

2025

— REPORTE —

CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA

- 2 JULIO 2025 -

REPORTE DEL PRIMER SIMPOSIO DE CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA

— REPORTE —

CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA



**REPORTE DEL PRIMER SIMPOSIO DE
CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA**

- 2 JULIO 2025 -

ACHIPIA



Autora:

Constanza Avello L.,

Editores:

Manuel Miranda; Paula Rodas; Gustavo Sotomayor.

Diagramación:

Nilsson Carvallo E., Diseñador Gráfico Digital
Área de Comunicación de Riesgos Alimentarios de ACHIPIA.

Imágenes:

freepik.es / IA

**Agencia Chilena para la Inocuidad y Calidad Alimentaria (ACHIPIA)
Ministerio de Agricultura**

Calle Nueva York 17, piso 4, Santiago, Chile. - (56) 2 27979900



Reporte del Primer Simposio de Calidad de Agua de Uso Agrícola © 2025 by ACHIPIA es publicado bajo licencia de Creative Commons Attribution-NonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> Cita sugerida: Avello Lefno, C. (Diciembre 2025). Reporte del Primer Simposio de Calidad de Agua de Uso Agrícola. ACHIPIA. Santiago, Chile. Disponible en <https://www.achipia.gob.cl/estudios-y-reportes/>

Santiago, Chile, Noviembre 2025.

CONTENIDOS

- 7 Contexto y Propósito**
- 8 Objetivos**
- 9 Organizadores**
- 10 Agradecimientos**
- 11 Resumen Ejecutivo del Evento**
- 12 Expositores**
- 17 Enfoque del Primer Simposio de Calidad de Agua de Uso Agrícola: Análisis de Riesgo.**
- 19 Bloque Introductorio**
- 21 Bloque Evaluación de Riesgos**
- 23 Bloque Gestión de Riesgos**
- 26 Mesa de Discusión:**
¿Cómo avanzar en la coordinación público-privada para el abordaje de la calidad de agua de uso agrícola en el marco del análisis de riesgo?.
- 29 Resúmenes Científicos**
- 43 Anexos**



CONTEXTO Y PROPÓSITO

Chile enfrenta uno de los déficits hídricos más prolongados de su historia, con graves consecuencias para la disponibilidad y calidad del agua. El cambio climático ha intensificado este desafío, alterando los patrones de lluvia y reduciendo significativamente los caudales en zonas clave para la agricultura.

Como principal usuario de los recursos hídricos, el sector agrícola depende críticamente de agua en cantidad y calidad adecuadas. Sin embargo, la creciente escasez ha aumentado la probabilidad que se generen preocupantes situaciones de contaminación microbiológica y presencia de sustancias nocivas en fuentes de riego, lo que representa un riesgo directo para la inocuidad de los alimentos y la salud pública. Esta realidad exige un abordaje institucional sistémico, integral y de carácter preventivo multisectorial.

ACHIPIA, junto a actores del fomento productivo y la academia, ha impulsado iniciativas claves para garantizar la inocuidad del agua en la agricultura, destacando estudios técnicos como la evaluación de riesgos en la reutilización de aguas domiciliarias para riego hortícola, junto con la implementación de metodologías que permiten a pequeños agricultores gestionar proactivamente los riesgos asociados al agua y los cultivos. Asimismo, ha fomentado la articulación multisectorial mediante la creación del Programa Nacional Integrado de Calidad de Agua, plataforma que reúne a actores del sector público, privado y académico.

Con el propósito de seguir promoviendo la articulación multisectorial, este simposio surge como plataforma estratégica para articular a actores clave de los diversos sectores, con el objetivo de desarrollar acciones coordinadas que garanticen la inocuidad del agua de riego en el marco de los elementos de la metodología del Análisis de Riesgo, previamente definidos por FAO/OMS. Esto resulta fundamental tanto para asegurar la calidad de nuestra producción hortofrutícola de consumo interno como para mantener los altos estándares requeridos por los mercados de exportación, y también para proteger la salud de la población.

OBJETIVOS DEL SIMPOSIO

OBJETIVO GENERAL



Presentar el estado del arte en calidad de agua de uso agrícola y sus impactos en la producción de alimentos y salud pública, promoviendo un enfoque colaborativo multisectorial.

OBJETIVO ESPECÍFICOS



CONVOCAR a actores clave del Estado, sector productivo y academia para identificar problemas asociados a la calidad del agua de riego.



GENERAR un espacio de discusión que favorezca el intercambio de conocimientos y trabajo colaborativo en el tema de la calidad del agua de riego.



PROMOVER la adopción del Análisis de Riesgo como herramienta metodológica para la gestión institucional de la calidad del agua de riego.



ESTABLECER mecanismos de monitoreo y seguimiento para la correcta aplicación de soluciones para la calidad del agua de riego.



ORGANIZADORES

COMITÉ ORGANIZADOR

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. ACHIPIA | Agencia Chilena para la Inocuidad y Calidad Alimentaria |
| 2. CECTA USACH | Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Santiago de Chile |
| 3. ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias |
| 4. INDAP | Instituto de Desarrollo Agropecuario |
| 5. CNR | Comisión Nacional de Riego |
| 6. CORFO | Corporación de Fomento de la Producción |
| 7. Chilealimentos | Asociación de Empresas de Alimentos de Chile A.G. |
| 8. HORTACH | Asociación Gremial de Hortaliceros de Chile. |

PATROCINA

- | | |
|----------------|--|
| 9. ANID | Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Conocimientos. |
|----------------|--|

COLABORAN

- | | |
|---------------------------|--|
| 10. IICA | Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura |
| 11. UNL | Universidad de Nebraska-Lincoln |
| 12. Water for Food | The Daugherty Water for Food Global Institute at the University of Nebraska. |

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Santiago de Chile (USACH) por la disposición de sus instalaciones, especialmente el Salón de Honor de Casa Central, donde se desarrolló este simposio.

Extendemos nuestro reconocimiento al Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA) por su apoyo a la organización y logística, en particular a los académicos José Luis Palacios y Adens González, cuya colaboración fue fundamental para la realización de este encuentro.



RESUMEN EJECUTIVO

El Primer Simposio de Agua de Uso Agrícola se desarrolló el día 2 de julio en el Salón de Honor de la Casa Central de USACH. Contó con la participación de más de 100 asistentes de manera presencial, y fue transmitido por streaming a través del canal de Youtube de la Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Creación (VIIC) de USACH.

El evento contó con las palabras de bienvenida del Dr. Alberto Monsalve, Vicerrector de Investigación, Innovación y Creación de USACH, el Secretario Ejecutivo de ACHIPIA Sr. Diego Varela y saludo virtual del Subsecretario de Agricultura, Sr. Alan Espinoza.

El simposio creó un espacio único para el intercambio de información entre investigadores y gestores de riesgo. Expusieron trece profesionales provenientes del sector público, privado y la academia que son parte del sistema de calidad de agua de uso agrícola.

El evento además fue un espacio para que centros de investigación presentaran sus investigaciones que fueron categorizadas bajo tres temáticas:

1. CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA

(microbiológica y/o química) y contaminantes emergentes en fuentes de aguas superficiales, profundas o fuentes de agua no convencionales.

2. TRATAMIENTOS DE AGUA DE USO AGRÍCOLA

(en especial aplicables a pequeña escala) y reutilización de aguas para fines agrícolas (aguas residuales domiciliarias, aguas lluvias, entre otros).

3. CAMBIO CLIMÁTICO

Impacto en la calidad del agua.

Los resultados del simposio podrán contribuir al fortalecimiento del actual sistema de gestión de la calidad de los recursos hídricos utilizados para la agricultura de nuestro país, evidenciando brechas y futuros trabajos y la coordinación entre los diversos sectores involucrados.

EXPOSITORES



Leonardo Farías

Instituto de Salud Pública, ISP

Bioquímico (USACH). Profesional del área de Microbiología de Alimentos y Ambiente del ISP desde 2011. Previamente trabajó en el laboratorio ambiental de la SEREMI de Salud Metropolitana. Responsable de análisis microbiológicos en programas de vigilancia, estudios de brotes y proyectos de investigación. Encargado de capacitación y apoyo técnico a la red nacional de laboratorios de salud pública en temas microbiológicos y de calidad.



Cristián Muñoz

Hortach

Empresario exportador hortofrutícola con más de 30 años de experiencia en producción y exportación de frutas y hortalizas hacia EE. UU., Canadá, Europa y Asia. Gerente general y socio mayoritario de Hortofrutícola Sudamericana Ltda. y Agrocomercial del Sur Ltda. Egresado de INACAP, con estudios en finanzas (UAI) y título de contador general. Ha presidido HORTACH A.G. y el Consejo de la Sociedad Civil del SAG. Actualmente lidera el Instituto Pensar Agro Chile. Destaca por el impulso de cultivos innovadores, prácticas agrícolas sostenibles y uso eficiente del recurso hídrico.



Bing Wang

University of Nebraska-Lincoln

Ph.D. en análisis de riesgos para la salud humana, especializada en inocuidad alimentaria microbiana y química. Profesora Asociada en la University of Nebraska-Lincoln (USA). Su investigación se centra en epidemiología, metaanálisis, microbiología predictiva y evaluación cuantitativa de riesgos para optimizar la producción y procesamiento de alimentos. Asesora experta de JEMRA (FAO/OMS) y consultora de FAO. Exmiembro del Comité Asesor Nacional sobre Criterios Microbiológicos de Alimentos de EE. UU. (NACMCF).



José Palacios

CECTA, Universidad de Santiago de Chile

Bioquímico (UACH), Doctor en Ciencias Biológicas (PUC) y MBA (USACH). Más de 20 años de experiencia en laboratorios de servicios e investigación. Se ha desempeñado en Ariztía (control de calidad), Biosigma (biominería) y, desde 2009, en CECTA-USACH, donde ha sido director y actualmente es subdirector. Su labor se centra en proyectos y consultorías de I+D con impacto público y privado, orientados a soluciones transferibles para la cadena agroalimentaria.



