

DILUCIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN EL SISTEMA DE RIEGO GUADALQUIVIR- CENAVIT-CALAMUCHITA

Dilution of the pollutant load of wastewater reuse in the
Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita irrigation system

Fecha de recepción: 22/08/2025 | Fecha de aceptación: 29/08/2025

Autor(es):

¹ Mario Carmelo Gamarra Mendoza

¹ Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS) /
Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), Candidato a
Doctor UAJMS, Tarija - Bolivia

¹ Correspondencia del autor(es): mariogamarra@uajms.edu.bo, mcgamarramendoza@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4486-4815>



Dilución de la carga contaminante de la reutilización de aguas residuales en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita

Dilution of the pollutant load of wastewater reuse in the Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita irrigation system

Resumen

Se analiza la gestión sostenible de recursos hídricos en Bolivia, considerando la operación de embalses y el reúso de aguas residuales tratadas. Considerando el embalse San Jacinto y el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita. Se evaluaron variables como la calidad del agua, la capacidad de almacenamiento y la vida útil; se realizaron mediciones de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, así como aforos en diferentes momentos de operación de la central hidroeléctrica. Los resultados muestran una vida útil variable del embalse San Jacinto, con una tasa de sedimentación anual promedio de 0.144 Hm^3 . La calidad del agua varía significativamente según la operación de la central hidroeléctrica, con reducciones en la concentración de contaminantes durante los periodos de generación. Sin embargo, la mayoría de los parámetros de calidad del agua no cumplen con los estándares para riego. La sedimentación del embalse y la variabilidad en la calidad del agua son desafíos críticos. Se destaca la necesidad de monitorear y mejorar el tratamiento de aguas residuales para asegurar su uso seguro en la agricultura. La gestión integrada de recursos hídricos es importante para enfrentar los efectos del cambio climático y garantizar la sostenibilidad del sistema de riego.

Abstract

The sustainable management of water resources in Bolivia is analyzed, considering the operation of reservoirs and the reuse of treated wastewater. Considering the San Jacinto reservoir and the Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita irrigation system. Variables such as water quality, storage capacity and useful life were evaluated; measurements of physical-chemical and microbiological parameters of the water were taken, as well as gauging at different times of operation of the hydroelectric power plant. The results show a variable useful life of the San Jacinto reservoir, with an average annual sedimentation rate of 0.144 Hm^3 . Water quality varies significantly depending on the operation of the hydroelectric plant, with reductions in the concentration of pollutants during generation periods. However, most water quality parameters do not meet irrigation standards. Reservoir sedimentation and water quality variability are critical challenges. It highlights the need to monitor and improve wastewater treatment to ensure its safe use in agriculture. Integrated water resources management is important to address the effects of climate change and ensure the sustainability of the irrigation system.

Palabras Claves: contaminación, embalse, sedimentación, reúso, riego, producción

Keywords: contamination, reservoirs, sedimentation, reuse, irrigation, production.

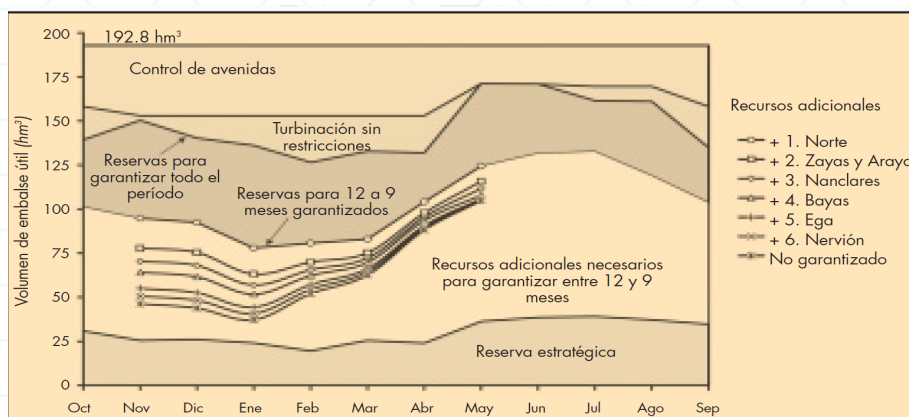
1. Introducción.

La construcción del embalse San Jacinto fue concluida el año 1988 y su llenado se culminó el año 1989. Una vez iniciada la operación del embalse San Jacinto el problema de la sedimentación fue encarado desde el primer año de operación con el objetivo de verificar que los criterios para la determinación del aporte de sedimentos, en virtud de esto, se ejecutaron estudios para la actualización de la superficie batimétrica en 1989, 1995, 2004, 2013, 2016 y 2019. Los valores estimados de la vida útil variable a lo largo del periodo de operación del embalse San Jacinto realizados hasta la fecha considera el total de la capacidad de almacenamiento sin definir una cota de referencia para determinar el volumen útil (Perales Avilés, Soria, & Saavedra, 2023).

La última topobatimetría fue realizada el año 2023 por el Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS) por encargo de ENDE Guaracachi.

La vida útil del embalse requiere el desarrollo de una operación óptima del sistema de generación hidroeléctrica, debido a que el mismo representa la mayor demanda. Una referencia bastante interesante sobre la regionalización del uso del agua del embalse para priorizar su aprovechamiento y definir políticas que apoyen la decisión de operación indica que es necesario definir un volumen de reserva estratégica equivalente al 15% del volumen útil, que de manera gráfica se representa a continuación:

Figura 1. Volúmenes de operación de los embalses situados sobre el río Zadorra en la cuenca hidrográfica del Ebro.



Fuente: (Martín Carrasco, Garrote de Marcos, & Granados García, 2006)

Por otra parte, la sistematización de información sobre tratamiento de aguas residuales y los sistemas de reúso, en particular los agrícolas que aprovechan estas aguas tratadas, se basa en la recopilación de información de 111 casos de estudio, enfocando la atención en 105 centros poblados de 98 municipios del Estado Plurinacional de Bolivia. (Biblioteca Virtual de la Cooperación Alemana (BIVICA), 2013)

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) presenta la Guía Técnica para el Reúso de Aguas Re-

siduales en la Agricultura, aprobada mediante Resolución Ministerial 583/2018. La reutilización de agua tratada para riego es una práctica habitual en el país, se constituye en una estrategia para garantizar la producción agropecuaria, principalmente en zonas con déficit hídrico. Sin embargo, es necesario implementar medidas y buenas prácticas para disminuir el riesgo que representa el uso aguas residuales para riego, aspecto que la presente Guía aborda desde un enfoque de riego. (Biblioteca Virtual de la Cooperación Alemana (BIVICA), 2018)

Si bien existe un enfoque de atención a nivel nacional en lo concerniente a la regulación de aguas y el reuso de aguas residuales tratadas, su enfoque sigue siendo sectorial y no integral, pues la vida útil de las presas cuando se ven comprometidas, no se deben dejar de lado las fuentes de agua alternativas que puedan contribuir en las etapas más sensibles de abastecimiento de agua de los sistemas productivos.

En un contexto incipiente del desarrollo de una estrategia de gestión integrada de recursos hídricos considerando los embalses y el reuso de aguas residuales tratadas en Bolivia, analizar la evolución de la pérdida de vida útil del embalse y la contribución del agua residual tratada como fuente de abastecimiento, representa un buen punto de partida.

Estudios relacionados con las fluctuaciones de caudal, los procesos de mezcla y el comportamiento de las variables han utilizado el modelo descrito por Boyle (1974) basado en las propiedades conservativas de la salinidad, que afectan la dilución y autodepuración de las aguas residuales vertidas en un sistema costero. Las variaciones en el caudal del río, influye en la capacidad de dilución y la calidad del agua en el cuerpo receptor [1] (Acevedo-Merino, Garrido-Pérez, Nebot-Sanz, & Sales-Márquez, 2005).

Este estudio no menciona específicamente el uso de agua de generación hidroeléctrica para la dilución de aguas residuales. Se centra en la dilución de efluentes a través de un emisario submarino en la costa de Sagunto [2] (Centre Internacional d'Investigació de Recursos Costaners (CIIRC), 2015). Los dos anteriores estudios exponen cómo las aguas residuales descargadas en un embalse pueden diluir y autodepurarse rápidamente, habida cuenta que existe una gran masa de agua que así lo posibilita. Sin embargo, los anteriores casos exponen la descarga

en ambientes costeros y no así desde reservorios hacia cauces fluviales.

La investigación se beneficia al considerar comparaciones sobre el estado hidrológico del sistema, por ejemplo, campañas de muestreo durante diversas épocas del año, como ser invierno lluvioso (enero), las condiciones intermedias (marzo) y la estación seca (junio). Elegir elementos específicos como el oxígeno disuelto, la DBO5 y los SST como indicadores de contaminación ambiental es un planteamiento adecuado. Además de posibilitar la aplicación de un modelo acoplado hidrodinámico y de dispersión hídrica aplicado a diferentes escenarios de contaminación utilizando el software QUAL2kw para construir un modelo de calidad del agua. Cuando los resultados de la simulación son consistentes con las observaciones de campo y demuestran que el modelo ha sido correctamente calibrado. Este hecho permite realizar estudios de viabilidad de diferentes esquemas de tratamiento y desarrollar actividades de monitoreo específicas [3] (Almeida, Albuquerque, Antunes, Ferreira, & Pelletier, 2021).

