se agrupan para ser desarrollados de mejor manera.

En este contexto, el sistema propuesto en el presente estudio demuestra que es posible implementar soluciones tecnológicas relativamente simples que permitan mejorar significativamente la eficiencia en el uso del agua, contribuyendo tanto a la sostenibilidad ambiental como a la competitividad del sector agroindustrial. La construcción e implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo principal favorecer la reutilización de los recursos hídricos, así como proteger el medio ambiente y la

salud pública, por lo que, en términos generales, su impacto ambiental tiende a ser positivo.

No obstante, para evaluar de manera integral los efectos asociados al proyecto, es necesario considerar tanto los impactos ambientales positivos como los potenciales efectos negativos que pueden generarse durante las etapas de construcción y operación del sistema de tratamiento. En consecuencia, el análisis de impacto ambiental desarrollado en este proyecto clasifica y describe estos efectos con el fin de evaluar de forma más clara su magnitud y alcance. En el caso de los impactos negativos se presentan los sistemas de mitigación para reducirlos al mínimo, en casos donde son inevitables. Los principales impactos identificados se presentan en las tablas V a VII, donde se detallan los efectos asociados a cada etapa del proyecto.

TABLA V
EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POSITIVOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Impacto	Tipo	Elemento	Calificación
Incremento de Fuentes de Trabajo	Económico	Actividades Económicas	Positivo
Conservación del agua para ser utilizado en otro proceso	Hidrológico	Cantidad de agua para lavado de bins	Muy Positivo

BLA VI
EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Impacto	Elemento	Calificación	Medida de Manejo
Disminuir el valor del terreno de la empresa	Pérdida económica	Negativo Leve	Compensación
Efectos adversos a la salud por falta o mal uso de implementos de seguridad	Salud	Negativo Mitigable	Revisión constante del equipo que emplean los trabajadores y supervisión de su correcto uso
Contaminación por emisión de polvo	Partículas en suspensión	Negativo Mitigable	Uso obligatorio de mascarilla de los operarios en maniobras críticas de remoción.

Los canales pueden ser contaminados por desechos sólidos o derrame accidental de combustible	Calidad del agua	Negativo	supervisión constante del estado de los vehículos y sus estanques. Plan de contingencia de conocimiento publico
Posible generación de ruidos altos a la hora de la instalación de la PTAR	Nivel de sonido	Negativo Mitigable	Compensación a los vecinos y uso obligatorio de audífonos protectores y/o tapones auditivos.

TABLA VII
EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS EN LA ETAPA DE OPERACIÓN

Impacto	Elemento	Calificación	Medida de Manejo
Efectos adversos a la salud por falta o uso inadecuado de elementos de seguridad	Salud	Negativo Mitigable	Revisión constante del equipo que emplean los trabajadores y supervisión de su correcto uso
Malos olores por operación y mantenimiento inadecuado	Calidad del aire	Evitable	Plan de manejo de aguas residuales y mantención de canales

En definitiva, el análisis de impacto ambiental evidencia que la implementación del sistema de tratamiento presenta un

balance global favorable, destacando principalmente los beneficios asociados a la reutilización del recurso hídrico y su contribución a la sostenibilidad del proceso productivo. Si bien se identifican impactos negativos tanto en la etapa de construcción como de operación, estos corresponden en su mayoría a efectos de carácter leve o mitigable, para los cuales se han propuesto medidas de manejo adecuadas. En este sentido, los resultados presentados en las Tablas VI, VII y VIII permiten concluir que el proyecto es ambientalmente viable, siempre que se implementen correctamente las medidas de control y mitigación definidas.

. VII. CONCLUSIONES

El presente proyecto permitió diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales orientado a la reutilización del agua generada en las etapas de flotación y lavado de fruta en una empresa agroexportadora chilena, proponiendo su posterior uso en el lavado de bins dentro del proceso productivo.

Los resultados obtenidos indican que la planta permitiría recuperar aproximadamente 100 m³ de agua al mes, lo que representa una reducción significativa en el consumo de agua fresca, contribuyendo a una gestión más eficiente del recurso hídrico en la planta. Desde el punto de vista técnico, la implementación de un tren de tratamiento basado en cribado, sedimentación mediante placas inclinadas y filtración con carbón activado demostró ser adecuada para las características del efluente generado, permitiendo mejorar la calidad del agua para su reutilización en aplicaciones industriales de menor exigencia.

En términos económicos, el proyecto presenta una alta viabilidad, evidenciada un VAN de \$1.705.484.013,84 CLP y una TIR de 51%, lo que indica que los beneficios asociados a la reducción en el consumo de agua superan ampliamente la inversión inicial y los costos operacionales. Asimismo, el período de recuperación de la inversión, estimado en 1 año, 9 meses y 13 días, refuerza la conveniencia de implementar el sistema propuesto.

En un contexto de creciente escasez hídrica, la reutilización de aguas residuales tratadas se posiciona como una estrategia clave para promover el uso sostenible del agua, reducir la presión sobre las fuentes naturales y fortalecer la resiliencia del sector agroindustrial frente a escenarios de restricción hídrica.

REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *AQUASTAT Main Database*. Rome, Italy: FAO, 2021.
- [2] T. Asano, F. L. Burton, H. L. Leverenz, R. Tsuchihashi, and G. Tchobanoglous, *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2007.

- [3] G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchihashi, and F. L. Burton, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2014.
- [4] S. Casani, M. Rouhany, and S. Knöchel, “A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry,” *Food Control*, vol. 16, no. 10, pp. 886–902, 2005.
- [5] D. Bixio and T. Wintgens, *Water Reuse System Management Manual*. London, U.K.: IWA Publishing, 2006.
- [6] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2014.
- [7] W. J. Weber Jr. and F. A. DiGiano, *Process Dynamics in Environmental Systems*. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 1996.
- [8] United Nations World Water Assessment Programme (WWAP), *The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water*. Paris, France: UNESCO, 2023.