Ricardo Figueroa

Universidad de Concepción / COTH₂O

Biólogo (UdeC) y Doctor en Ciencias Biológicas (U. De Málaga, España). Investigador en la Facultad de Ciencias Ambientales y el Centro EULA-Chile, y asociado al Centro CRHIAM. Su trabajo aborda gestión y calidad del agua, recursos hídricos y medioambiente. Miembro del Consorcio Tecnológico del Agua (COTH₂O).



Constanza Avello

Agencia Chilena para la Inocuidad y Calidad Alimentaria, ACHIPIA

Médico Veterinaria (UCH) y Magíster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (University of Nebraska–Lincoln, USA). Asesora en evaluación de riesgos microbiológicos en ACHIPIA, donde también lidera iniciativas de divulgación científica. Su experiencia incluye evaluación de riesgos en el uso de agua en producción primaria, colaboración con FAO y docencia en programas de pre y posgrado. Ha desarrollado estudios sobre contaminantes emergentes, cambio climático e inocuidad alimentaria, con énfasis en análisis de riesgo y comunicación científica.



Gladys Vidal

CRHIAM, Universidad de Concepción

Ingeniera Civil Industrial en Agroindustria (UFRO) y Doctora en Ciencias Químicas (Universidad de Santiago de Compostela). Profesora Titular de la Universidad de Concepción. Directora del Centro CRHIAM-ANID y de la División de Cambio Climático de AIDIS Chile. Ha liderado más de 50 proyectos internacionales y 50 nacionales, publicado más de 180 artículos indexados y editado 17 libros. Forma parte de comités editoriales internacionales y del Consejo Nacional para la Sustentabilidad y el Cambio Climático. Reconocida en 2025 en el ranking mundial de Research.com en Ciencias Ambientales.



Lorena Galarce

Agencia Chilena para la Inocuidad y Calidad Alimentaria, ACHIPIA

Médico Veterinaria (UCT), Magíster en Ciencias Veterinarias y Pecuarias, mención Medicina Preventiva (UCH) y diplomada en Epidemiología Veterinaria Aplicada. Con experiencia en SAG y Sernapesca en fiscalización de normas de inocuidad. Desde 2023 asesora a ACHIPIA en asuntos regulatorios, coordinando a los servicios públicos del Sistema Nacional Integrado de Calidad Alimentaria (SNICA) en propuestas normativas.



Jorge Silva

Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP

Ingeniero Civil Agrícola (UdeC). Jefe Nacional del Departamento de Agua, Riego y Energía de INDAP. Más de 20 años de experiencia en gestión hídrica, energía y saneamiento rural. Ha liderado proyectos en riego, hidráulica y obras sanitarias, promoviendo soluciones sostenibles y tecnologías limpias para fortalecer la agricultura familiar campesina.



Moisés Leiva

ChileAlimentos

Ingeniero en Alimentos (ULS) y Magister en Ciencias de los Alimentos (UCH). Más de 30 años de experiencia en el sector: 15 en la industria, 4 en docencia y 11 en representación gremial. Gerente de Chilealimentos, representa al sector en el Comité de Revisión del Reglamento Sanitario de Alimentos (RSA, MINSAL) y en el Codex Alimentarius. Fundador del Centro de Pensamiento para la Agricultura de Chile. A nivel regional, es Director Fiscal de la Alianza de Gremios de Alimentos y Bebidas de América (26 asociaciones de 14 países). Ha asesorado en regulaciones, etiquetado y protocolos de exportación en Latinoamérica y Asia.



Paola Cruz

Ministerio de Salud

Ingeniera Química (USACH), con más de 20 años de experiencia en salud ambiental. Ex-coordinadora del Departamento de Control Sanitario Ambiental de la SEREMI Metropolitana. Desde 2012 trabaja en el Departamento de Salud Ambiental del MINSAL, a cargo del Programa de Aguas Residuales y elaboración de normas sanitarias en la materia. Actualmente lidera la implementación del Reglamento de Reutilización de Aguas Grises (Decreto N°40/2022).



Julio Romero

Universidad de Santiago de Chile

Ingeniero Químico (USACH) y Doctor en Ingeniería de Procesos (U. de Montpellier, Francia). Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos y director del Laboratorio de Procesos de Separación por Membranas (LabProSeM). Ha sido Vicerrector de Investigación y Vicerrector Académico de la USACH. Investigador en procesos de membranas, solventes alternativos y aplicaciones en alimentos, minería, biocombustibles, aguas y biomateriales. Autor de más de 130 artículos, con amplia experiencia en formación de capital humano avanzado.



Jaime Vergara

Comisión Nacional de Riego, CNR

Ingeniero Civil y Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico (UCH). Ha trabajado en investigación, sector privado y público en temas de agua, principalmente en evaluación social de proyectos. Actualmente es Coordinador de la Unidad de Estudios de la Comisión Nacional de Riego (CNR, Ministerio de Agricultura).



ENFOQUE DEL PRIMER SIMPOSIO DE CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA: ANÁLISIS DE RIESGO¹

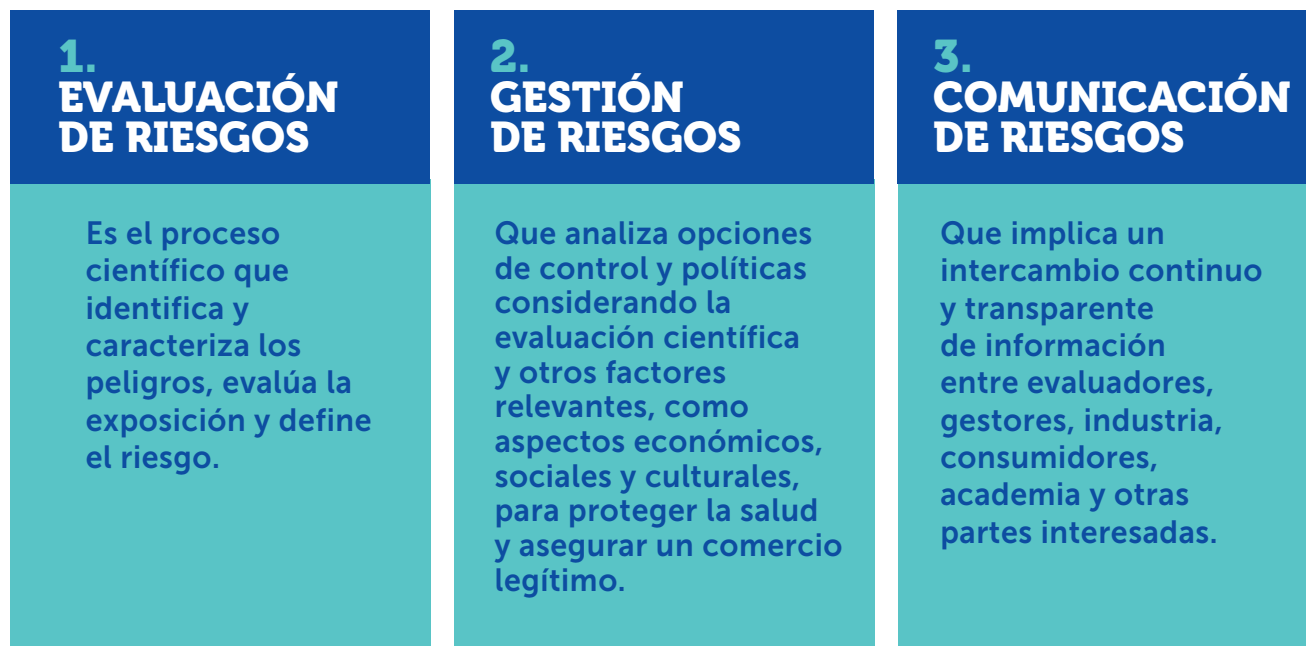
La inocuidad alimentaria sigue siendo un desafío global tanto para países desarrollados como en desarrollo. Aunque se han logrado avances importantes en el fortalecimiento de los sistemas de inocuidad, persisten tasas elevadas de enfermedades transmitidas por alimentos y surgen nuevos peligros en la cadena alimentaria. Estos riesgos pueden ser biológicos, químicos o físicos.

El análisis de riesgos, que integra evaluación, gestión y comunicación de riesgos, se ha consolidado en las últimas décadas como la herramienta central para comprender y controlar amenazas a la salud humana asociadas a los alimentos. Su uso permite decisiones más transparentes, coherentes y basadas en evidencia científica, además de facilitar la participación de actores relevantes y promover el comercio internacional mediante normas armonizadas.

La FAO y la OMS han liderado la incorporación del análisis de riesgos en la elaboración de normas alimentarias. Desde los años 90 han recomendado y apoyado su adopción por la Comisión del Codex Alimentarius, impulsando la armonización metodológica. Para ello han convocado diversas consultas de expertos dedicadas a la evaluación, gestión y comunicación de riesgos, que sentaron las bases conceptuales y prácticas para la aplicación de este enfoque en las políticas y estándares de inocuidad alimentaria.

1. Análisis de riesgos relativos a la inocuidad de los alimentos. Guía para las autoridades nacionales de inocuidad de los alimentos. <https://www.fao.org/4/a0822s/a0822s.pdf> FAO/OMS 2007.

El análisis de riesgos en inocuidad alimentaria se compone de tres elementos definidos por el Codex Alimentarius:



Este enfoque resulta especialmente pertinente para el agua de uso agrícola en Chile, un recurso crítico en la producción de frutas y hortalizas destinadas tanto al mercado interno como a la exportación. La variabilidad climática, las sequías prolongadas, la competencia entre usos y la incorporación creciente de fuentes no tradicionales, como aguas regeneradas o superficiales de distinta calidad, han incrementado la necesidad de aplicar metodologías robustas y armonizadas para evaluar y manejar los riesgos asociados.