El abordaje relacionado con el reuso considera la problemática de la escasez de agua y el uso de aguas residuales no tratadas en la agricultura, lo cual representa una preocupación ambiental y de salud pública significativa. En lugar de utilizar aguas residuales no tratadas, se propone el uso de aguas residuales tratadas como una opción más aplicable y ecológica. Requiere un enfoque multidisciplinario para manejar las aguas residuales como un recurso potencial para la agricultura, incluyendo métodos eficientes de tratamiento de aguas residuales y la utilización de residuos sólidos en fertilizantes. Las tecnologías emergentes en simulación e inteligencia artificial que están revolucionando el tratamiento y reúso de aguas residuales son de gran importancia. Estas tecnologías incluyen los algoritmos de IA y aprendizaje automático se utilizan para entender y predecir el funcionamiento de las plantas de

tratamiento de aguas residuales, permitiendo tomar mejores decisiones en tiempo real. Por ejemplo, la IA puede detectar patógenos en el agua y optimizar el proceso de tratamiento. La combinación de tecnologías de simulación y optimización con IA ayuda a resolver problemas de dimensionamiento óptimo de plantas de tratamiento, mejorando la eficiencia y reduciendo costos. [4] (Kumar Kesari, y otros, 2021)

En Corea, los embalses estuarinos constituyen uno de los principales recursos hídricos para la agricultura, utilizándose generalmente para el abastecimiento de agua, garantizando al mismo tiempo un nivel adecuado. La reciente afluencia de contaminantes desde las cuencas hidrográficas está agravando los problemas de contaminación hídrica en estos embalses. Para abordar este problema, el gobierno ha implementado medidas efectivas, incluyendo el control del nivel del agua y la gestión de cuencas. Una gestión eficaz del nivel del agua en los embalses estuarinos puede reducir el impacto ambiental en la pesca de agua dulce y costera. Se puede evaluar el efecto de la operación de las compuertas de drenaje en la calidad del agua del embalse, empleando un modelo de vínculo entre cuencas hidrográficas y estuarios, el Programa de Simulación Hidrológica-Fortran, el Código de Dinámica de Fluidos Ambientales y el Programa de Simulación de Análisis de la Calidad del Agua (HSPF-EFDC-WASP), para considerar integralmente las características de las cuencas hidrográficas y los cuerpos de agua y estudiar los cambios en la calidad del agua en diferentes escenarios de gestión del nivel del agua. [5] (Sinae, y otros, 2023)

La guía titulada “Technical Guidance - Water Reuse Risk Management for Agricultural Irrigation Schemes in Europe” (Maffettone & Gawlik, 2022) proporciona recomendaciones clave para la gestión de riesgos en el reúso de aguas residuales tratadas en la agricultura. Aquí están las principales recomendaciones:

1. Desarrollo de un Plan de Gestión de Riesgos

(RMP): La guía enfatiza la importancia de establecer un RMP detallado, que incluya la identificación de peligros, evaluación de riesgos y medidas de mitigación específicas para cada etapa del proceso de reúso de agua.

2. Evaluación de la Calidad del Agua: Se recomienda realizar evaluaciones regulares de la calidad del agua residual tratada para asegurar que cumpla con los estándares de seguridad y calidad establecidos por la normativa europea
3. Monitoreo Continuo: Implementar sistemas de monitoreo continuo para detectar cualquier desviación en la calidad del agua y tomar medidas correctivas de manera oportuna
4. Capacitación y Concienciación: La guía subraya la necesidad de capacitar a todos los involucrados en el proceso de reúso de agua, incluyendo agricultores, técnicos y autoridades locales, sobre los riesgos y las mejores prácticas para minimizar dichos riesgos
5. Uso de Tecnologías Avanzadas: Se recomienda el uso de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la simulación, para optimizar los procesos de tratamiento y monitoreo del agua residual.
6. Transparencia y Comunicación: Fomentar la transparencia y la comunicación efectiva entre todas las partes interesadas, asegurando que la información sobre la calidad del agua y las medidas de gestión de riesgos esté disponible y sea comprensible para todos.
7. Estudios de Caso y Buenas Prácticas: La guía incluye estudios de caso y ejemplos de buenas prácticas de diferentes estados miembros de la UE, que pueden servir como referencia para la implementación de esquemas de reúso de agua en otras regiones.

Se han revisado los siguientes documentos sobre el reuso de aguas residuales para la irrigación de diversos cultivos:

Tabla 1. Publicaciones relacionadas a cultivos varios irrigados con aguas residuales tratadas

Código	Título Documento	Autor y Año de publicación	País y Región
[10c]	Periodic determination of physicochemical and bacteriological characteristics of wastewater effluents for possible reuse as irrigation water	J. R. Adewumi & F. O. Ajibade, 2019	Nigeria, Akure, en el campus de la Universidad Federal de Tecnología de Akure (FUTA).
[20c]	Effects of Long-Term Wastewater Irrigation on Soil Properties	Ilker Angin, A. Vahap Yaganoglu y Metin Turan, 2005	No se especifica
[30c]	Determination of Dilution Factors for Discharge of Aluminum-Containing Wastes by Public Water-Supply Treatment Facilities into Lakes and Reservoirs in Massachusetts	John A. Colman, Andrew J. Massey, & Sara B. Levin, 2011 (rev. 2016)	Estados Unidos, Massachusetts.
[40c]	The challenge of supporting and monitoring safe wastewater use in agriculture in LMIC	Pay Drechsel, James Bartram, Manzoor Qadir & Kate O. Medlicott, 2024	Enfocado en países de ingresos bajos y medios (LMIC), con ejemplos de África Subsahariana y Ghana.
[50c]	Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge	L. Alcalde-Sanz y B.M. Gawlik (2017)	Unión Europea (UE)
[60c]	Water quality in agriculture: Risks and risk mitigation	Editores: P. Drechsel, S. Marjani Zadeh y F. Pedrero Salcedo (2023)	Global
[70c]	Guidelines to structure Water Reuse Safety (Risk Management) Plans in Mediterranean countries and focus EU and Tunisia	F. Fatone, A. Foglia y A.L. Eusebi (2022)	Países mediterráneos, con enfoque en la UE y Túnez
[80c]	A review of international wastewater reuse standards and guidelines	M. Leonard, K. Russell y P. Cressey (para Te Whatu Ora, Ministerio de Salud)	Nueva Zelanda
[90c]	Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review	Farshid Shoushtarian y Masoud Negahban-Azar (2020)	Global (se investigaron más de 70 regulaciones y guías de distintos países y organizaciones)
[100c]	Treated Wastewater for Irrigated Agriculture in the Jordan Valley	Amani Alfara, 2009	Reino Hachemita de Jordania, Valle del Jordán
[110c]	Impact assessment of water-level management on water quality in an estuary reservoir using a watershed-reservoir linkage model	Sinae Kim et al., 2023	Corea del Sur
[120c]	Mitigating risks and maximizing sustainability of treated wastewater reuse for irrigation	David Yalin et al., 2023	Israel, EE. UU. y la UE (enfoque global)
[130c]	Reuse of Treated Wastewater for Crop Irrigation: Water Suitability, Fertilization Potential, and Impact on Selected Soil Physicochemical Properties	Solomon Ofori, David Kwesi Abbrese, Iveta Růžicková y Jiří Waner (2024)	República Checa
[140c]	The WHO Guidelines for Safe Wastewater Use in Agriculture: A Review of Implementation Challenges and Possible Solutions in the Global South	Pay Drechsel, Manzoor Qadir y David Galibourg (2022)	Sur Global (América Latina, África Subsahariana, Sur y Sudeste de Asia)
[150c]	Assessment of wastewater and recycled water quality: A comparison of lines of evidence from in vitro, in vivo and chemical analyses	Frederic D.L. Leusch et al., 2013	No se especifica, pero menciona "South East Queensland, Australia" en el abstract del artículo

Código	Título Documento	Autor y Año de publicación	País y Región
[16oc]	Assessment of the Water Quality of WWTPs' Effluents through the Use of Wastewater Quality Index	Ivan Benkov et al., 2024	Bulgaria
[17oc]	Assessing the Effect of Irrigation with Reclaimed Water Using Different Irrigation Techniques on Tomatoes Quality Parameters	Mahmoud S. Hashem et al., 2022	China

Las publicaciones presentadas exponen un panorama amplio de tratamiento de la temática de reuso de aguas residuales a nivel internacional, considerando diversos tópicos de análisis relacionada a la temática planteada, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tipo de agua residual, cultivos y normativa relacionada con las publicaciones de cultivos varios irrigados con aguas residuales tratadas

Código	Tipo de Agua Residual Generada	Cultivos Regados	Norma Específica
[1oc]	Municipal, generada en las residencias estudiantiles.	El estudio evalúa el agua para su posible uso en riego; la zona es apta para ñame, yuca y maíz.	Directrices de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para el reuso en riego.
[2oc]	Aguas residuales	No se especifica, se centra en las propiedades del suelo	No se menciona
[3oc]	Efluente de retrolavado de filtros de plantas de tratamiento de agua potable, conteniendo aluminio (Al).	No aplica (el estudio se centra en el cuerpo de agua receptor, no en cultivos).	Estándar crónico de la EPA de EE.UU. para aluminio en agua, fijado en 87 microgramos por litro (µg/L).
[4oc]	Aguas residuales domésticas, en su mayoría sin tratar o parcialmente tratadas, a menudo diluidas en ríos y lagos.	Principalmente hortalizas perdederas vendidas en mercados urbanos y periurbanos, como la lechuga.	Directrices de la OMS para el uso seguro de aguas residuales, comparando la edición de 1989 (basada en la calidad del agua) con la de 2006 (enfoque de múltiples barreras).
[5oc]	Aguas residuales urbanas	Forrajeros, de fibra, ornamentales y de semillas	Hacia un instrumento legal de la UE, Directiva sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas 91/271/EEC
[6oc]	Se refiere a la calidad del agua en la agricultura en general, incluyendo agua con "calidad marginal" y contaminantes.	No especificado	Directrices de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS)
[7oc]	Aguas residuales no convencionales y urbanas	No especificado	Propuesta de Reglamento (UE) 2020/741 y normativas nacionales de la UE y de otros países como Túnez
[8oc]	Aguas residuales municipales	Cultivos alimentarios que se consumen crudos, cultivos no alimentarios o alimentos procesados	WHO (2006) , ISO 16075 , ISO 20426 , Regulación UE 2020/741 , Guías Australianas (AWRG) y guías de la USEPA

