MEMORIAS DEL CONGRESO ARGENTINO DE SUSTENTABILIDAD 2026



CIUDAD DE MAR DEL PLATA, BUENOS AIRES, ARGENTINA

19 Y 20 DE NOVIEMBRE DEL 2026



SAProCEA
SAPROCEA Editorial

SAPROCEA - Sociedad Argentina de Profesionales Ambientales
Memorias del Congreso Argentino de Sustentabilidad 2026. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: SAPROCEA, 2026.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-631-92133-0-0

1. Desarrollo Sustentable.
CDD 629.313
COD: 001.26

ISBN 978-631-92133-0-0

2026

SAPROCEA Editora – Sociedad Argentina de Profesionales Ambientales

CABA – Argentina - Web Institucional: www.saprocea.com.ar

Web del Congreso: www.congresoargentinodesustentabilidadsaprocea.com.ar

Primera Edición: Noviembre de 2026

SAProCEA
SOCIEDAD ARGENTINA DE PROFESIONALES, CONSULTORES Y EXPERTOS AMBIENTALES

PATROCINARON ESTE CONGRESO





ENTIDADES QUE AUSPICIARON EL CONGRESO

INTI- Instituto Nacional de Tecnología Industrial

Universidad Abierta Interamericana

Universidad Autónoma de Entre Ríos

Universidad Blas Pascal

Universidad Católica de Córdoba

Universidad Católica de Cuyo

Universidad de Flores

Universidad de La Punta

Universidad del Chubut

Universidad del Museo Social Argentino

Universidad Maimónides

Universidad Maza

Universidad Nacional de Entre Ríos

Universidad Nacional de la Patagonia Austral

Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Universidad Nacional de Luján

Universidad Nacional de Misiones

Universidad Nacional de Quilmes

Universidad Nacional de Río Cuarto

Universidad Nacional de Río Negro

Universidad Provincial de Ezeiza

Universidad Provincial de Laguna Blanca

Universidad Provincial de Sudoeste

Universidad Siglo 21

Universidad Tecnológica Buenos Aires EXTENSIÓN

Facultad de Agronomía y Agroindustrias- Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Ingeniería - Universidad FASTA

Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud - Universidad Nacional del Comahue

Instituto A.P. de Ciencias Básicas y Aplicadas de la Universidad Nacional de Villa María

Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral UNL -ICIAGRO LITORAL

Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente – ICBIA

Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales- ICPA – Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur

Instituto de Desarrollo Sostenible – UCCuyo

Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos, Biotecnología y Energías Alternativas - PROBIEN

Instituto Superior de Estudios Ambientales – ISEA - UNC Universidad Nacional de Córdoba

Laboratorio de Desarrollo Sostenible Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Nexus LAB Acción Climática y Sostenibilidad UTN Bs As

Asociación Argentina de Compostaje

Cámara Argentina de Laboratorios Independientes Bromatológicos, Ambientales y Afines – CALIBA

Cámara Argentina del Aerosol

Cámara Argentina del Agua

Cámara de la Industria de Reciclados Plásticos

Cámara Empresaria de Ambiente y Sostenibilidad - CEMAS

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Ambiental – CEDIA

CIMPAR – Comisión Público Privada de Sostenibilidad Ambiental

Colegio de Geología de la Provincia de San Luis – CGSL

Colegio de Profesionales del Ambiente de Neuquén

Colegio Profesional de Ciencias Bioquímicas de la Provincia de Córdoba – COBICO

Colegio Santafesino de Biotecnólogos

Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica de Corrientes – CPIAC

Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica de la República Argentina – CPIA

Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica de Río Negro – CPIA

Fundación Espacios Verdes

Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos Pcia. Bs. As.