La evaluación de riesgos permite caracterizar peligros microbiológicos (como las bacterias *E. coli* y *Salmonella*, virus entéricos y protozoos) y químicos (residuos industriales, pesticidas, metales), así como estimar la exposición de los consumidores a través de productos irrigados con estas aguas. A partir de esa evidencia, la gestión de riesgos puede definir medidas como requisitos de calidad del agua, tratamientos apropiados, intervalos de seguridad entre riego y cosecha, o prácticas de manejo agrícola específicas, considerando la realidad productiva chilena y los estándares internacionales exigidos por los mercados. Finalmente, la comunicación de riesgos asegura que estas decisiones sean comprendidas y aplicadas adecuadamente por agricultores, asesores técnicos, autoridades y consumidores, fortaleciendo la confianza y la coherencia del sistema.

Así, la adopción del análisis de riesgos según FAO/OMS ofrece un marco sólido y armonizado para avanzar hacia políticas y prácticas que resguarden la inocuidad de los alimentos producidos con agua agrícola en Chile, promoviendo simultáneamente la sostenibilidad, la competitividad y el acceso a mercados internacionales.



BLOQUE INTRODUCTORIO

El bloque introductorio tuvo como objetivo evidenciar la importancia de la calidad de agua de uso agrícola en la inocuidad de los alimentos, y mostrar un panorama general de la producción hortícola en Chile.

- 1.** Uso de Aguas en Agricultura Chilena, Riesgos Microbiológicos y Marco Regulatorio. **Leonardo Farías**, ISP.
- 2.** Impacto de la Inocuidad y Calidad de Agua en el Sector Productivo Hortícola. **Cristian Muñoz**, Pensar Agro.

RESUMEN DEL BLOQUE INTRODUCTORIO

Se destacó la multiplicidad de organismos encargados de resguardar la calidad y disponibilidad del agua en Chile, así como el rol del Instituto de Salud Pública en la investigación de brotes asociados al uso de aguas de riego, incluyendo casos de norovirus en el norte del país y *Vibrio cholerae* en la Región Metropolitana. El ISP también presentó estudios sobre enteropatógenos en aguas superficiales de la RM, como *Salmonella* spp.

Se evidenció que gran parte de las hortalizas frescas consumidas en Chile proviene de pequeños agricultores que disponen de manera limitada de análisis regulares y de una gestión sistemática de la inocuidad del agua. Alrededor del 60% de los productores hortícolas operan sin acceso a sistemas de tratamiento ni recursos para cumplir con normas como *Food Safety Modernization Act* (FSMA, de Estados Unidos), *Good Agricultural Practices* (Global G.A.P.) o las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), generándose una brecha marcada respecto de los productores exportadores y del retail.

Asimismo, se identificó una brecha tecnológica y formativa: el limitado acceso a Internet en zonas rurales y la insuficiente incorporación de contenidos de inocuidad agroalimentaria en carreras agronómicas dificultan la implementación de herramientas modernas de monitoreo y la transferencia de conocimientos al sector.

A nivel institucional, persiste un vacío de coordinación entre el Ministerio de Salud, el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Obras Públicas, lo que refuerza la necesidad de una agencia gubernamental con atribuciones claras en inocuidad alimentaria. Se subrayó la urgencia de articular políticas públicas coherentes y fortalecer las BPA, el uso responsable de insumos y la gestión hídrica mediante tecnología adecuada y acceso a fondos de fomento, como los programas de riego de la CNR.

Finalmente, se enfatizó que las hortalizas deben dejar de considerarse cultivos menores: son esenciales para la seguridad alimentaria del país. Su producción segura y sostenible requiere decisiones basadas en evidencia científica y una coordinación institucional efectiva para proteger la salud de los consumidores y apoyar el desarrollo de los pequeños agricultores.



BLOQUE EVALUACIÓN DE RIESGOS

El Bloque de Evaluación de Riesgos tuvo como propósito introducir el enfoque metodológico de evaluación de riesgos propuesto por la FAO/OMS, junto con presentar investigaciones que describen el estado de la calidad del agua, tanto superficial como de fuentes alternativas, y sus implicancias para la inocuidad en la producción agrícola. El bloque incluyó una charla magistral sobre la toma de decisiones basadas en riesgo, así como estudios sobre calidad de aguas superficiales, riesgos asociados al uso de aguas residuales domiciliarias en el riego y la caracterización de aguas grises para su eventual reúso agrícola:

1. *Improving public health decision-making through risk assessment.* **Bing Wang**, UNL, USA (Charla magistral).
2. Enfoque preventivo basado en riesgo, orientado en calidad de agua de riego y otros usos, para mejorar la Inocuidad Alimentaria en la Agricultura Familiar Campesina (AFC). **José Palacios**, CECTA-USACH.
3. Evaluación de la calidad del agua superficial: caso de estudio en el Biobío. **Ricardo Figueroa**, Universidad de Concepción / COTH₂O.
4. Evaluación de Riesgo de la reutilización de aguas residuales domiciliarias en el riego de productos hortofrutícolas. **Constanza Avello**, ACHIPIA.
5. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y de fitotoxicidad de aguas grises: Consideraciones para su reúso agrícola. **Gladys Vidal**, CRHIAM.

RESUMEN DEL BLOQUE DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

El bloque abordó los fundamentos del sistema internacional de inocuidad alimentaria, destacando cómo los organismos FAO/OMS incluyendo a la Organización Mundial del Comercio (OMC) han impulsado normas basadas en evidencia científica y orientadas a eliminar prácticas comerciales injustas. Se remarcó la transición global hacia enfoques de gestión del riesgo, reemplazando normas rígidas por guías adaptativas que consideran el contexto local y promueven la “aptitud para el propósito” del agua utilizada en la producción de alimentos. También se presentó la importancia de contar con herramientas como perfiles de riesgo y evaluaciones cualitativas y cuantitativas, que permiten identificar puntos críticos, evaluar intervenciones y establecer criterios microbiológicos adecuados. Se enfatizó que la colaboración entre reguladores, academia y sector productivo es esencial para fortalecer los sistemas de inocuidad y la protección de la salud pública.

Un segundo eje del bloque se centró en la Agricultura Familiar Campesina (AFC), mostrando resultados preocupantes respecto de la calidad del agua utilizada para riego, con aguas superficiales que no cumplen las exigencias de la norma NCh1333, evidenciando, además, contaminantes microbiológicos y químicos tanto en aguas como en alimentos. Aunque las aguas subterráneas presentan mejores condiciones, la mayoría de los predios mantiene un riesgo medio-alto de quiebres de inocuidad. Se insistió en la necesidad de un enfoque sistémico y culturalmente pertinente que combine caracterización de riesgos, planes de gestión y acciones de cierre de brechas.

El bloque también incluyó avances en el monitoreo ambiental de cuencas, mostrando cómo el seguimiento continuo ha permitido identificar incrementos recientes de nutrientes y compuestos químicos asociados a actividades agrícolas, urbanas e industriales. Se destacó que la calidad del agua está fuertemente determinada por los usos de suelo en las subcuencas, y se planteó la urgencia de avanzar hacia planes integrales de descontaminación, restauración de riberas y fortalecimiento de la gobernanza hídrica.

Otro tema relevante fue el análisis del uso de aguas grises en la producción hortícola bajo la nueva regulación sanitaria. Se aplicó una evaluación cuantitativa de riesgos microbiológicos para determinar si su reutilización puede ser segura, utilizando *Escherichia coli* como indicador. Los resultados preliminares mostraron altas concentraciones en aguas sin tratar, lo que confirma la necesidad de tratamientos como humedales, filtración o desinfección. Se concluyó que el uso de aguas grises puede ser viable solo bajo un enfoque preventivo, con riego tecnificado, buenas prácticas domésticas y capacitación.

Finalmente, se presentaron estudios de caracterización y tratamiento de aguas grises a nivel rural, que mostraron variaciones significativas en su composición y posibles riesgos de fitotoxicidad si no se aplican tratamientos adecuados. Sistemas como humedales de flujo vertical demostraron ser efectivos para reducir contaminantes y permitir la reutilización de una alta proporción del agua.

En conjunto, el bloque destacó el rol crítico del agua en la inocuidad alimentaria y la necesidad de avanzar hacia una gestión integrada del riesgo, sustentada en evidencia científica, coordinación institucional y soluciones adaptadas a las realidades locales.



BLOQUE GESTIÓN DE RIESGOS

El Bloque de Gestión de Riesgos presentó una mirada integrada sobre el uso seguro de aguas grises y aguas residuales tratadas en la agricultura, junto con los estándares de calidad del agua en la inocuidad alimentaria. Las exposiciones abordaron avances en programas nacionales de gestión del riesgo, orientaciones para proyectos de reúso en la Agricultura Familiar Campesina, brechas y exigencias del sector agroexportador, marcos regulatorios y riesgos sanitarios asociados, además de tecnologías emergentes y estudios sobre la factibilidad del reúso en zonas rurales. En conjunto, el bloque destacó la necesidad de fortalecer capacidades técnicas, actualizar criterios y articular esfuerzos para promover un uso seguro y sostenible del agua en el sector agrícola.

1. Coordinación Programa Nacional Integrado: Experiencia del PNI de agua agrícola y trabajo futuro. **Lorena Galarce**, ACHIPIA.
2. Orientaciones técnicas para aprobación de proyectos de reutilización de aguas grises. **Jorge Silva**, INDAP.
3. Abordaje de la calidad de agua desde los estándares y requisitos de exportación como Global G.A.P. y FSMA. **Moisés Leiva**, Chile Alimentos.
4. Aguas residuales tratadas para el campo: Nueva normativa y riesgos en el uso agrícola. **Paola Cruz**, Departamento de Medio Ambiente MINSAL.
5. Tecnologías emergentes y oportunidades en el tratamiento y recuperación de agua para la agricultura. **Julio Romero**, Facultad de Ingeniería Química-USACH.
6. Reúso de aguas servidas tratadas en el riego rural. **Jaime Vergara**, CNR.