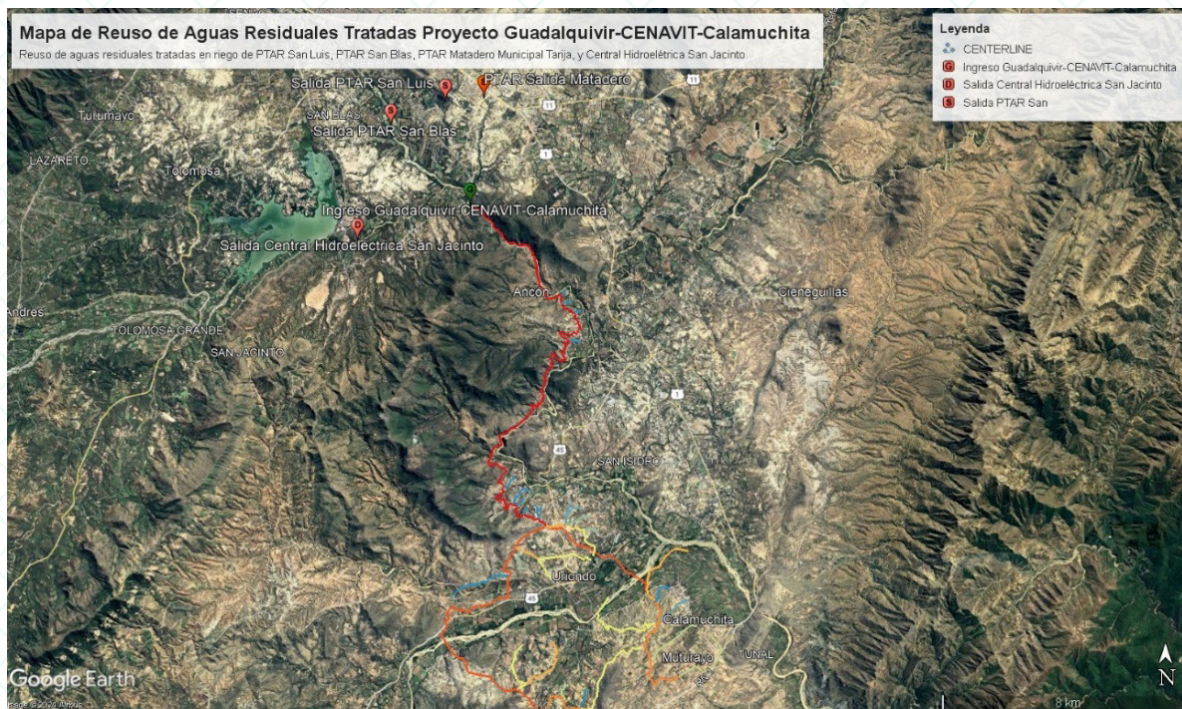
Código	Tipo de Agua Residual Generada	Cultivos Regados	Norma Específica
[9oc]	Aguas residuales	Cultivos y pasturas, incluyendo frutas, frutos secos, vegetales, algodón y granos	Se revisaron 70 regulaciones y guías de organismos como la EPA, ISO, FAO, WHO, Comisión Europea y países como EE. UU., Canadá, México, Irán, Egipto, China, entre otros
[10oc]	Aguas residuales tratadas (TWW)	Cultivos y vegetales, en particular cítricos y bananos	Las TWW en Jordania cumplen con los estándares nacionales e internacionales de calidad del agua.
[11oc]	Contaminantes provenientes de las cuencas hidrográficas	Campos de arroz (paddy fields)	No se especifica
[12oc]	Aguas residuales tratadas (TWW)	No se especifican cultivos en particular, se refiere al uso general en la agricultura.	No se especifica, pero se menciona la necesidad de campañas de concientización en la UE.
[13oc]	Aguas residuales tratadas (efluente secundario y efluente de membrana)	Zanahorias (<i>Daucus carota</i> subsp. sativus)	Organización Mundial de la Salud (OMS), Criterios de Reúso de Agua de California, Guía de Reúso de Agua de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y Regulación 2020/741 de la Unión Europea
[14oc]	Aguas residuales sin tratar, diluidas o parcialmente tratadas	No especificado en el documento	Guías de la OMS de 2006 para el uso seguro de aguas residuales en la agricultura
[15oc]	Aguas residuales y agua reciclada. El estudio se centra en la calidad del efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales (WWTP).	No aplica	No se menciona
[16oc]	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (WWTPs).	No aplica	No se menciona
[17oc]	Agua recuperada (reclaimed water).	Tomates.	No se menciona

La documentación consultada en general expone que el reúso de aguas residuales no considera necesariamente la dilución con otras fuentes de agua, debido a que el enfoque adquiere mayor atención para lograr un eficiente tratamiento del agua residual que asegure una aptitud determinada, es por tal motivo que los casos que se tratan sobre el tema son experiencias aisladas.

El principal reúso de aguas residuales del Departamento de Tarija, aprovecha las aguas del río Guadalquivir a través del proyecto “Construcción Sistema de Riego Guadalquivir-Centavit-Calamuchita”, desarrollado en Tarija, Bolivia. Está ubicado en los Municipios de Cer-

cado y Uriondo: La toma y parte del canal existente desde la central hidroeléctrica se encuentran ubicados en el Municipio de Cercado, el resto del canal, los tramos de canal, las áreas de riego y familias beneficiadas pertenecen a la Primera Sección de la Provincia Avilés, del Municipio de Uriondo. La ubicación geográfica del proyecto es de 21°42'43" – 21°37'50" de Latitud Sur y 64°37'32" – 64°41'36" de Longitud Oeste a una altitud entre 1.800 y 1.700 m.s.n.m. La cuenca Hidrográfica pertenece a la del Bermejo y a la subcuenca del río Guadalquivir y Camacho.

Figura 2. Imagen Satelital del Proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita



Fuente: Elaboración propia

El reuso de las aguas residuales tratadas que son descargadas en el río Guadalquivir, que se realiza a través del proyecto de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita sostienen una dilución de la carga contaminante cuando ingresan al sistema las aguas de generación hidroeléctrica del Proyecto Múltiple San Jacinto. Sin embargo, los horarios de uso del agua en el sistema de riego no necesariamente coinciden con los horarios de descarga de los mayores volúmenes de agua aprovecha-

bles en el sistema de riego, por tanto, la dilución deseable para su aprovechamiento probablemente no sea efectiva.

El proyecto de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita permite la irrigación de áreas de cultivo de diversos productos agrícolas entre los cuales destaca el cultivo de la vid, por lo que fue necesario revisar la documentación relativa al reuso de aguas residuales para la irrigación de cultivos de vid:

Tabla 3. Publicaciones relacionadas a cultivos de vid irrigados con aguas residuales tratadas

Código	Título Documento	Autor y Año de publicación	País y Región
[1v]	Effects of irrigation using treated wastewater on table grape vineyards: Dynamics of sodium accumulation in soil and plant	Yishai Netzer, Moshe Shenker & Amnon Schwartz, 2014	Israel, en la región de Laquis, al sur del país.
[2v]	Reuse of treated wastewater in viticulture: Can it be an alternative source of nutrient-rich water?	F. Etchebarne et al., 2019	Francia, Montpellier
[3v]	Acumulación de sodio en un suelo de viñedo después de un riego a largo plazo con aguas residuales tratadas	Yishai Netzer, M. Shenker, Amnon Schwartz (Enero 2011)	Israel

Código	Título Documento	Autor y Año de publicación	País y Región
[4v]	Nutrient Content of Vineyard Leaves after Prolonged Treated Wastewater Irrigation	Pilar Mañas Ramírez y Jorge De las Heras Ibáñez, 2023	España, Albacete
[5v]	Management of Winery Wastewater by Re-using it for Crop Irrigation - A Review	C.L. Howell y P.A. Myburgh, 2018	Sudáfrica, Provincias de Cabo Occidental y del Norte
[6v]	An Assessment of Treated Municipal Wastewater Used for Irrigation of Grapevines with Respect to Water Quality and Nutrient Load	C.L. Howell et al., 2022	Sudáfrica, Región Costera
[7v]	Evaluation of seasonal water use and crop coefficients for 'Cabernet Sauvignon' grapevines as the base for skilled regulated deficit irrigation	Sarel Munitz, Amnon Schwartz, Yishai Netzer. Marzo de 2016	Israel, región montañosa central
[8v]	Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system	Yishai Netzer, Chen Yao, Moshe Shenker y Amnon Schwartz. Publicado en Irrigation Science, 2009.	Israel, al este de la costa mediterránea
[9v]	A model for irrigation of vineyards under limited water availability	Yishai Netzer, 2010	Israel, Región de Lachish

La documentación tiene una delimitación del alcance de revisión que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4. Tipo de agua residual, cultivos y normativa relacionada con las publicaciones de cultivos de vid irrigados con aguas residuales tratadas

Código	Tipo de Agua Residual Generada	Cultivos Regados	Norma Específica
[1v]	Municipal, tratada a nivel secundario.	Uva de mesa (<i>Vitis vinifera</i> cv. Superior Seedless).	Regulaciones locales de Israel que establecen un Ratio de Adsorción de Sodio (SAR) máximo de 5 para el riego sin restricciones.
[2v]	Aguas residuales tratadas (TWW)	Viticultura (viñedos)	No se menciona
[3v]	Aguas residuales tratadas	Viñedos para uvas de mesa	No se menciona una norma específica.
[4v]	Aguas residuales tratadas	Viñedos	No se menciona
[5v]	Aguas residuales de bodegas	Viñedos y pastos	No se menciona
[6v]	Aguas residuales municipales tratadas (TMW)	Vides (uva)	Se mencionan las "General Authorisations" para la irrigación en Sudáfrica.
[7v]	No se menciona	<i>Vitis vinifera</i> 'Cabernet Sauvignon' (uva para vino)	No se menciona
[8v]	No se menciona	<i>Vitis vinifera</i> 'Superior Seedless' (uvas de mesa)	No se menciona
[9v]	Aguas residuales tratadas (TWW)	Uvas de mesa	El estudio se adhirió a las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1989 para el uso de aguas residuales, así como a las guías específicas israelíes (Halperin, 1999).