Revista Gerencia Ambiental


Instituto Nacional
de Tecnología Industrial
INTI


UAI
Universidad Abierta
Interamericana


UADER
Universidad Autónoma de Entre Ríos


UBP
UNIVERSIDAD
Blas Pascal


UCC
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CÓRDOBA
JESUITAS


Universidad
Católica de Cuyo


UFLO
UNIVERSIDAD


Universidad de
LA PUNTA


Universidad
del Chubut


UMSA
UNIVERSIDAD
DEL MUSEO SOCIAL ARGENTINO


UNIVERSIDAD
FASTA
FACULTAD DE
INGENIERÍA


umai
Universidad
Maimónides


UNIVERSIDAD
MAZA


Universidad Nacional
de Entre Ríos


UNPA
Universidad Nacional
de la Patagonia Austral


UNLZ
Universidad Nacional
de Lomas de Zamora


UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJÁN


UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MISIONES


Universidad
Nacional
de Quilmes


UNRC
Universidad Nacional de
Río Cuarto


UNRN
Universidad Nacional
de Río Negro


UNIVERSIDAD
PROVINCIAL
DE EZEIZA


UPLaB
FORMOSA
UNIVERSIDAD PROVINCIAL
DE LAGUNA BLANCA


UNIVERSIDAD PROVINCIAL DEL SUDOESTE
USO
PROVINCIA DE BUENOS AIRES


UNIVERSIDAD
SIGLO 21
EXTENSIÓN
UTN BA
Facultad de
Agronomía y
Agroindustrias
Universidad Nacional de Santiago del Estero
unc
ciencia y
tecnología
UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE
CIENCIAS
AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
1972
FCAyF
Facultad de
Ciencias Agrarias
y Forestales
UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA
Instituto Académico
Pedagógico de Ciencias
Básicas y Aplicadas
Universidad
Nacional
Villa María
UNL
CONICET
ICIAGRO LITORAL
CONICET
UNRC
I C B I A
CONICET
P R O B I E N
INSTITUTO DE
DESARROLLO
SOSTENIBLE
ICPA
Instituto de Ciencias Polares
Ambiente y Recursos Naturales
ISEA
Instituto Superior de
Estudios Ambientales
LABDES
Laboratorio de desarrollo sostenible | UNLZ
NEXUS
LAB
ASACOMP
CALIBA
CADEA
CAMARA ARGENTINA
DEL AEROSOL
CAA
CÁMARA ARGENTINA DEL AGUA


CAIRPLAS
CAMARA DE LA INDUSTRIA DE RECICLADOS PLASTICOS


CEMAS
Cámara Empresaria de Ambiente
y Sostenibilidad


CEDIA
UTN - FRT


CIMPAR
25 años


CGSL
COLEGIO DE GEOLOGIA DE LA
PROVINCIA DE SAN LUIS


CPAN
Colegio de
Profesionales del
Ambiente de Neuquen


Cobico
Colegio Profesional de Ciencias Bioquímicas
de la Provincia de Córdoba


COLEGIO
SANTAFESINO
DE BIOTECNÓLOGOS


C.P.I.A.C.


cpia
RIO NEGRO


Fundación
Espacios Verdes
Educación para la sustentabilidad


GA
GERENCIA
AMBIENTAL


CPIA
Consejo Profesional de
Ingeniería Agronómica
de la República Argentina


BUENOS
AIRES
Dirección Provincial de Planificación y
Gestión para el Desarrollo Sostenible

COMISIÓN ORGANIZADORA

PRESIDENTE DE SAPROCEA

Lic./Esp. Ing. Amb. Karen Olexen

SECRETARIA DE LA COMISIÓN DIRECTIVA

Dra. María Victoria Marchisio

SECRETARIA DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

Lic. Stella Maris Sudol

MIEMBROS DE LA COMISIÓN DIRECTIVA DE LA ENTIDAD

PROFESIONALES COLABORADORES DEL COMITÉ TÉCNICO DE SAPROCEA

COMITÉ CIENTIFICO EVALUADOR DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Balbi, Celsa Noemí – Dra. Educación/Mg. Prod. Veg./Ing. Agrónoma (UNNE- INTA)

Campos, Valeria Evelin – Dra. en Cs. Biol. – (CIGEOBIO -CONICET-UNSJ)

Charriere, Margarita – Dra. (SAPROCEA – ex INA, OPDS MAPBA, ACUMAR)

Magaz, Graciela Elisabet – Dra. en Química (UB – UCES- UBA- AQA- IEIA)

Marinero, Nancy Verónica – Dra. Cs. Biológicas (CONICET- FCEFyN –UNSJ – IRPHa)

Olexen, Karen- Lic./Esp. Ing. Ambiental (SAPROCEA)

Rodriguez, Axia Inés – Dra. En Cs. Geológicas (INEAA – CONICET- UNSJ)

Urseler, Noelia Luján – Dra. en Cs. Agro. Alim./Ing. Agrónoma (UNVM – CONICET)

Vignola, María Belén – Dra. Cs. Agrop. / Bióloga (CONICET – INPROSUS – UTN)

Zubiaurre, Juan Lucas – Lic. D. y G. Ambiental (UNICEN- Grupo BIOGAS del INTI-INTA)

Zufiaurre, Emmanuel- Dr. Cs. Biológicas (CONICET – UNSADA – UNNOBA)

PRÓLOGO

En Argentina existen muchos investigadores que trabajan arduamente para contribuir al desarrollo sustentable del país. En universidades públicas y privadas, en centros de investigación y también en el ámbito privado, se llevan a cabo estudios y desarrollos que merecen ser visibilizados.