RESUMEN DEL BLOQUE DE GESTIÓN DE RIESGOS

El bloque presentó una visión amplia sobre los desafíos y oportunidades asociados al uso seguro de aguas grises y aguas residuales tratadas en la agricultura, así como sobre los estándares de calidad del agua dentro de la cadena de inocuidad alimentaria.

Se abordó la experiencia reciente en el diseño de un programa nacional orientado a coordinar la gestión del riesgo en el uso de aguas grises, integrando a ministerios, servicios públicos y actores privados. Este esfuerzo ha permitido revisar normativas vigentes, proponer actualizaciones como la revisión de la NCh 1333 y desarrollar lineamientos de manejo basados en riesgo. El trabajo incluyó la caracterización tecnológica de los sistemas de tratamiento existentes, mostrando una gran diversidad y la ausencia de estándares homogéneos de operación y desinfección. Entre las recomendaciones se destacaron la necesidad de asegurar tratamientos completos, promover riego tecnificado, capacitar a usuarios y reforzar buenas prácticas domésticas. Las acciones futuras contemplan la elaboración de guías técnicas, programas de capacitación y fortalecimiento de las Buenas Prácticas Agrícolas con foco en inocuidad y sostenibilidad.

Desde el ámbito del desarrollo rural, se expusieron orientaciones para la aprobación y correcta operación de proyectos de reutilización de aguas grises en la Agricultura Familiar Campesina e Indígena. Se revisó el marco legal vigente y se describió el ciclo completo de estos proyectos, desde la recolección hasta la distribución mediante riego tecnificado. Se enfatizó que su sostenibilidad depende tanto de la infraestructura como de la gestión posterior: mantenimiento, monitoreo, capacitación y adopción de buenas prácticas. Persisten brechas asociadas a la falta de lineamientos técnicos, protocolos estandarizados y acompañamiento técnico-social que permita cambios reales en el uso domiciliario del agua.

El bloque también incorporó la perspectiva del sector agroindustrial y exportador, subrayando la relevancia de la calidad del agua como punto crítico en la cadena de inocuidad. Se destacó la necesidad de cumplir estándares internacionales exigentes (como la normativa de agua agrícola bajo FSMA), que requieren evaluaciones basadas en riesgo, planes de mitigación y muestreos microbiológicos robustos. A partir de estudios sectoriales, se evidenciaron brechas como altos niveles de coliformes en fuentes superficiales, presencia ocasional de virus, baja adopción de tecnologías de tratamiento y debilidades en la supervisión de buenas prácticas. Se concluyó que, aunque el sector ha avanzado mediante certificaciones y programas de inocuidad, la calidad del agua sigue siendo un desafío que requiere una coordinación público-privada más profunda.

En materia regulatoria y sanitaria, se revisaron los marcos normativos aplicables al reúso de aguas residuales tratadas y los riesgos asociados. Se distinguieron aguas grises y aguas negras, detallando sus características y riesgos microbiológicos, así como las restricciones y exigencias establecidas por normativas recientes. Se abordaron los principales peligros sanitarios, la necesidad de tratamientos confiables y la creciente preocupación por contaminantes emergentes, como la resistencia a los antimicrobianos, que debe integrarse en los esquemas de tratamiento y monitoreo. Se destacó que el uso seguro de aguas tratadas requiere capacidades técnicas sólidas y criterios actualizados que consideren riesgos microbiológicos y químicos.

El bloque incluyó además una revisión de tecnologías emergentes para el tratamiento y recuperación de agua, destacándose el rol de las membranas, desde microfiltración hasta ósmosis inversa, y su potencial para escenarios de escasez hídrica. Se presentaron aplicaciones híbridas que permiten aumentar la recuperación de agua y valorizar subproductos, junto con proyectos que integran procesos electroquímicos, sorción y destilación por membranas, validados en entornos piloto. Se identificaron desafíos como consumo energético, gestión de concentrados y costos operacionales, así como oportunidades asociadas a energías renovables, integración tecnológica e inteligencia artificial.

Finalmente, se compartieron los resultados de un estudio nacional sobre el reúso de aguas servidas tratadas en zonas rurales, que diagnosticó el estado del saneamiento rural y propuso alternativas de reúso agrícola. Se desarrollaron prototipos conceptuales y pilotos, incluyendo humedales artificiales, para evaluar factibilidad técnica, económica y social. Se destacaron como ventajas la disponibilidad de caudales con aporte nutricional y el potencial de ampliar superficies de riego; y como desafíos, la necesidad de mejoras en infraestructura, autorizaciones sectoriales, fortalecimiento de capacidades locales y limitaciones derivadas de caudales reducidos.

En conjunto, el bloque subrayó que avanzar hacia un uso seguro y sostenible del agua en la agricultura, requiere una gestión de riesgos articulada, tecnología adecuada, marcos regulatorios actualizados y un fuerte trabajo de capacitación y acompañamiento en terreno. Esto permitirá enfrentar los desafíos de la crisis hídrica, mejorar la inocuidad alimentaria y fortalecer la sostenibilidad del sector agrícola chileno.

MESA DE DISCUSIÓN

**¿CÓMO AVANZAR EN
LA COORDINACIÓN
PÚBLICO-PRIVADA
PARA EL ABORDAJE DE
LA CALIDAD DE AGUA
DE USO AGRÍCOLA
EN EL MARCO DEL
ANÁLISIS DE RIESGO?**

PARTICIPANTES DE LA MESA



Diego Varela

Secretario Ejecutivo. Agencia Chilena para la Inocuidad y Calidad Alimentaria (ACHIPIA). Ministerio de Agricultura.

Javiera Herrera

Jefa del Departamento de Sustentabilidad y Cambio Climático. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura.

Claudio Maggi

Gerente de Desarrollo Territorial. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

Dr. Aldo Saavedra

Director Diplomado de Recursos Hídricos. Representante institucional en el Comité de Aguas de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM). Universidad de Santiago de Chile.

Cristian Muñoz

Presidente. Coalición de Gremios Agroalimentarios.

Manuel Miranda (MODERADOR)

Coordinador Área de Vinculación. ACHIPIA.

CONCLUSIONES PRINCIPALES DE LA MESA DE DISCUSIÓN

Los participantes de la mesa coincidieron que el desafío es claro: promover y consolidar una cooperación multisectorial que permita avanzar de manera integral en iniciativas para asegurar la calidad del agua con la que se producen los alimentos en el país. Como siguiente paso, se propuso la elaboración y coordinación de estrategias que garanticen la calidad del agua de riego como parte esencial de la inocuidad alimentaria, cumpliendo con los estándares exigidos para el consumo interno y para los mercados internacionales. Para ello, el país requiere que estos esfuerzos sean colaborativos, basados en evidencia científica y garantizada por la metodología del análisis de riesgo, la cual permitirá de forma sólida la identificación y cuantificación de los riesgos asociados a cada uno de los peligros que amenazan la inocuidad alimentaria y, en particular de la calidad del agua de riego.

En esta misma línea, la mesa también concluyó que para esta tarea se requiere del compromiso de todos los sectores: productivo, para que visibilice sus necesidades y urgencias; académico, para generar conocimiento y facilitar la adopción de nuevas tecnologías; y público, para establecer las condiciones habilitantes que permitan avanzar de forma sistemática, sostenida y coordinada. Particularmente, en el caso del análisis de riesgo, será imperativo compartir la información necesaria para llevar a cabo evaluaciones de riesgo robustas que orienten la gestión de riesgo en términos normativos, de generación de tecnología adecuada y las buenas prácticas de los agricultores, entre otras.

Finalmente, la mesa cerró con la premisa principal de este simposio: hoy el país enfrenta una crisis hídrica, no sólo por la escasez de agua, sino también por la calidad del agua disponible. Por lo tanto, será imprescindible tomar decisiones estratégicas basadas en ciencia que permita responder a este desafío. En ese sentido, se enfatizó, el diseño e implementación de una Estrategia Nacional para la Calidad del Agua de Riego como una acción crítica, quizás la más urgente. Por ello, la mesa propuso que esta reunión sea un punto de partida para el surgimiento de nuevos espacios de colaboración, mecanismos de articulación y aportes concretos, que permitan canalizar de manera efectiva los esfuerzos que cada sector está realizando.



RESÚMENES CIENTÍFICOS

La Agencia Chilena para la Inocuidad y Calidad Alimentaria (ACHIPIA), junto al Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA-USACH), invitaron a la comunidad científica nacional a participar en el 1er Simposio de Calidad de Agua de Uso Agrícola mediante el envío de resúmenes científicos para presentación en formato póster.

Se recibieron trabajos basados en investigaciones recientes o en etapa de resultados publicables, que aportaran conocimiento al análisis de riesgos alimentarios, enmarcados en alguno de los ejes temáticos definidos para este simposio, y que promovieran tecnologías adecuadas para la agricultura familiar campesina.

Los ejes temáticos fueron los siguientes:

1.

CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA

(microbiológica y/o química) y contaminantes emergentes en fuentes de aguas superficiales, profundas o fuentes de agua no convencionales.

2.

TRATAMIENTOS DE AGUA DE USO AGRÍCOLA

(en especial aplicables a pequeña escala) y reutilización de aguas para fines agrícolas (aguas residuales domiciliarias, aguas lluvias, entre otros).

3.

CAMBIO CLIMÁTICO E IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AGUA

EJE TEMÁTICO: Calidad de agua de uso agrícola (microbiológica y/o química) y contaminantes emergentes en fuentes de aguas superficiales, profundas o fuentes de agua no convencionales.

DINÁMICA TEMPORAL DE LA PRESENCIA DE *Salmonella enterica* Y RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE.

Temporal dynamics of Salmonella entérica presence and antimicrobial resistance in surface waters in central Chile.

Francisca P. Álvarez¹, Constanza Díaz-Gavidia¹, Patricia García², Leonela Díaz³, Angélica Reyes-Jara³, Aiko D. Adell⁴, Magaly Toro⁵, Jianghong Meng⁵, Andrea Moreno-Switt¹.