2. Materiales y método.

La investigación se ha centrado en evaluar la calidad del agua debido a la dilución por la mezcla del agua del Río Guadalquivir que recibe las descargas de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis con las aguas descargadas por la Central Hidroeléctrica del embalse San Jacinto.

Entonces se desarrolla una investigación aplicada, que busca resolver un problema en un contexto determinado, es decir busca la aplicación o utilización de conocimientos o herramientas científicas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer una necesidad concreta, proporcionando la observación de una situación del sector productivo, que contribuye directamente en el planteamiento de soluciones para el mismo.

Para evaluar el reuso de aguas residuales en un sistema de riego alimentado por aguas embalsadas y aguas residuales tratadas, es crucial considerar varias variables importantes:

- ▶ **Calidad del Agua:** Es esencial analizar la calidad del agua residual tratada para asegurar que cumple con los estándares necesarios para el riego agrícola. Esto incluye parámetros físico-químicos (pH, conductividad, nutrientes) y microbiológicos (presencia de patógenos).
- ▶ **Capacidad de Almacenamiento:** Evaluar la capacidad de los embalses para almacenar tanto el agua de lluvia como las aguas residuales tratadas. Esto afecta la disponibilidad de agua para riego durante todo el año.
- ▶ **Tiempo de dilución:** Es importante para valorar la incidencia del cambio debido a la proporción

de la mezcla, y en qué periodo de tiempo es sostenible.

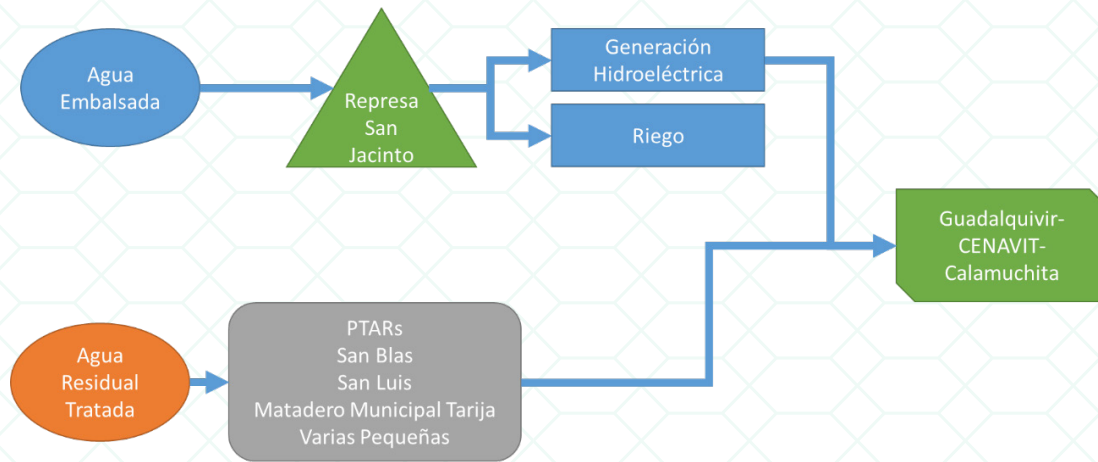
- ▶ **Impacto Ambiental:** Realizar estudios de impacto ambiental para entender cómo el reuso de aguas residuales afectará el suelo, las plantas y los cuerpos de agua cercanos. Esto incluye la evaluación de la acumulación de sales y otros contaminantes.
- ▶ **Normativas y Regulaciones:** Analizar como el reuso de aguas residuales cumple con las normativas locales e internacionales. Esto incluye límites de contaminantes y requisitos de tratamiento.

De las referencias consultadas considerando la irrigación de diversos cultivos con aguas residuales diluidas con aguas de reservorio, sus resultados se resumen en la siguiente tabla:

El sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita tiene áreas de cultivo de vid, que permiten sostener una socioeconomía dependiente de los productos brutos y derivados del cultivo, por tanto valorar experiencias relacionadas con viñedos adquiere una relevancia específica.

Para el caso del Proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita, nos enfocamos a evaluar la capacidad de almacenamiento que nos permite a su vez estimar la vida útil del embalse, y la variación de la calidad del agua debido a la dilución que se logra al mezclar las aguas residuales que contiene el Río Guadalquivir, luego de atravesar el trayecto del cauce contaminado con las aguas descargadas por la planta de tratamiento de San Luis. La siguiente figura ilustra el esquema de cómo se mezclan las aguas en su trayecto hasta llegar al punto de interés.

Figura 3. Diagrama del Proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita



Fuente: Elaboración propia

El objetivo de la presente investigación es evaluar la gestión sostenible de recursos hídricos en Bolivia, específicamente en el embalse San Jacinto y el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita, mediante el análisis de la calidad del agua, la capacidad de almacenamiento y la vida útil del embalse, así como el impacto del reúso de aguas residuales tratadas.

Para abordar tal objetivo se ha planteado la siguiente hipótesis: ¿La operación de la central hidroeléctrica y el reúso de aguas residuales tratadas mejoran la calidad del agua y es eficiente su aprovechamiento durante la vida útil del embalse San Jacinto, permitiendo una gestión más sostenible de los recursos hídricos en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita?

Entonces, se desarrolla una investigación aplicada, que busca resolver un problema en un contexto determinado, es decir busca la aplicación o utilización de conocimientos o herramientas científicas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer una necesidad concreta, proporcionando la observación de una situación del sector productivo, que contribuye directamente en el planteamiento de soluciones para el mismo. Este tipo de investigación se enfoca en resolver

problemas prácticos y específicos, utilizando conocimientos teóricos para obtener resultados que puedan ser implementados en situaciones reales. En este caso, la investigación aplicada se centra en la gestión sostenible de recursos hídricos en Bolivia, evaluando aspectos como la calidad del agua, la capacidad de almacenamiento y la vida útil del embalse San Jacinto, así como el impacto del reúso de aguas residuales tratadas en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita.

Se ha planteado un diseño del estudio de tipo descriptivo y experimental. Considerando los siguientes tópicos de análisis:

Descriptivo:

- ▶ **Objetivo:** Evaluar la gestión sostenible de recursos hídricos en el embalse San Jacinto y el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita.
- ▶ **Variables:** Calidad del agua, capacidad de almacenamiento, vida útil del embalse, impacto de la operación de la central hidroeléctrica, y reúso de aguas residuales tratadas.

- ▶ Métodos de recolección de datos: Medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, y aforos en diferentes momentos de operación de la central hidroeléctrica.

Experimental:

- ▶ Intervenciones: Evaluación del impacto de la operación de la central hidroeléctrica y el reúso de aguas residuales tratadas en la calidad del agua y la vida útil del embalse.
- ▶ Procedimientos: Realización de mediciones y análisis en diferentes momentos y condiciones operativas para observar cambios y efectos.
- ▶ Análisis de datos: Comparación de los datos recolectados para identificar patrones, tendencias y relaciones entre las variables.

Este diseño permite obtener una visión integral de la gestión de los recursos hídricos y evaluar la efectividad de las prácticas actuales, así como identificar áreas de mejora.

Para evaluar el reúso de aguas residuales en un sistema de riego alimentado por aguas embalsadas y aguas residuales tratadas, es crucial considerar varias variables importantes:

Las variables de análisis son las siguientes:

Calidad del agua:

- ▶ Parámetros físico-químicos (e.g., pH, conductividad, turbidez).
- ▶ Parámetros microbiológicos (e.g., presencia de coliformes).

Capacidad de almacenamiento:

- ▶ Volumen de agua almacenada en el embalse.
- ▶ Tasa de sedimentación anual.

Vida útil del embalse:

- ▶ Duración estimada del embalse antes de que la sedimentación afecte su funcionalidad.

Impacto de la operación de la central hidroeléctrica:

- ▶ Variaciones en la calidad del agua durante los periodos de generación de energía.

Reúso de aguas residuales tratadas:

- ▶ Eficacia del tratamiento de aguas residuales.
- ▶ Cumplimiento de los estándares de calidad del agua para riego.

Estas variables permiten evaluar de manera integral la gestión sostenible de los recursos hídricos en el área de estudio.

La metodología de análisis se enfocó en estimar la vida útil del embalse San Jacinto y evaluar su influencia en el reúso de aguas residuales tratadas como recurso hídrico en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita.

La calidad del agua que ingresa al Proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita varía a lo largo del día sustancialmente, cuando opera la Central Hidroeléctrica de San Jacinto y cuando esta no es operativa, se evaluó la calidad del agua en estos 2 momentos de operación.

Los materiales y el equipamiento que fueron utilizados para la ejecución del levantamiento topobatimétrico del embalse han sido dispuestos por el Centro de Investigación del Agua de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Para el desarrollo del presente trabajo se dividió el estudio en 6 etapas:

- ▶ Etapa 1. Recopilación, sistematización y revisión de la información de topobatimetrías del embalse San Jacinto
- ▶ Etapa 2. Revisión de la información de reúso de aguas residuales en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita

- ▶ Etapa 3. Medición de parámetros de calidad del agua en el río Guadalquivir al ingreso del sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita
- ▶ Etapa 4. Medición de caudales en el río Guadalquivir al ingreso del sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita
- ▶ Etapa 5. Estimación de la vida útil del embalse San Jacinto
- ▶ Etapa 6. Formulación de escenarios de reuso de aguas residuales tratadas del sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita

Debido a que el interés para el presente estudio es la vida útil proyectada para la generación hidroeléctrica de San Jacinto, se ha adoptado la cota mínima de operación actual igual a 1878 msnm, debido al enfoque de utilidad que se tiene para el aprovechamiento de sus aguas en el proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita.