INTRODUCCIÓN

Salmonella enterica es el principal patógeno bacteriano transmitido por los alimentos a nivel global, causando 94 millones de infecciones al año. La aparición de resistencia a cefalosporinas de tercera generación y fluoroquinolonas en esta especie podría agravar el problema de salud pública.

OBJETIVOS

Evaluar la dinámica temporal de la presencia de *Salmonella* en aguas de uso y caracterizar la resistencia antimicrobiana fenotípica de los aislados circulantes.

METODOLOGÍA

Entre abril-2019 y marzo-2024 se recolectaron 1969 muestras de los ríos Maipo y Mapocho para el aislamiento de *Salmonella* spp. Los aislados se confirmaron mediante PCR y se realizó secuenciación de genoma completo. A un subconjunto de 526 aislados secuenciados (abril 2019 – enero 2022) se les evaluó la susceptibilidad a 14 antimicrobianos mediante dilución en agar, incluyendo producción de β -lactamasas de espectro extendido (BLEE).

RESULTADOS

Se aisló *Salmonella* en un 39% del total de muestras, con mayor frecuencia en las temporadas de verano y primavera (46%). El río Mapocho presentó mayor positividad (45%) que el Maipo (34%). El 40% de los aislados presentó resistencia al menos a un antimicrobiano. El 10% de los aislados presentó un perfil multirresistente (MDR) y el 9% fue productor de BLEE. El serovar Infantis fue el principal asociado a estos perfiles.

CONCLUSIONES

La elevada presencia de *Salmonella* MDR productor de BLEE en aguas de uso agrícola representa un riesgo para la inocuidad alimentaria y la salud pública. Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar sistemas de vigilancia continua que permitan detectar y controlar oportunamente su diseminación.

Financiamiento: Esta investigación fue apoyada por la FDA del Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. (HHS) como parte de la asistencia financiera U01FDU001418.

Palabras clave: *Salmonella*, aguas superficiales, resistencia antimicrobiana, β -lactamasas de espectro extendido, Chile.

¹ Escuela de Medicina Veterinaria; Facultad de Agronomía y Sistemas Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas y Facultad de Medicina; Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

² Departamento de Laboratorios Clínicos, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

³ Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile, Chile.

⁴ Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello, Chile.

⁵ Joint Institute for Nutrition and Food Safety and Applied Nutrition (JIFSAN), University of Maryland, College Park, MD 20742, USA.

Listeria monocytogenes EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS CHILENAS: CINCO AÑOS DE VIGILANCIA (2019-2023).

Listeria monocytogenes in Chilean Watersheds: Five Years of Surveillance (2019-2023).

**Leonela Díaz¹, Diego Marquez¹, Catalina Jara¹, Doina Solís¹, Francisca Álvarez², Andrea Moreno Switt²,
Magaly Toro³, Angélica Reyes-Jara¹**

INTRODUCCIÓN

Listeria monocytogenes (Lm) es un patógeno alimentario que causa Listeriosis. Puede sobrevivir meses en el ambiente acuático y formar biopelículas, un riesgo latente para la salud pública.

OBJETIVOS

Analizar la prevalencia de Lm durante 2019-2023 en las cuencas de Mapocho (MAP) y Maipo (MAI), evaluar su diversidad genómica y su capacidad de formar biopelículas.

METODOLOGÍA

Se tomaron 1500 muestras (MAP: 720, MAI: 780) de diversas fuentes hídricas como ríos, canales, estanque y arroyos. Las muestras se recolectaron usando torula de Moore modificada. La presencia de Lm se confirmó mediante cultivo y PCR. Se secuenciaron 145 aislados para evaluar su diversidad genómica y 17 cepas se analizaron para la formación de biopelículas.

RESULTADOS

Se observó una prevalencia promedio de Lm del 22,4% en Mapocho y 23,9% en Maipo. La prevalencia aumentó en otoño (MAP 22,9%; MAI 26,7%) e invierno (MAP 27,9%; MAI 29,6%) a lo largo de los cinco años de muestreo. Los canales de riego presentaron la mayor frecuencia de detección (MAP 27,1%; MAI 30,0%) respecto a las otras fuentes de agua. Se encontró diversidad genética entre los aislados, con variaciones en virulencia y resistencia. Mientras LIPI-1 se distribuyó ampliamente, LIPI-3 y LIPI-4 se asociaron al serogrupo IVb. Todas las cepas de Lm evaluadas fueron capaces de formar biopelículas a 37°C y 8°C.

CONCLUSIONES

La prevalencia de Lm en las cuencas chilenas, su diversidad genómica y capacidad para formar biopelículas, representan un riesgo de contaminación alimentaria y enfatizan la necesidad de implementar estrategias de control para mitigar este peligro.

Palabras clave: *Listeria monocytogenes*,
prevalencia, aguas superficiales.

¹ Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile, Chile.

² Escuela de Medicina Veterinaria Pontificia Universidad Católica de Chile.

³ Joint Institute for Nutrition and Food Safety and applied Nutrition (JIFSAN), University of Maryland, College Park.

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE BAJO COSTO Y MANTENIMIENTO REDUCIDO PARA MEJORAR LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA DE RIEGO EN PREDIOS DE PEQUEÑOS AGRICULTORES DE CHILE CENTRAL.

Evaluation of low-cost and low-maintenance methods to improve the biological quality of irrigation water on small-scale farms in central Chile.

Fernando Dueñas¹, Natalia Pino¹, Kathia Castro¹, Alejandro Zelaya¹, Isabel Huentemilla¹, María Angélica Fellenberg², Macarena Fernández², María Consuelo Arias², Carla Vera², Aiko D. Adell¹

INTRODUCCIÓN

Investigaciones previas evidenciaron que el agua superficial para uso agrícola en Chile Central presenta concentraciones de coliformes fecales que superan los 1.000 UFC/100 mL (NCh 1333) y los 126 UFC/100 mL de *E. coli* (FSMA-EE.UU.). Sin estándares establecidos para *Salmonella* en agua de riego, esto representa un riesgo significativo para pequeños productores con recursos limitados.

OBJETIVOS

Evaluar en condiciones controladas la eficacia de dos sistemas de filtración de bajo costo y mantenimiento reducido en la reducción de microorganismos patógenos en aguas de riego.

METODOLOGÍA

Se diseñaron dos filtros: Filtro 1 (contenedor 170 L con tres tipos de arena) y Filtro 2 (tres contenedores 100 L con arena distinta). Ambos fueron instalados en canales de riego artificiales con estrictas medidas de bioseguridad. El agua fue contaminada intencionalmente con 10^5 UFC/mL de *Salmonella* marcadas con fluorescencia. Se tomaron muestras semanalmente durante cinco semanas, cuantificando coliformes fecales, *E. coli* (metodología 9222) y *Salmonella* (medios XLT-4 y Hektoen). Se aplicó prueba Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS

El Filtro 1 logró reducción significativa de 0,72 log CFU/mL en *Salmonella* ($p \leq 0,0001$), 55% en coliformes fecales ($p = 0,0293$) y 60% en *E. coli* ($p = 0,0171$). El Filtro 2 mostró 0,81 log CFU/mL en *Salmonella* ($p \leq 0,0001$), 57% en coliformes fecales ($p = 0,0062$), pero solo 20% en *E. coli*.

CONCLUSIONES

Ambos filtros demostraron eficacia en reducción de patógenos, destacando el Filtro 1. Sin embargo, no alcanzan estándares requeridos para uso seguro. Se requiere optimización, pero representan alternativas viables para pequeños productores.

Palabras clave: Agua de riego; Filtro de agua; Coliformes fecales; Pequeños agricultores.

¹ Universidad Andrés Bello, Facultad de Ciencias de la Vida, Escuela de Medicina Veterinaria, Santiago, Chile.
² Departamento de Ciencias Animales, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

ESTABILIDAD ESTACIONAL DE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAPOCHO: UN ANÁLISIS METAGENÓMICO INTEGRAL DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA CON PAISAJE INTEGRADO

Seasonal Stability of Microbial Communities in the Mapocho River Watershed: A Comprehensive Metagenomic Analysis of an integrated landscape watershed

Sebastián Gutiérrez^{1, 4, 5}, Magaly Toro^{1, 2}, Angélica Reyes-Jara¹, Paola Navarrete Wallace¹, Aiko D Adell³, Jianghong Meng¹

INTRODUCCIÓN

Las comunidades microbianas en aguas superficiales permiten evaluar la estabilidad del ecosistema bajo presiones antropogénicas, reflejando cómo factores ambientales influyen en la calidad del agua y salud pública.

OBJETIVOS

Analizar las variaciones espaciotemporales del microbioma a distintos niveles taxonómicos y su relación con parámetros fisicoquímicos del agua en la cuenca del Mapocho, Santiago.

METODOLOGÍA

Se muestrearon mensualmente quince sitios en zonas naturales, urbanas y agrícolas durante un año. Se filtraron 10 L de agua con Moore swabs modificados, extrayendo ADN total y secuenciando por metagenómica shotgun en Illumina NextSeq 2000. La asignación taxonómica vía Kraken2/Bracken. Para analizar diferencias en composición y su asociación con pH, conductividad y temperatura, se aplicaron ANOSIM, PERMANOVA y RDA.

RESULTADOS

Se identificaron 44 filos, 422 familias y 6 553 especies. Proteobacteria dominó, seguida de Arcanobacteria y Cyanobacteria. Un estanque eutrófico (SiAo 4) mostró baja diversidad y alta abundancia de *Planktothrix agardhii*. Aunque los índices de diversidad a permanecieron estables, se hallaron diferencias moderadas por tipo de agua (ANOSIM R=0,31; p<0,001) y menores por uso de suelo (ANOSIM R=0,06; p<0,001). RDA explicó hasta 22% de la variación, destacando pH y conductividad eléctrica (p<0,05).

CONCLUSIONES

Estos hallazgos evidencian influencia de variables ambientales en el microbioma de agua superficial, ofreciendo información útil para gestión de calidad del agua, estrategias de salud pública y planificación sanitaria adecuada.