El muestreo de agua y el aforo se realizó empleando el equipo del Centro de Investigación del Agua (CIA-GUA) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS):

- ▶ Equipo de aforo River Boat ADCP
- ▶ Equipo Multiparamétrico HANNA HI9829

Figura 4. Personal y equipo empleado en la medición



Fuente: Elaboración propia

Las muestras se analizaron en el Laboratorio del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA-UAJMS) para determinar los siguientes parámetros: Parámetros Medidos en Campo (Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura, Turbidez), Parámetros medidos en Laboratorio (Cromo hexavalente, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Dureza total, Hierro total, Fósforo total, Nitritos, Sulfatos, Zinc), y Parámetros Microbiológicos medidos en Laboratorio (Coliformes Totales, Coliformes totales). Los parámetros son correspondientes con los dispuestos por el Sistema

de Monitoreo Hídrico del Río Guadalquivir, realizado por el Servicio Departamental de Gestión Integral del Agua (SEDEGIA) del Gobierno Autónomo Departamental de Tarija, y el Gobierno Autónomo Municipal de Tarija.

Debido a que el horario de producción de energía eléctrica por la Central Hidroeléctrica de San Jacinto se realiza cada día en coincidencia con el pico del inicio de la noche, se ha coordinado con ENDE Guaracachi el horario de turbinado, para poder obtener un aforo y muestra con y sin influencia del turbinado. Conside-

rando que generalmente el horario de turbinado para generación hidroeléctrica está comprendido entre 18:00 pm y 20:00 pm, incrementando gradualmente las turbinas para atender la demanda máxima del sistema eléctrico.

Los aforos y muestreos fueron realizados en fecha 14 de junio de 2024 a horas 13:25 pm y 27 de junio de 2024 a horas 20:18 pm, siendo la última fecha y hora correspondiente con la operación de la central hidroeléctrica de San Jacinto. La diferencia temporal que se tiene entre ambos muestreos y aforos obedece a que se realizaron varios ingresos para poder configurar el ADCP principalmente para lograr su correcta geolocalización al momento de la medición, debido a la captación de la señal de satélites y la proximidad al puente durante

la medición que afecta la configuración del equipo. Sin embargo, al ser únicamente 13 días de diferencia entre las fechas en época de bajantes poco pronunciadas, en un sector que principalmente es alimentado con aguas residuales descargadas en la ciudad de Tarija, se ha considerado que no representa una limitante para su evaluación.

Finalmente, se han comparado los valores medidos en ambas fechas para observar el cambio de los valores, considerando que ambas principalmente exponen la incidencia de la operación de la central hidroeléctrica de San Jacinto en el cambio de la calidad del agua del río Guadalquivir antes de la toma de agua del proyecto de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita.

3. Resultados, análisis y/o discusión.

Realizada la revisión detallada de la documentación relacionada con el reuso de aguas residuales tratadas, se resumen a continuación las principales conclusiones y recomendaciones:

Tabla 5. Resultados y recomendaciones revisadas en las publicaciones de cultivos varios irrigados con aguas residuales tratadas

Código	Resultados Clave	Principales Recomendaciones
[10c]	<ul style="list-style-type: none"> La calidad del agua residual de las residencias universitarias superó los valores estándar de la USEPA para su reutilización en riego. El vertido indiscriminado está causando una contaminación gradual y continua de los suelos circundantes. Se estima un volumen total de aguas residuales generado de aprox. 24 m³ diarios. 	<ul style="list-style-type: none"> Prohibir el uso del agua residual para riego sin tratamiento previo. Implementar un sistema de tratamiento sostenible, como la fitorremediación (humedales construidos), para tratar adecuadamente las aguas residuales generadas.
[20c]	El estudio evalúa el efecto del riego a largo plazo con aguas residuales en las propiedades del suelo.	No se mencionan recomendaciones explícitas en el documento.
[30c]	<ul style="list-style-type: none"> La dilución en reservorios es más compleja que en ríos, ya que depende del almacenamiento de agua, la sedimentación del aluminio y la concentración natural de este. La velocidad de sedimentación del aluminio es inversamente proporcional a la concentración de carbono orgánico disuelto (DOC). La mayoría de los vertidos actuales cumplen con el estándar, pero los reservorios con alto DOC natural tienen menor capacidad de dilución. 	<ul style="list-style-type: none"> Para establecer permisos de descarga se debe usar un modelo de balance de masas que simule la concentración en el reservorio bajo diferentes condiciones. Se debe determinar un par de valores (concentración de efluente y factor de dilución) que garantice el cumplimiento del estándar bajo condiciones de bajo flujo (7DF10).

Código	Resultados Clave	Principales Recomendaciones
[4oc]	<ul style="list-style-type: none"> El reúso informal de agua no tratada domina en países de bajos ingresos, cubriendo 29 M ha y representando un riesgo para 885 millones de consumidores urbanos. El enfoque en construir plantas de tratamiento es insuficiente; es más crucial abordar la seguridad en el sector informal existente. La adopción del enfoque de “múltiples barreras” de la OMS de 2006 ha sido limitada por desafíos en el cambio de comportamiento y la falta de conciencia sobre los riesgos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar El enfoque de La construcción de plantas a La promoción de prácticas seguras en El sector informal. Usar indicadores alternativos para medir El progreso, como El porcentaje de agricultores con prácticas seguras o de hogares que desinfectan las verduras. Actualizar las directrices de La OMS para incluir lecciones sobre políticas, incentivos y cambio de comportamiento en lugar de solo microbiología y tecnología.
[5oc]	<p>Los requisitos de calidad mínimos para el reúso del agua en la agricultura y la recarga de acuíferos deben basarse en un enfoque de gestión de riesgos. Siempre se necesita tratamiento adicional para usar aguas residuales urbanas para riego agrícola.</p>	<p>Propone un enfoque de gestión de riesgos y un análisis caso por caso.</p>
[6oc]	<p>Aborda riesgos de calidad del agua por patógenos y riesgos químicos, como salinidad, boro y sodio. Destaca el concepto de múltiples barreras para la mitigación de riesgos.</p>	<p>Implementar un enfoque de múltiples barreras para la mitigación de riesgos y realizar una evaluación de riesgos que incluya la identificación de peligros y las rutas de exposición.</p>
[7oc]	<p>El documento proporciona directrices estructuradas para planes de gestión de riesgos de seguridad del reúso del agua en la región mediterránea. Identifica peligros como patógenos, metales pesados e hidrocarburos halogenados.</p>	<p>Se recomienda una evaluación del sistema, la identificación de peligros y riesgos, la verificación del control de riesgos y el desarrollo de un plan de gestión de la seguridad del agua.</p>
[8oc]	<p>El marco basado en riesgos es más flexible y contextual que los enfoques prescriptivos. El mayor riesgo para la salud humana son los patógenos, y la aplicación de múltiples barreras es ventajosa. El E. coli es un mejor indicador que los coliformes fecales en las guías más recientes.</p>	<p>Implementar medidas de control preventivas como el acceso restringido y los períodos de retención. La monitorización es crítica para asegurar la calidad y eficacia de los procesos de tratamiento.</p>
[9oc]	<p>Las regulaciones existentes se centran principalmente en la salud humana, pero son insuficientes en lo que respecta a los contaminantes emergentes. Existe una gran discrepancia entre las regulaciones y los umbrales para los parámetros de calidad del agua. El mayor riesgo para la salud es la alta concentración de huevos de nematodos.</p>	<p>Las regulaciones y guías deben incluir todos los parámetros importantes con umbrales similares para garantizar prácticas seguras de reúso del agua.</p>
[10oc]	<p>El uso de TWW aumenta considerablemente los ingresos de los agricultores. Los agricultores están dispuestos a aceptar y pagar por las TWW. La salinidad de las TWW afecta negativamente la producción de cítricos y banano.</p>	<p>Es recomendable establecer programas de extensión y precios específicos para cada sitio al introducir las TWW. Un aumento gradual en las contribuciones de los agricultores se justifica.</p>
[11oc]	<p>La diferencia en la calidad del agua fue mayor en la parte inferior del reservorio (GW1). En la parte superior (GW3), la calidad del agua mejoró con el aumento del nivel del agua. En GW1, un nivel de gestión más bajo mejoró la calidad del agua debido al aumento de la frecuencia de descarga.</p>	<p>Los resultados pueden usarse para optimizar los planes de gestión de los recursos hídricos en reservorios de estuario.</p>
[12oc]	<p>La reutilización de TWW puede afectar negativamente el suelo y la productividad si no se gestiona adecuadamente. La acumulación de contaminantes emergentes en cultivos es variable y requiere monitoreo. La irrigación con TWW aumenta la diversidad bacteriana en el suelo y reduce la fúngica.</p>	<p>Se sugiere la comunicación bidireccional entre investigadores y agricultores para abordar problemas específicos. La información detallada y creíble puede cambiar la percepción de los consumidores.</p>

Código	Resultados Clave	Principales Recomendaciones
[13oc]	La aplicación de aguas residuales tratadas (TWW) mejoró el crecimiento de las zanahorias y aumentó los niveles de nutrientes en el suelo. El efluente secundario fue inseguro para el riego debido a contaminación bacteriológica, mientras que el efluente de membrana fue seguro.	Desinfectar las aguas residuales tratadas mediante desinfección UV y ozonización para reducir el riesgo de contaminación microbiana.
[14oc]	El uso no planificado de aguas residuales en áreas urbanas y periurbanas excede ampliamente al uso planificado de aguas residuales bien tratadas. Se ha adoptado un enfoque de metas basadas en la salud, en lugar de depender solo de los niveles de tratamiento de agua.	Implementar un enfoque de múltiples barreras para la reducción de riesgos. Fomentar el cambio de comportamiento a través de marketing social y nudging para promover prácticas de seguridad. Apoyar las capacidades locales para la evaluación de riesgos cuantitativos.
[15oc]	El estudio compara los métodos de análisis químicos con los métodos in vitro e in vivo para evaluar la calidad del agua residual y reciclada. Se enfoca en identificar contaminantes y sus efectos biológicos.	No se mencionan recomendaciones explícitas.
[16oc]	El estudio busca evaluar la calidad de los efluentes de las WWTPs utilizando un índice de calidad de aguas residuales (WQI). El enfoque es un análisis de datos de múltiples variables.	No se mencionan recomendaciones explícitas.
[17oc]	Se evaluó el efecto del riego con agua recuperada utilizando diferentes técnicas de riego sobre la calidad de los tomates. El estudio se realizó en el Instituto de Investigación de Riego Agrícola de la Academia China de Ciencias Agrícolas.	No se mencionan recomendaciones explícitas.

Tabla 6. Resultados y recomendaciones revisadas en las publicaciones de cultivos de vid irrigados con aguas residuales tratadas

Código	Resultados Clave	Principales Recomendaciones
[1v]	<ul style="list-style-type: none"> - El riego con agua tratada provocó una acumulación gradual de Sodio (Na+) tanto en el suelo (aumento del SAR) como en los tejidos perennes de las vides. - Aumentar el volumen de riego en suelos arcillosos aceleró la acumulación de Na+, en lugar de lavarlo. - El rendimiento del cultivo no se vio afectado significativamente durante los 6 años del estudio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere un monitoreo continuo de la salinidad, especialmente del Na+, al regar con aguas residuales tratadas. - No se recomienda aumentar la fracción de lixiviación (más riego) en suelos arcillosos, ya que puede acelerar la sodicidad. - Se propone el análisis de la savia del xilema y de la madera del tronco como indicadores adicionales del desarrollo de la salinidad en las plantas.
[2v]	El estudio busca cuantificar la contribución del agua residual tratada a las necesidades de fertilización de la vid y evaluar su impacto en el suelo, el crecimiento vegetativo, el rendimiento y la composición del vino y el jugo de uva.	No se mencionan recomendaciones explícitas en el documento.
[3v]	El uso de aguas residuales tratadas, especialmente en grandes volúmenes, acelera la penetración de sodio y aumenta el riesgo de dañar la estructura del suelo. El experimento comparó el riego con aguas residuales y agua dulce durante nueve años.	El documento plantea la necesidad de que los agricultores examinen cuidadosamente el impacto de la calidad y el volumen del agua residual en el suelo y los cultivos. No ofrece recomendaciones específicas en el texto proporcionado.
[4v]	El estudio busca determinar si el uso de aguas residuales tratadas para el riego de viñedos influye en el contenido de nutrientes foliares.	No se menciona
[5v]	Las aguas residuales de bodegas tienen altos niveles de demanda química de oxígeno (COD), potasio (K) y sodio (Na). La aplicación a largo plazo de aguas residuales con altos niveles de K podría tener efectos negativos en la química del suelo. El documento menciona un estudio en el que las aguas residuales de bodegas fueron diluidas a 3000 mg/L.	No se mencionan recomendaciones explícitas, pero los resultados sugieren la necesidad de monitorear y gestionar los niveles de nutrientes, especialmente el potasio, al utilizar este tipo de agua residual para el riego.

Código	Resultados Clave	Principales Recomendaciones
[6v]	La calidad del TMW estaba por debajo de los criterios mínimos estipulados por la norma local. La concentración de sodio (Na) excedió el valor crítico para el riego de vides en Sudáfrica. El contenido de nitrógeno (N) no fue suficiente, mientras que las cantidades de potasio (K ⁺), calcio (Ca ²⁺) y magnesio (Mg ²⁺) fueron excesivas para los requerimientos de las vides.	El documento no presenta recomendaciones explícitas, pero sus hallazgos resaltan la importancia de monitorear y gestionar los nutrientes en el agua residual para el riego de cultivos específicos.
[7v]	<ul style="list-style-type: none"> El consumo de agua estacional (ET_c) varió entre 746 y 780 mm durante las temporadas de cultivo. Se observó una fuerte correlación lineal entre el índice de área foliar (LAI) y el coeficiente de cultivo (K_c). Los valores de ET_c y K_c fueron 20-30% más altos que los de un estudio similar en España, lo que se explica parcialmente por la mayor densidad de plantación. Se demostró que el tamaño de la canopia y las condiciones climáticas tienen un efecto pronunciado en el consumo de agua de la vid. 	La relación entre LAI y K _c es confiable y adecuada para ser usada como base en un régimen de riego regulado y hábil.
[8v]	<ul style="list-style-type: none"> El estudio midió la evapotranspiración de la canopia (ET_c) para determinar el uso de agua de las vides. Los valores de ET_c durante la temporada de crecimiento variaron entre 2.2 a 9.2 mm/día. El consumo de agua estacional total fue de 648 mm. Los coeficientes de cultivo (K_c) variaron de 0.2 a 0.75 y siguieron un patrón polinomial, diferente al patrón de campana normal visto en vides con un sistema de formación de parra vertical (VSP). El sistema de formación de parra tipo gable abierto incrementó el LAI por encima de la formación de parra tipo VSP, lo que resultó en un mayor consumo de agua. 	Los coeficientes de cultivo desarrollados son un factor crucial para el riego preciso y programado de las uvas de mesa 'Superior Seedless' en un sistema de formación de parra tipo gable abierto.
[9v]	<ul style="list-style-type: none"> El consumo de agua (ET_c) se midió entre 50.7 y 60 L/día por vid. El riego con aguas residuales tratadas provocó una acumulación significativa de sodio. Se espera que el uso de aguas residuales tratadas represente más del 50% de toda el agua utilizada en la agricultura israelí en los próximos años. 	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda el monitoreo intensivo de los parámetros del agua, el suelo y la planta para garantizar una producción sostenible. El documento sugiere que, en suelos arcillosos, una mayor cantidad de riego con TWW para lixiviar sales podría no ser una práctica efectiva, ya que se encontró que acelera la acumulación de sodio.

Es especialmente relevante el hecho constatado en las anteriores tablas, que la presente investigación expone un carácter innovador, pues no existen valoraciones de la dilución de la carga contaminante, considerando el empleo de aguas residuales tratadas y aguas embalsadas.

Cuando se contrasta con el repaso realizado por la guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura de Bolivia, se observa una situación similar con lo anteriormente expuesto, tal como se detalla a continuación:

Tabla 7. Aspectos relevantes sobre cultivos varios irrigados con aguas residuales tratadas de la guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura de Bolivia

Cultivos considerados por la guía	Tipo de aplicación de riego tolerada	Parámetros de calidad de agua permisibles (y límites)	Parámetros no permisibles para su aplicación
Cultivos que se consumen crudos: Lechugas, Perejil, Zanahorias, Apio, Achicoria, Rábanos, Repollos, Cilantro, Espinacas, Fresas. Aún cuando la guía los menciona, no se recomienda su riego con aguas residuales para consumo humano directo.	Riego por gravedad: Se utiliza en surcos y melgas, usando la fuerza de la gravedad para distribuir el agua. Requiere prácticas de manejo para evitar el contacto del agua con el producto, como sembrar en surcos anchos o camas altas.	Parámetros agronómicos: Iones tóxicos (en riego superficial): Sodio (Na): < 3 mg/L sin restricción, 3-9 mg/L restricción débil a moderada, > 9 mg/L restricción elevada. Cloruros (Cl): < 140 mg/L sin restricción, 140-350 mg/L restricción débil a moderada, > 350 mg/L restricción elevada. Boro (B): < 0.7 mg/L sin restricción, 0.7-3.0 mg/L restricción débil a moderada, > 3.0 mg/L restricción elevada	Metales pesados: Aunque no se especifica una lista de no permisibles, la guía menciona que se debe solicitar la determinación de Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc, especialmente si se sospecha de su presencia, y que se deben considerar los límites establecidos en la normativa vigente.
Cultivos de porte alto y granos: Caña de azúcar, Maíz, Arroz, Trigo, Sorgo Cultivos industriales: Algodón, Cítricos, Soya, Cártamo, Canola, Aceitunas Otros: Árboles forestales, Pastos y forrajes, Árboles frutales	Riego presurizado: Incluye el riego por aspersión y por goteo. Este método se recomienda para evitar el contacto directo del agua con el follaje o frutos, pero puede causar daño foliar en cultivos sensibles si el agua tiene altas concentraciones de sodio o cloruro, o si contiene cloro residual.	Parámetros bacteriológicos (OMS): Huevos de Helminthos (H.H./L): ≤ 1 H.H./L: se pueden regar árboles forestales, cultivos industriales, árboles frutales y pastos o forrajes. ≤ 1 H.H./L: y coliformes fecales ≤ 1000 C.F. / 100 ml: se pueden regar plantas comestibles, terrenos deportivos y parques públicos.	Patógenos: El uso de aguas residuales que no han sido tratadas adecuadamente puede producir problemas al medio ambiente y a la salud debido a los agentes patógenos y otros contaminantes que contienen.

Por otro lado, los valores estimados de la vida útil variable a lo largo del periodo de operación del embalse San Jacinto fueron determinados considerando el 15 % de reserva estratégica del volumen útil, considerando la tasa promedio de sedimentación variable en todo el periodo de operación. Para tal finalidad se ha incluido los resultados de la última topobatimetría realizada por el CIAGUA-UAJMS a requerimiento de ENDE Guaracahi en la gestión 2023, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 8. Volumen y vida útil del embalse por periodo en la región de operación comprendida entre la cota de generación hidroeléctrica 1878 msnm y el nivel de operación normal de las colchonetas inflables 1884 msnm

Año Batimetría	1989	1995	2004	2016	2019	2023
Volumen Útil (Hm ³)	29.403	27.564	27.147	27.474	26.993	26.690
Periodo análisis (años)		6	15	27	30	34
Volumen Sedimentado Interperiodo (Hm ³)		1.838	0.418	0.154	0.303	2.167
Volumen Sedimentado Acumulado (m ³)		1.838	2.256	2.410	2.712	4.879
Tasa sedimentación anual promedio (m ³ /año)		0.306	0.150	0.089	0.090	0.144
Vida Útil (años)		13	27	45	44	26

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla expone los valores resultantes de los parámetros de calidad de agua medidos y el aforo realizado en las fechas y horarios de referencia, y su correlación con la clase de agua observada en el cuerpo receptor representado por el Río Guadalquivir:

Tabla 9. Variación de la concentración de parámetros de calidad de agua inmediatamente aguas arriba de la obra de toma del proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita durante la generación hidroeléctrica de San Jacinto