Palabras clave: *Water Surface, Metagenomic, Microbiome.*

¹ Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile, Santiago, Chile.

² Joint Institute for Nutrition and Food Safety and Applied Nutrition (JIFSAN), University of Maryland, College Park, MD, USA.

³ Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias de La Vida, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile.

⁴ Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, ANID – Beca de Doctorado Nacional 21212265.

⁵ Facultad de Medicina Veterinaria y Agronomía, Universidad de Las Américas, Chile.

EVALUACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PARA EL RIEGO DE PRODUCTOS FRESCOS A NIVEL DEL SUELO: UNA EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL RIESGO MICROBIANO DE LA CONTAMINACIÓN GENÉRICA POR *E. coli* EN LECHUGA.

Evaluation of greywater reuse for soil-level irrigation of fresh produce: a quantitative assessment of the microbial risk of generic *E. coli* contamination in lettuce.

Andrew Ortiz¹, Constanza Avello², Bing Wang¹

INTRODUCCIÓN

La crisis de escasez de agua en Chile, impulsada por sequías prolongadas y el creciente consumo agrícola, exige soluciones innovadoras como la reutilización de aguas grises tratadas para riego.

OBJETIVOS

Los principales objetivos fueron evaluar la inocuidad microbiológica del uso de aguas grises en riego y determinar los factores de riesgo clave a lo largo de la cadena de producción.

METODOLOGÍA

Se aplicó un modelo de Evaluación Cuantitativa de Riesgo Microbiológico (QMRA, por sus siglas en inglés) para estimar el riesgo de contaminación por *Escherichia coli* (*E. coli*) en lechuga, un cultivo consumido en fresco y sensible a la calidad del agua de riego. El modelo incluyó la dinámica microbiana desde producción hasta venta minorista. Se simuló tres fuentes de riego (aguas grises sin tratar, superficiales y subterráneas) y se evaluó la eficacia de tratamientos primarios (humedales, microfiltración) combinados con desinfección secundaria (ClO₂, ozono, luz UV). Además, los análisis de sensibilidad identificaron otros factores de riesgo clave, desde la contaminación del suelo hasta las prácticas postcosecha.

RESULTADOS

Los resultados mostraron que las aguas grises sin tratar representaron altos riesgos: 85,06 % y 82,10 % de los casos superaron el umbral de 3 Log CFU/g de *E. coli* en primavera/verano y otoño/invierno, respectivamente. En contraste, los tratamientos integrados (primarios + secundarios) redujeron eficazmente los niveles microbianos en más de 5 log, cumpliendo criterios internacionales de inocuidad. También se identificó la aplicación inadecuada de estiércol y la ausencia de refrigeración postcosecha como factores críticos que aumentan la exposición.

CONCLUSIONES

En conclusión, la reutilización de aguas grises es viable si se respalda con tratamientos efectivos y buenas prácticas agrícolas y postcosecha. Estos hallazgos proporcionan un marco para políticas que equilibren la seguridad alimentaria, la salud pública y la gestión sostenible del agua.

Palabras clave: *Water Treatments, Irrigation quality, Fresh Produce*

1 Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, EE. UU.
2 Agencia Chilena para la Inocuidad y Calidad Alimentaria (ACHIPIA).

CARACTERIZACIÓN DE *Salmonella* AISLADA DESDE AGUA SUPERFICIAL DE RIEGO USADA POR PEQUEÑOS PRODUCTORES AGRÍCOLAS EN LA REGIÓN CENTRAL DE CHILE.

Characterization of *Salmonella* Isolated from Surface Irrigation Water Used by Smallholder Farmers in Central Chile

Natalia Pino¹, Fernando Dueñas¹, Viviana Toledo Neira⁴, Alejandro Zelaya¹, Francisca Álvarez^{1,3}, María Angélica Fellenberg², Macarena Fernández², María Consuelo Arias², Carla Vera², Aiko D. Adell¹

INTRODUCCIÓN

Salmonella es uno de los principales patógenos involucrados en enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs). Su presencia en aguas superficiales usadas para el riego de verduras representa un riesgo para la salud pública. Identificar los serotipos presentes permite conocer su virulencia, patogenicidad y resistencia antimicrobiana.

OBJETIVOS

El objetivo del estudio fue detectar y caracterizar *Salmonella* en aguas de uso agrícola, considerando el riesgo potencial de contaminación de cultivos.

METODOLOGÍA

Se analizaron 180 muestras de agua superficial utilizadas para riego, aplicando la metodología BAM modificada. Se filtraron 15 L de agua mediante filtros Moore Swab modificados, enriquecidas en agua peptonada tamponada modificada y sembradas en medios selectivos (Tetrationate, Rappaport-Vassiliadis, agar XLT4 y Hektoen). Las cepas se confirmaron mediante PCR del gen *invA* y se serotipificaron según el esquema de Kauffmann-White-Le Minor. La susceptibilidad antimicrobiana se evaluó bajo la norma CLSI M100, edición 33 (2023).

RESULTADOS

Durante los cinco muestreos se detectó presencia de *Salmonella* en aguas de riego. Se identificaron serotipos relevantes para la salud pública: *S. Infantis* (32%), *S. Typhimurium* (18%), *S. Enteritidis* (14%), y otros menos frecuentes como *S. Montevideo*, *S. Newport*, *S. Cubana*, *S. Miami*, *S. Edinburg* y *S. Schwarzengrund*. Varias cepas presentaron sensibilidad intermedia a gentamicina. Una cepa de *S. Infantis* mostró resistencia a múltiples antibióticos, incluida la presencia de β -lactamasas de espectro extendido.

CONCLUSIONES

Se confirma la circulación de serotipos de *Salmonella* con resistencia antimicrobiana en aguas de riego agrícola, representando un riesgo para cultivos y salud pública.

Palabras clave: Agua de riego;
Salmonella; Serotipificación;
Pequeños agricultores.

¹ Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello.

² Economía agraria y Ciencias animales, Facultad de agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

³ Escuela de Medicina Veterinaria, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Agronomía, Universidad de Las Américas, Sede Florida, Santiago, Chile.

PERSISTENCIA TEMPORAL DE SUBPOBLACIONES DE *Salmonella enterica* DEVELADOS POR VIGILANCIA GENÓMICA DE AGUAS SUPERFICIALES DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE.

Temporal persistence of Salmonella enterica subpopulations unveiled by genomic surveillance of surface waters on Central Chile

Alejandro Piña-Iturbe¹, Vicente Valdés¹, Daniel Tichy¹, Francisca P. Álvarez¹, Aiko D. Adell¹, Angélica Reyes-Jara³, Magaly Toro⁴, Andrea Moreno-Switt¹

INTRODUCCIÓN

Salmonella es el principal patógeno causante de enfermedades transmitidas por alimentos en Chile. Aunque se ha detectado en aguas de riego en la zona central del país, se desconoce la estructura poblacional y persistencia temporal de sus serovares.

OBJETIVOS

Evaluar la estructura poblacional de *Salmonella* en Chile e identificar las subpoblaciones circulantes y su persistencia temporal.

METODOLOGÍA

Se analizaron 3,469 genomas de *Salmonella* de Chile disponibles en Enterobase al 5 de junio, 2025. De éstos, 2,790 fueron generados por nuestro grupo a partir de aislados de aguas superficiales obtenidos entre abril 2019 – marzo 2024. Se realizó agrupamiento jerárquico de perfiles cgMLST y se seleccionaron 968 genomas no redundantes según año, nicho, y similitud genética (606 de aguas). Se consideraron clones aquellos con ≤ 5 alelos de diferencia entre 3,002 alelos conservados. Se construyeron árboles de expansión mínima, se agruparon genomas con ≤ 20 alelos de diferencia, se incorporaron datos temporales y se evaluó su asociación con plásmidos y genes de resistencia.

RESULTADOS

Se identificaron múltiples subpoblaciones en cada serovar presentes tanto en aguas superficiales como en otros nichos. Seis subpoblaciones correspondientes a los serovares Agona, Enteritidis, Infantis, Newport y Typhimurium mostraron persistencia por lo menos desde 2019, estando las subpoblaciones de Enteritidis y Typhimurium circulando por lo menos desde 2009 y 2013, respectivamente. Se identificó asociación con diversos plásmidos y genes/mutaciones de resistencia contra cefalosporinas de tercera generación y fluoroquinolonas.

CONCLUSIONES

La persistencia de subpoblaciones de *Salmonella* resistente a antibióticos de importancia crítica en aguas de uso agrícola y otros nichos representa un riesgo para la salud pública, destacando la necesidad de vigilancia genómica continua para detectar y controlar su diseminación.

Financiamiento: ANID – Fondecyt Postdoctorado 3230796, Fondecyt Regular 1231082; the FDA of the U.S. Department of Health and Human Services (HHS) as part of federal award U01FDU001418.

Palabras clave: *Salmonella*, aguas superficiales, persistencia, Chile.

1 Escuela de Medicina Veterinaria; Facultad de Agronomía y Sistemas Naturales, Facultad de Ciencias Biológicas y Facultad de Medicina; Pontificia Universidad Católica de Chile.
2 Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile.
3 Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile, Santiago, Chile.
4 Joint Institute for Nutrition and Food Safety and Applied Nutrition (JIFSAN), University of Maryland, College Park.

MODELO DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA PREDECIR LA PRESENCIA DE *Salmonella* EN AGUAS AGRÍCOLAS EN CHILE

A Machine Learning Model to Predict the Presence of Salmonella in Agricultural Water Resources in Chile.

Carlos Alejandro Zelaya^{1,2*}, Natalia Pino², Kathia Castro², Fernando Dueñas², Isabel Huentemilla², María Angélica Fellenberg³, Macarena Fernández³, María Consuelo Arias⁴, Carla Vera³, Aiko D. Adell²

INTRODUCCIÓN

El agua superficial es fundamental para la irrigación agrícola, pero su contaminación con patógenos como *Salmonella* representa un riesgo para la salud pública. Este estudio evaluó la presencia de *Salmonella* en aguas superficiales y su asociación con factores ambientales y antropogénicos.