N°	Parámetro	Resultados				Unidad	Técnica Empleada	% Cambio FI/FF
		27/6/2024	Clase	14/6/2024	Clase			
Parámetros Medidos en Campo								
1	Conductividad eléctrica	87		197.3		uS/cm	Potenciométrico	-55.90%
2	Oxígeno Disuelto	9.2	D	5.3	D	mg/L	Potenciométrico	73.58%
3	pH	6.77	D	7.71	D		Potenciométrico	-12.19%
4	Temperatura	17.39		17		°C	Termometría	2.29%
5	Turbidez	6.5	A	12.4	B	UNT	Nefelometría	-47.58%
Parámetros medidos en Laboratorio								
6	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	10	C	32	C	mg/L	Fotometría	-68.75%
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2.7	B	14.2	C	mg/L	Manometría	-80.99%
8	Fósforo total (c/P)	0.2		1.01		mg/L	Espectrofotometría	-80.20%
9	Fósforos totales	0.42	B	3.3	C	mg/L	Fotometría	-87.27%
10	Grasas y Aceites	23.5	D	36	D	mg/L	Gravimetría	-34.72%
11	Nitrógeno total (c/N)	2.14	A	10	A	mg/L	Volumetría	-78.60%
12	Nitrógeno Amoniacal (c/NH3)	1	C	6.18	D	mg/L	Volumetría	-83.82%
13	Sólidos suspendidos totales	16.5		7		mg/L	Gravimetría	135.71%

N°	Parámetro	Resultados				Unidad	Técnica Empleada	% Cambio FI/FF
		27/6/2024	Clase	14/6/2024	Clase			
14	Sólidos Volátiles	0.03		0.05		mg/L	Gravimetría	-40.00%
15	Cromo total	<0,002		2,8x10-3		mg/L	Espectrofotometría de AA	
16	Sulfuros	<1	C	<1	C	mg/L	Volumetría	
17	Hierro	0.05	A	0.045	A	mg/L	Fotometría	11.11%
Parámetros Microbiológicos medidos en Laboratorio								
18	Coliformes Totales	4.30E+04	C	7.50E+04	D	NMP/100	Tubos múltiples	-42.67%
19	Coliformes Fecales	2.30E+04		4.30E+04		NMP/100	Tubos múltiples	-46.51%
Aforo medido en campo								
20	Caudal	17344.0		3129.0		L/s	ADCP	454.30%

Fuente: Elaboración propia

En la anterior tabla la columna denominada % Cambio FI/FF se ha determinado su valor calculando la diferencia del parámetro entre la fecha final (FF: 27/06/2024) y la fecha inicial (FI: 14/06/2024) expresado como porcentaje respecto del valor del parámetro de la fecha inicial. Cuando el valor es positivo indica que ha aumentado el valor desde la fecha inicial hasta la final y

contrariamente a lo indicado cuando el valor es negativo.

El estudio de la dilución de la carga contaminante por la mezcla de aguas residuales del río Guadalquivir y del embalse San Jacinto en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita se puede sintetizar en la siguiente tabla:

Tabla 9. Síntesis de resultados de la investigación realizada sobre el reuso de aguas residuales tratadas en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita

Documento	País y Región	Tipo de Agua Residual Generada	Fuente del Agua en el Reservorio	Tiempo Diario Promedio de Dilución	Vida Útil del Reservorio	Norma Específica	Resultados Clave
Dilución de la carga contaminante de la reutilización de aguas residuales en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita	Bolivia, Tarija	Aguas residuales urbanas	Agua de río	2 horas diarias	26 años	Ley 1333	Reducción del 81% de DBO, 69% de DQO, 73% de oxígeno disuelto; incremento del 454% del caudal

Comparando los resultados de las investigaciones consultadas, se puede sintetizar en la siguiente tabla que resume los aspectos clave de cada estudio:

Tabla 10. Resultados relevantes del monitoreo realizado en 2 etapas de operación del proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita respecto del reuso de aguas residuales tratadas

Documento	Resultados Clave
Dilución de la carga contaminante de la reutilización de aguas residuales en el sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita	Reducción del 81% de DBO, 69% de DQO, 73% de oxígeno disuelto; incremento del 454% del caudal

La comparación de resultados expone los siguientes aspectos de relevancia:

Incremento del Caudal Final:

- ▶ En el estudio de Bolivia, el caudal aumentó un 454% durante la generación hidroeléctrica.

Reducción de Parámetros de Calidad del Agua:

- ▶ En Bolivia, se observó una reducción significativa en DBO (81%), DQO (69%), y otros parámetros como fósforo total, fosfato total, nitrógeno total y nitrógeno amoniacal (alrededor del 80%).

Vida Útil del Reservorio:

- ▶ En Bolivia, la vida útil del embalse San Jacinto se estima entre 26 y 31 años.

Normas Específicas:

- ▶ En Bolivia, se sigue la Ley 1333.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Si bien el reuso de aguas residuales fue atendido a nivel global, mediante casos específicos de atención de la temática, no se ha encontrado una acción desarrollada para lograr la dilación de la carga contaminante mezclando una fuente de agua superficial con el agua residual tratada de origen doméstico. Este hecho es debido a que principalmente los esfuerzos globales consideran necesario mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales para que la misma adquiera la aptitud adecuada de empleo en la actividad agrícola.

La guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura de Bolivia es de carácter incipiente, y es necesario realizar su actualización constantemente.

La sedimentación actual del embalse San Jacinto que puede afectar su vida útil considerando un volumen de reserva estratégica equivalente al 15 % del volumen útil, establece un periodo de vida útil desde la última batimetría del año 2023 igual a 26 años, considerando una tasa de sedimentación anual de 0.144 Hm³ en la región de operación comprendida entre la cota mínima de generación hidroeléctrica 1878 msnm y el nivel de operación normal de las colchonetas inflables 1884 msnm.

Este periodo de vida útil en promedio es igual a 31 años y es variable según las deposiciones registradas en el embalse, como se observa en la Tabla 1, sin embargo, representa un indicador importante para el proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita dada su dependencia del sistema de generación hidroeléctrica de San Jacinto. Este valor en sí representa que aún no es un riesgo previsible en el corto y mediano plazo para el proyecto, dada la alta variabilidad en el tiempo expone que es una necesidad monitorear frecuentemente la sedimentación en el embalse San Jacinto.

En cuanto a la calidad del agua que alimenta al proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita, su variabilidad depende principalmente de la configuración de uso de las turbinas y generadores, y del horario de operación de la Central Hidroeléctrica de San Jacinto. Es decir, la calidad del agua solo se ve significativamente modificada cuando está operando la generación hidroeléctrica, que en el momento del aforo y muestreo realizado sostuvo un horario de 18:00 pm a 20:00 pm,

es decir, únicamente 2 horas del día que no necesariamente coincide con un horario de riego habitual que empleen los comunarios que hacen reuso del agua para actividades agrícolas.

La calidad del agua del Río Guadalquivir al ingreso de la toma del proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita se ha registrado en 2 momentos de operación de la Central Hidroeléctrica, cuando no genera y en su máxima capacidad de generación hidroeléctrica. El caudal registrado en esos 2 momentos muestra un incremento del 454 %, es decir, cuatro veces y media más. Se observa que en el momento de máxima generación se puede esperar una reducción de hasta el 81 % del DBO y del 69 % del DQO, y consecuentemente un incremento del 73 % del oxígeno disuelto en el agua.

Los parámetros que principalmente han visto afectados sus valores de concentración con reducciones próximas al 80 % son el Fósforo total, Fosfato total, Nitrógeno total y Nitrógeno amoniacal. Los parámetros que han tenido una reducción en sus concentraciones cercana al 40 % son: Conductividad eléctrica, pH (aunque más alejado con un 10 % aproximadamente), Turbidez, Grasas y aceites, Sólidos volátiles, Coliformes totales y Coliformes fecales. Estos valores es probable que se deba a la descarga de aguas residuales en el embalse principalmente por las cabañas dispuestas en las inmediaciones de la represa, como así también de las viviendas ubicadas alrededor del lago.

El incremento del 135 % de la concentración de Sólidos suspendidos totales expone la importancia de la Central Hidroeléctrica en el lavado de los sedimentos de menor diámetro.

Es importante observar que, a pesar de haber un incremento significativo del caudal, elevándose de 3129 l/s a 17344 l/s, el cambio en la calidad del agua no ha permitido mejorar su calidad significativamente, encontrándose la mayoría de los parámetros de calidad del agua en la Clase "C" y "D" del reglamento ambiental

en contaminación hídrica de la Ley 1333. Lo que también establece también que no es apta para actividades de riego.

Lo último planteado establece cuestiones importantes a ser abordadas para asegurar una calidad del agua apta para su uso en el proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita:

- ▶ Es necesario que el tratamiento de aguas residuales sea tal que brinde la mayor eficiencia en la disminución de la carga contaminante, por tanto, es importante que se construyan sistemas de tratamiento de aguas residuales aguas arriba que aseguren un agua de una calidad adecuada.
- ▶ Es necesario monitorear el proyecto Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita para evaluar el uso del agua en las actividades agrícolas, y determinar su impacto en la cadena de producción considerando suelo, cultivos, y regantes, para asegurar un entorno saludable de producción y de oferta al mercado de consumo.

Para lograr este propósito en un contexto de cambio climático, es necesario realizar los esfuerzos necesarios para lograr implementar una gestión integrada de recursos hídricos que asegure la cantidad y calidad del agua necesaria para la subsistencia del sistema de riego Guadalquivir-CENAVIT-Calamuchita.

Por último, se repite la importancia crucial de mejorar el tratamiento de aguas residuales y monitorear continuamente la calidad del agua para asegurar su aptitud para riego en ambos contextos.

5. Referencias.

- ▶ Adewumi, J. R., & Ajibade, F. O. (2019). Periodic determination of physicochemical and bacteriological characteristics of wastewater effluents for possible reuse as irrigation water. *Journal of Agricultural Engineering and Technology (JAET)*, 24(1), 16–29.

- ▶ Angin, I., Yaganoglu, A. V., & Turan, M. (2005). Effects of Long-Term Wastewater Irrigation on Soil Properties. *Journal of Central European Agriculture*, 6(2), 241–248.
- ▶ Drechsel, P., Bartram, J., Qadir, M., & Medlicott, K. O. (2024). The challenge of supporting and monitoring safe wastewater use in agriculture in LMIC. *Waterlines*, 43(1), 1–11. <https://doi.org/10.3362/1756-3488.2024.004>
- ▶ Etchebarne, F., Maeght, J. L., Coustumer, P. L., & Bories, C. (2019). Reclaimed wastewater in viticulture: Can it be an alternative source of nutrient-rich water? *Science of The Total Environment*, 649, 1373–1385. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.307>
- ▶ Howell, C. L., & Myburgh, P. A. (2018). Management of Winery Wastewater by Re-using it for Crop Irrigation—A Review. *Water*, 10(7), 903. <https://doi.org/10.3390/w10070903>
- ▶ Howell, C. L., Myburgh, P. A., Tredoux, G., & Dladla, K. (2022). An Assessment of Treated Municipal Wastewater Used for Irrigation of Grapevines with Respect to Water Quality and Nutrient Load. *Water*, 14(20), 3236. <https://doi.org/10.3390/w14203236>
- ▶ Mañas Ramírez, P., & de las Heras Ibáñez, J. (2023). Nutrient Content of Vineyard Leaves after Prolonged Treated Wastewater Irrigation. *Plants*, 12(15), 2736. <https://doi.org/10.3390/plants12152736>
- ▶ Munitz, S., Schwartz, A., & Netzer, Y. (2016). Evaluation of seasonal water use and crop coefficients for 'Cabernet Sauvignon' grapevines as the base for skilled regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 166, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.011>
- ▶ Netzer, Y., Shenker, M., & Schwartz, A. (2011). Sodium accumulation in a vineyard soil after long-term irrigation with treated wastewater. *Agricultural Water Management*, 98(11), 1730–1735. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.06.009>
- ▶ Netzer, Y., Yao, C., Shenker, M., & Schwartz, A. (2009). Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. *Irrigation Science*, 27(5), 441–449. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0164-1>
- ▶ Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCormick, P. G., Drechsel, P., Bahri, A., & Minhas, P. S. (2010). The challenges of wastewater irrigation in developing countries and the need for new paradigms. *Agricultural Water Management*, 97(4), 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.11.006>
- ▶ Razzaghi, M., Akbari, K. E., & Abasi, F. (2018). The effect of wastewater irrigation on the physical and chemical properties of a sandy-loam soil. *Journal of Water and Soil Science*, 21(79), 163–175.
- ▶ Schwartz, A., Netzer, Y., & Shenker, M. (2012). Long-term irrigation of grapevines with treated municipal wastewater. *Irrigation Science*, 30(4), 311–321. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0294-8>
- ▶ Venkatesh, G., & Kumar, S. (2019). Wastewater treatment technologies for reuse in agriculture: A review. *Journal of Environmental Management*, 241, 178–190. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.001>
- ▶ Alcalde-Sanz, L., & Gawlik, B. M. (2017). Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge (JRC Science for Policy Report). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/97738>
- ▶ Colman, J. A., Massey, A. J., & Levin, S. B. (2016).

Determination of Dilution Factors for Discharge of Aluminum-Containing Wastes by Public Water-Supply Treatment Facilities into Lakes and Reservoirs in Massachusetts (Scientific Investigations Report 2011-5100). U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/sir/2011/5100/>

- ▶ Drechsel, P., Qadir, M., & Wichelns, D. (Eds.). (2015). *Wastewater: The business for cities?* (FAO Water Reports 40). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/a-i4864e.pdf>
- ▶ Drechsel, P., Zadeh, S. M., & Salcedo, F. P. (Eds.). (2023). *Water quality in agriculture: Risks and risk mitigation* (FAO Irrigation and Drainage Paper 66). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/cc6238en/cc6238en.pdf>
- ▶ Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *Guidelines for Water Reuse*. Environmental Protection Agency.
- ▶ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *Wastewater treatment and reuse in agriculture: An integrated approach to sustainability*. FAO. <https://www.fao.org/3/a-i7348e.pdf>
- ▶ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) 2020*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7654en>
- ▶ International Organization for Standardization (ISO). (2016). *ISO 20432:2016. Water reuse in urban areas—Guidelines for water reuse system design*. ISO. <https://www.iso.org/standard/67975.html>
- ▶ Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2021). *Guidelines to structure Water Reuse Safety (Risk Management) Plans in Mediterranean countries and focus EU and MENA Region*. PNUMA.
- ▶ The World Bank. (2016). *Water Scarce Countries and Irrigation Systems*. The World Bank.
- ▶ The World Bank. (2018). *Irrigation, Water and Food Security in the Context of Climate Change*. The World Bank.
- ▶ The World Bank. (2021). *Innovations in agricultural water use: Water quality and water management*. The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/60a2b0c3-9878-577c-a496-c14f3b76a086/content>
- ▶ Acevedo-Merino, A., Garrido-Pérez, C., Nebot-Sanz, E., & Sales-Márquez, D. (2005). Fenómenos de dilución y autodepuración de un vertido de aguas residuales urbanas en un ecosistema litoral: El caso del estuario del Río Iro (suroeste de España). *Ciencias marinas*, 31(1b), http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802005000200009&lng=es&tlng=es, 221-230. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802005000200009&lng=es&tlng=es
- ▶ Almeida, P., Albuquerque, T., Antunes, M., Ferreira, A., & Pelletier, G. (2021). Effects of Wastewater Treatment Plant's Discharges on a Freshwater Ecosystem—a Case Study on the Ramalhoso River (Portugal). *Water Air Soil Pollut*, <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05131-1>, 1-11.
- ▶ Biblioteca Virtual de la Cooperación Alemana (BIVICA). (01 de 11 de 2010). *Inventario Nacional de Presas Bolivia 2010*. Obtenido de <https://bivica.org/file/view/id/2334>

- ▶ Biblioteca Virtual de la Cooperación Alemana (BIVICA). (01 de 10 de 2013). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales*. Obtenido de <https://www.bivica.org/file/view/id/256>
- ▶ Biblioteca Virtual de la Cooperación Alemana (BIVICA). (01 de 11 de 2018). *Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura*. Obtenido de <https://www.bivica.org/file/view/id/5508>
- ▶ Centre Internacional d'Investigació de Recursos Costaners (CIIRC). (01 de 10 de 2015). *Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. Obtenido de Estudio de dilución del vertido de aguas residuales procedente del futuro emisario de Sagunto: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100255/Estudio+de+diluci%C3%B3n+del+futuro+emisario+de+Sagunto.pdf>
- ▶ Diego J. Rodríguez, S. H., Delgado, A., Nolasco, D., & Saliel, G. (19 de 03 de 2020). *Banco Mundial*. Obtenido de De residuo a recurso - Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823SP.pdf?_gl=1*o7qk6h*_gcl_au*MTAzODg2NjQzNy4xNzI1OTIwNTI1
- ▶ Domínguez-Montero, L. E., Poggi-Varaldo, H. M., Cañizares-Villanueva, R. O., Padilla Viveros, A. A., Rinderknecht-Seijas, N., Caffarel-Méndez, S., & Cruz-Burelo, E. d. (11 de octubre de 2024). Regulaciones para la descarga de aguas residuales de México: comparación con otros países y su cumplimiento en plantas de tratamiento seleccionadas. *Revista internacional de contaminación ambiental. Volumen 40*, Epub 11 de octubre de 2024. <https://doi.org/10.20937/rica.54362>. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992024000100121
- ▶ Fundación Chile; Gobierno Regional de Valparaíso. (20 de 08 de 2024). *Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso*. Obtenido de Aguas residuales como nueva fuente de agua: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/12/aguas-residuales-como-fuente-de-agua.pdf>
- ▶ Kumar Kesari, K., Soni, R., Sajid Jamal, Q. M., Tripathi, P., Lal, J. A., Kumar Jha, N., . . . Ruokolainen, J. (2021). Wastewater Treatment and Reuse: a Review of its Applications and Health Implications. *Water Air Soil Pollut*, <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05154-8>, 1-28.
- ▶ Maffettone, R., & Gawlik, B. (2022). *Joint Research Centre (JRC)*. Italy: Luxembourg: Publications Office of the European Union. Obtenido de JRC Technical Report.
- ▶ Martín Carrasco, F. J., Garrote de Marcos, L. M., & Granados García, A. (01 de Abril de 2006). *ingeniería Civil CEDEX*. Obtenido de Determinación de niveles de explotación de embalses para compatibilizar la gestión de avenidas y sequías: <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2267#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20permite%20compatibilizar%20la%20protecci%C3%B3n%20frente%20a,reservas%20y%20volumen%20de%20reserva%20adicional%20o%20estrat%C3%A9gica>.
- ▶ Perales Avilés, M., Soria, F., & Saavedra, O. (01 de 04 de 2023). *Análisis multitemporal y espacial del sedimento depositado en el embalse San Jacinto*. Obtenido de Tecnología y ciencias del agua: https://www.researchgate.net/publication/370143744_Analisis_multitemporal_y_espacial_del_sedimento_depositado_en_el_embalse_San_Jacinto/citation/download

- ▶ Sinae, K., Seokhyeon, K., Soonho, H., Hyunji, L., Jihye, K., Jung-Hun, S., ... Moon-Seong, K. (2023). Impact assessment of water-level management on water quality in an. *Agricultural Water Management, Volume 280*, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108234>, 1-15.

▶ Vicepresidencia Tercera del Gobierno de España; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (20 de 08 de 2024). *Evaluación de los recursos hídricos*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos.html>
- ▶ Vicepresidencia Tercera del Gobierno de España; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (20 de 08 de 2024). Reutilización de las aguas. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/reutilizacion-aguas-depuradas.html>