OBJETIVOS

Evaluar la estructura poblacional de *Salmonella* en Chile e identificar las subpoblaciones circulantes y su persistencia temporal.

METODOLOGÍA

Entre abril de 2019 y marzo de 2023, se recolectaron muestras de agua en distintos puntos de ambas regiones. La detección de *Salmonella* se realizó mediante el protocolo FDA-BAM, confirmada por PCR del gen *invA*. Durante el muestreo, se registraron factores ambientales y antropogénicos. Se aplicó un modelo Random Forest para identificar variables asociadas a la presencia del patógeno.

RESULTADOS

Salmonella fue detectada en el 32,4% (719/2219) de las muestras. El modelo identificó que parámetros físicos del agua, como pH, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales y temperatura, influyeron significativamente en su detección. Factores como presencia de animales, fecas o asentamientos humanos mostraron una asociación más débil. El modelo predijo adecuadamente la ausencia del patógeno (precisión = 67%, F1-score = 0,61), pero tuvo menor rendimiento al predecir su presencia (precisión = 41%, F1-score = 0,46).

CONCLUSIONES

Estos resultados permiten optimizar la detección de *Salmonella* en aguas de riego, priorizando los recursos en sitios con mayor probabilidad de presencia del patógeno. Esta estrategia refuerza la inocuidad alimentaria y la salud pública, especialmente en contextos con recursos limitados.

Palabras clave: *Machine Learning, Agua superficial, Salmonella, Factores de Riesgo.*

¹ Centro de Bioinformática y Biología Integrativa, Universidad Andres Bello.

² Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias de la vida, Universidad Andres Bello.

³ Ciencias Animales, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

⁴ Economía Agraria o Ciencias Animales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

DEL RÍO A LA AGRICULTURA: ENTEROBACTERIAS RESISTENTES A ANTIMICROBIANOS EN AGUAS SUPERFICIALES DE USO AGRÍCOLA. ESTUDIO EN LOS RÍOS MAIPO Y MAPOCHO (CHILE, 2023-2025)

From River to Agriculture: Antimicrobial-Resistant Enterobacteria in Surface Waters for Agricultural Use. A Study in the Maipo and Mapocho Rivers (Chile, 2023–2025)

Carlos Alejandro Zelaya^{1,2}, Natalia Pino², Isabel Huentemilla², Fernando Dueñas³, Sebastián Wolter-Salas², Ingrid Mercado², Aiko D. Adell²

INTRODUCCIÓN

En 2019, se estimó que la resistencia a los antimicrobianos (RAM) causó 1,27 millones de muertes, y la OMS proyecta que esta cifra podría alcanzar los 10 millones anuales y un costo de USD 100 trillones para 2050 si no se implementan medidas. Este problema se intensifica considerando que los sistemas de agua dulce actúan como reservorios de antimicrobianos y bacterias resistentes, facilitando su diseminación global.

OBJETIVOS

Caracterizar fenotípicamente la resistencia a antimicrobianos en enterobacterias ambientales presentes en aguas de riego.

METODOLOGÍA

Se recolectaron un total de 420 muestras de agua (1 L cada una) de forma estacional entre 2023 y 2025 en ambas cuencas. Las enterobacterias se aislaron en agar MacConkey suplementado con ciprofloxacina y ceftazidima. Se seleccionaron hasta 4 colonias por placa con morfología típica y se identificaron como *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Proteus* o *Enterobacter* spp. mediante MALDI-TOF. La susceptibilidad antimicrobiana se evaluó por el método de Kirby-Bauer, siguiendo criterios CLSI y EUCAST.

RESULTADOS

Se obtuvieron 1034 aislados fermentadores de lactosa, de los cuales se confirmaron 466 como enterobacterias, incluyendo *E. coli* (n=402), *K. pneumoniae* (n=31), y otras especies de interés. Se observaron altas tasas de resistencia a ampicilina (83%), cefazolina (78%), ciprofloxacino (78%), amoxicilina (61%) y trimetoprima-sulfametoxazol (58%). Además, 356 aislados fueron multidrogo-resistentes (MDR), 42 extensivamente resistentes (XDR) y 3 panresistentes (PDR).

CONCLUSIONES

La presencia de enterobacterias MDR, XDR y PDR en aguas de riego plantea un riesgo crítico para la salud pública, destacando la necesidad de incorporar indicadores ambientales en la vigilancia de RAM.

Palabras clave: Resistencia a antimicrobianos, Enterobacterias, Ríos.

¹ Centro de Bioinformática y Biología Integrativa, Universidad Andres Bello, Santiago, Chile.

² Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de ciencias de la vida, Universidad Andres Bello, Santiago, Chile.

³ Universidad Bernardo O'Higgins, Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Médicas, Santiago, Chile.

ENTEROBACTERIAS RESISTENTES A CARBAPENÉMICOS Y CEFALOSPORINAS EN AGUAS SUPERFICIALES DEL CHILE CENTRAL: PREDICTORES AMBIENTALES Y ESTACIONALES DE FENOTIPOS DE MULTIRRESISTENCIA.

Carbapenem - and Cephalosporin - Resistant Enterobacteriaceae in Surface Waters of Central Chile: Environmental and Seasonal Predictors of Multidrug Resistance Phenotypes

Carlos Alejandro Zelaya¹, Sebastián Wolter-Salas¹, Natalia Pino¹, Fernando Dueñas², Isabel Huentemilla¹, Ingrid Mercado¹, Stefan Steiniger³, Aiko D. Adell¹

INTRODUCCIÓN

Las bacterias resistentes a antimicrobianos en aguas superficiales representan una amenaza creciente para la salud pública, sirviendo como vehículos de propagación de microorganismos resistentes.

OBJETIVOS

Este estudio investigó enterobacterias resistentes a antibióticos (AMR-E) en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Mapocho y Maipo.

METODOLOGÍA

Se recolectaron 240 muestras de agua (1L) trimestralmente durante 2023–2024. La clasificación de uso de suelo se realizó usando QGIS y capa CONAF 2017. Las enterobacterias fueron aisladas en agar MacConkey suplementado con ciprofloxacina y ceftazidima, identificadas por MALDI-TOF como *Escherichia coli*, *Klebsiella* o *Enterobacter* spp., y evaluadas por susceptibilidad antimicrobiana mediante Kirby-Bauer siguiendo estándares CLSI/EUCAST.

RESULTADOS

Del total de muestras, 7,92% (19/240) mostraron crecimiento de AMR-E, siendo más frecuente en el río Mapocho. Los sitios urbanos mostraron mayor recuperación de AMR-E comparado con otros tipos de suelo. *E. coli* fue la especie más frecuente (35/44). La resistencia a cefalosporinas de tercera/cuarta generación se encontró en 52,27% (23/44) de aislados, y resistencia a carbapenémicos en 10 aislados. La multirresistencia (MDR) se identificó en 70,45% (31/44) de aislados. El análisis de random forest identificó sólidos totales disueltos, proximidad a asentamientos humanos y estacionalidad como predictores de MDR con 85,26% de precisión. La prueba exacta de Fisher mostró asociaciones significativas entre MDR y asentamientos humanos ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES

Los resultados evidencian la presencia de enterobacterias MDR predominantemente en áreas urbanas y la cuenca del Mapocho, obteniendo como predictor la proximidad a asentamientos humanos. Esto destaca la necesidad de incorporar indicadores ambientales en la vigilancia de RAM.

Palabras clave: *β -lactamasas de espectro extendido (BLEE), Agua de riego, Factores de riesgo ambientales, Random Forest, Modelado predictivo.*

¹ Universidad Andrés Bello, Facultad de Ciencias de la Vida, Escuela de Medicina Veterinaria, Santiago, Chile.
² Universidad Bernardo O'Higgins, Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Médicas, Santiago, Chile.
³ Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería de Construcción y Transporte, Valparaíso, Chile.

EJE TEMÁTICO: Tratamientos de agua de uso agrícola (en especial aplicables a pequeña escala) y reutilización de aguas para fines agrícolas (aguas residuales domiciliarias, aguas lluvias, entre otros).

TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA SU USO EN RIEGO DE PLANTAS ORNAMENTALES, FRUTAS Y VERDURAS.

Treatment of greywater for use in irrigating ornamental plants, fruits and vegetables

Esteban Quijada^{1*}, Ricardo Abejón¹, Roxana Arce², Julio Romero¹

Chile está en crisis hídrica por 15 años. Para 2030-2060 se proyecta la reducción del 50% en la disponibilidad hídrica en las zonas Norte y Centro del país (DGA). Es urgente buscar fuentes alternativas de agua para enfrentar la escasez de precipitaciones.

GWR generó un sistema de muros verdes el cual contiene tres plantas de uso común: hiedra, cinta y alfombra planteada. Estas plantas fueron irrigadas con: agua potable (P), agua gris sin tratar (GNT) y agua gris tratada (GT) por tratamiento electroquímico. El muro verde está instalado al aire libre y las plantas crecieron en macetas con tierra de hojas comercial. Después de 9 meses de irrigación, los niveles de pigmentos son estables bajo todos los tipos de riego en todas las plantas y sin síntomas de clorosis en todas las especies. Sin embargo, se observa un mejor crecimiento cuando las plantas se irrigan con GT ($\approx 160\%$). En suelos, se observa que su pH se mantiene constante para las tres aguas ($\text{pH} \approx 7$), los porcentajes de materia orgánica se mantienen constantes ($\approx 20\%$), pero se observa un incremento considerable de la conductividad eléctrica en macetas irrigadas con GNT ($\approx 9 \text{ mS/cm}$) debido a la acumulación de sales. El contenido de fósforo se mantiene levemente por debajo en macetas irrigadas con GNT y GT (350–400 ppm) comparado con irrigación con P.

Concluyendo, el riego de plantas con GT permite el crecimiento normal de las plantas manteniendo la calidad de suelos sanos. GWR está trabajando con riego de frutillas y tomate cherry para investigar el efecto de GT en el desarrollo de frutales y de verduras.

Palabras clave: *Aguas grises; Tratamiento electroquímico; Plantas ornamentales; Aguas grises tratadas.*

¹ Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Universidad de Santiago de Chile.

² Departamento de Química, Universidad Nacional Andrés Bello. Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Universidad de Santiago de Chile. Email: esteban.quijada@usach.cl, Grupo de Investigación GreyWaterReuse (GWR).

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS DOMÉSTICOS TRATADOS MEDIANTE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA USO EN RIEGO ORNAMENTAL Y AGRÍCOLA.

Recycling of domestic wastewater treated with nature-based solutions for use in ornamental and agricultural irrigation

Paula J. Madariaga^{a,b}, Cristina A. Villamar Ayala^{a,b}.

Chile vive escasez estructural de agua, lo que además se agudiza con la crisis climática, afectando la disponibilidad del agua en el país. Así, el sector agrícola, que consume el 70 % del agua dulce disponible en Chile, requiere fuentes alternativas de agua, que además puedan entregarle nutrientes. La recuperación de residuos líquidos tratados surge como una opción viable de agua y nutrientes para el sector agrícola.

Este estudio muestra los resultados del monitoreo (365 días) realizado al tratamiento de residuos líquidos domésticos, mediante el uso de biofiltros híbridos que combina residuos agroindustriales y diferentes tipos de organismos depuradores, todo esto a escala piloto y tratando volúmenes de agua entre 0,4 a 3 m³/día. El monitoreo consideró la medición de parámetros, tales como: sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) coliformes fecales y nutrientes (nitrato, nitrito, amonio y fosfato) de acuerdo con los límites establecidos en los decretos de descarga y reciclaje para riego ornamental (D.S.40 y D.S.609). El residuo tratado, además ha sido probado en el riego de jardines (12 tipos de plantas) y cultivo de tomate. Análisis de coliformes en superficie fueron realizados para verificar la presencia de este contaminante en las plantas regadas. En general, los resultados demostraron que el sistema de tratamiento cumplió con los límites permisibles para descarga (DS.609) y reciclaje (DS.40) en SST y DBO5. Coliformes fecales, fueron reducidos cerca del 99,99% en el tanque de almacenamiento posterior al tratamiento, mediante desinfección natural. En los tomates se detectó un máximo de 4 UFC/fruto, siendo 0 UFC las detectadas en la mayoría de los casos.

En conclusión, el residuo líquido tratado fue sistema eficaz para riego ornamental y para cultivos que no son a ras de piso, una vez que coliformes fecales se remuevan totalmente, con el fin de asegurar inocuidad.

Palabras clave: *Biofiltración, reciclaje, riego, residuos líquidos, coliformes.*

^a Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias y Tecnología del Agua, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile (USACH), Chile.

^b Programa para el Desarrollo de Sistemas Productivos Sostenibles (PDSPS), Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile (USACH), Chile.

NEXO AGUA-NUTRIENTES ENTRE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS DOMÉSTICOS Y LA AGRICULTURA: DETERMINACIÓN DE ZONAS DE EMPLAZAMIENTO SOSTENIBLES.

Water-nutrient nexus between domestic wastewater treatment plants and agriculture: identification of sustainable site locations.

Ignacia J. Martínez Lepe ^{a,b}, Cristina A. Villamar Ayala^{b,c}, Franco Quezada Valenzuela^{a,b}.

La creciente escasez hídrica en Chile ha intensificado la necesidad de identificar fuentes alternativas de agua para el sector agrícola, uno de los más afectados por esta problemática. En este contexto, la recuperación de residuos líquidos domésticos tratados surge como una alternativa viable y sostenible, no solo por la disponibilidad, sino también por su contenido de nutrientes como nitrógeno y fósforo, que contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo y a reducir el uso de fertilizantes.

Este estudio tuvo como objetivo delimitar espacialmente las zonas agrícolas con mayor aptitud para el aprovechamiento de estos residuos en las regiones del Maule, Ñuble y Biobío, mediante el uso de herramientas de análisis geoespacial. Se integraron variables agrupadas en cuatro dimensiones: técnica (textura del suelo), ambiental (pendiente, proximidad a cuerpos de agua), social (distancia a zonas residenciales) y económica (accesibilidad vial).

Los resultados indican que el criterio más restrictivo fue la textura del suelo, con un 77.71% del área total considerada apta, siendo Biobío la región más restringida (68.11%) y Ñuble la más favorable (94.54%). En contraste, la accesibilidad vial y la distancia a zonas residenciales presentaron restricciones mínimas (>98%). La investigación destaca el potencial de los residuos líquidos domésticos como fuente dual de agua y nutrientes, lo que permite reducir la dependencia de agua dulce y fortalecer la productividad agrícola. Los resultados evidencian la utilidad de las herramientas geoespaciales para promover una agricultura más resiliente en contextos de escasez hídrica.

Palabras clave: *Residuos líquidos domésticos tratados; Riego agrícola; Análisis geoespacial; Textura de suelo.*

^a Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile (USACH), Chile.

^b Programa para el Desarrollo de Sistemas Productivos Sostenibles (PDSPS), Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile (USACH), Chile.

^c Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile (USACH), Chile.

ANEXOS

UBICACIÓN

SIMPOSIO
**CALIDAD
DE AGUA
DE USO
AGRÍCOLA**



PROGRAMA



08:30 a 14:30 h / Salón de Honor, Casa Central USACH, Las Sophoras #135, Estación Central

HORARIO	ACTIVIDAD	DURACIÓN	EXPONENTES
08.30 HRS	Acreditación	15 min	
08.45 HRS	Inauguración. Bienvenida Autoridades Modera Víctor Rivera.	15 min	Rodrigo Vidal Rojas Rector de la Universidad de Santiago de Chile, USACH Alan Espinoza Subsecretario de Agricultura Diego Varela Secretario Ejecutivo, ACHIPIA
BLOQUE INTRODUCTORIO. Modera: Víctor Rivera, ACHIPIA.			
09.00 HRS	Uso de Aguas en Agricultura Chilena: Riesgos Microbiológicos y Marco Regulatorio. Modera: Víctor Rivera, ACHIPIA.	15 min	Leonardo Farías. Instituto de Salud Pública, ISP
09.15 HRS	Impacto de la Inocuidad y la Calidad de Agua en el Sector Productivo Hortícola.	15 min	Cristián Muñoz HORTACH
BLOQUE EVALUACIÓN DE RIESGOS. Modera: Verónica García, USACH.			
09.30 HRS	Charla magistral: Improving public health decision-making through risk assessment.	30 min	Bing Wang. Universidad de Nebraska-Lincoln (en inglés)
10.00 HRS	Enfoque preventivo basado en riesgo, orientado en calidad de agua de riego y otros usos, para mejorar la Inocuidad Alimentaria en la Agricultura Familiar Campesina (AFC).	20 min	José Palacios USACH CECTA
10.20 HRS	Evaluación de la calidad del agua superficial: caso de estudio en el Biobío.	20 min	Ricardo Figueroa Consorcio Tecnológico del Agua (COTH₂O)
10.40 HRS	Evaluación de Riesgo de la reutilización de aguas residuales domiciliarias en el riego de productos hortofrutícolas.	20 min	Constanza Avello L. ACHIPIA
11.00 HRS	Caracterización fisicoquímica, microbiológica y de fitotoxicidad de aguas grises: Consideraciones para su reúso agrícola.	20 min	Gladys Vidal CHRIAM

Continuación PROGRAMA

HORARIO	ACTIVIDAD	DURACIÓN	EXPONENTES
11.20 HRS	PREGUNTAS Y RESPUESTAS DEL BLOQUE.	10 min	Expositores
11.30 HRS	Café / Presentación posters	15 min	
BLOQUE GESTIÓN DE RIESGOS. Modera: Nicolás Tobalina, ACHIPIA.			
11.45 HRS	Coordinación Programa Nacional Integrado: Experiencia del PNI de agua agrícola y trabajo futuro.	15 min	Lorena Galarce ACHIPIA
12.00 HRS	Orientaciones técnicas para aprobación de proyectos de reutilización de aguas grises.	20 min	Jorge Silva INDAP
12.20 HRS	Abordaje de la calidad de agua desde los estándares y requisitos de exportación como Global GAP y FSMA.	20 min	Moisés Leiva Chile Alimentos
12.40 HRS	Aguas residuales tratadas para el campo: Nueva normativa y riesgos en el uso agrícola.	20 min	Paola Cruz Depto. de Medio Ambiente - MINSAL
13.00 HRS	Tecnologías emergentes y oportunidades en el tratamiento y recuperación de agua para la agricultura.	20 min	Julio Romero Facultad de Ingeniería Química - USACH
13.20 HRS	Reúso de aguas servidas tratadas en el riego rural.	20 min	Jaime Vergara CNR
13.40 HRS	PREGUNTAS Y RESPUESTAS DEL BLOQUE.	10 min	Expositores
13.50 HRS	MESA DE DISCUSIÓN Modera: Manuel Miranda, ACHIPIA. ¿Cómo avanzar en la coordinación público-privada para el abordaje de la calidad de agua de uso agrícola en el marco del análisis de riesgo?	30 min	Autoridades
14.20 HRS	1. Conclusiones del Simposio. 2. Reconocimiento posters científicos 3. Firma compromiso / foto oficial	10 min	

— REPORTE —
**CALIDAD DE
AGUA DE USO
AGRÍCOLA**



— ORGANIZADORES —



CENTRO DE ESTUDIOS EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS (CECTA)



— COLABORADORES —



— PATROCINADOR —





— REPORTE —

CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA



REPORTE DEL PRIMER SIMPOSIO DE
CALIDAD DE AGUA DE USO AGRÍCOLA

ACHIPIA