Desde la Sociedad Argentina de Profesionales Ambientales SAPROCEA creemos que es sumamente importante ayudar con la difusión entre pares, la vinculación provechosa y la divulgación al público en general de esos avances y valiosos aportes.

Comprendíamos también que a nivel nacional aún no existía un evento exclusivo integral del ámbito ambiental y del desarrollo sustentable que tuviera, además, permanencia en el tiempo, donde estos investigadores pudieran visibilizar tanto sus resultados como sus esfuerzos diarios.

Es por ello que hemos tomado la importante decisión, como institución, de crear el Primer Congreso Argentino de Sustentabilidad y, dentro del mismo, dar el espacio que estos investigadores se merecen.

Agradecemos a todas las Universidades y Centros de Investigación que no han dudado en dar el primer paso y brindar el auspicio a este evento al confiar en nuestra tarea. También damos las gracias al sector privado por el auspicio y patrocinio de empresas, así como de importantes Cámaras Empresariales; ellas también comprendieron la necesidad de crear este punto de encuentro entre instituciones, investigadores y empresas.

En esta primera edición se han seleccionado 40 trabajos de investigación de toda Argentina. Esperamos que en años posteriores puedan sumarse muchos más. Nuestro agradecimiento también a los investigadores que han aportado su trabajo y decidieron participar. Y, por último, pero no menos importante, cabe destacar el trabajo del Comité Científico Técnico, cuyos miembros, con toda la buena predisposición, colaboraron en la selección y evaluación de los trabajos; sin ellos no hubieran sido posibles estas Memorias del Congreso.

En particular, entendemos que los trabajos de investigación y los desarrollos no deben quedar aislados en círculos científicos y profesionales circunscriptos a un evento, sino que, por el contrario, deben ser visibles para todos aquellos a quienes, día a día en cada rincón de Argentina, estos conocimientos pueden serles de suma utilidad. Por ello, estas Memorias no solo serán distribuidas en el evento, sino que serán difundidas durante todo el año 2026 y 2027, llegando a todo el país para colaborar en la correcta

divulgación de las investigaciones presentadas y para generar posteriores intercambios entre pares, así como posibles vinculaciones provechosas.

Deseamos que las Memorias del Congreso Argentino de Sustentabilidad 2026 (y las que posteriormente se vayan sumando anualmente) se conviertan en una novedosa herramienta de diálogo y de cambio hacia un real desarrollo sustentable argentino.

De hoy en adelante asumimos el compromiso de colaborar con los investigadores argentinos mediante esta acción y de mantener todos los años la oferta permanente del Congreso Argentino de Sustentabilidad como la Reunión Anual de Profesionales Ambientales, para que, a partir de ahora, todas las investigaciones relacionadas con temas ambientales y de sustentabilidad tengan un espacio formal y estable para expresarse como corresponde.

Les deseamos muchas y provechosas consecuencias positivas derivadas de la publicación de su trabajo y esperamos encontrarnos en ediciones posteriores.



Lic./Esp. Ing. Amb. Karen Olexen

PRESIDENTE SAPROCEA

INDICE DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

INDICE POR EJES TEMÁTICOS, ORDEN ALFABETICO DE LOS AUTORES Y TÍTULO DEL TRABAJO

EJES TEMÁTICOS	Pág.
AGRO SUSTENTABLE	
Barral, M.; Codazzi, F.; Góngora, S.; Okada, E.; Pérez, D.; Sanz Smachetti, M.; Sirimarco, M. - DEGRADACIÓN DE ANTIBIÓTICOS DE USO VETERINARIO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PECUARIOS PORCINOS	23
Lamas, V.; Besold, S. S. - METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MULTIDIMENSIONAL DE SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS AGROPECUARIOS DIVERSIFICADOS DE MISIONES, ARGENTINA	27
Raia, A.; Manrique, P. - TECNOLOGÍAS DE PROCESOS EN LA TRANSICIÓN HACIA UNA GANADERÍA SUSTENTABLE: AUTONOMÍA FORRAJERA, CARGA ANIMAL Y SALUD DEL ECOSISTEMA EN UN ESTABLECIMIENTO PASTORIL DEL SUDOESTE BONAERENSE, 2021-2026 (Raia, A.; Manrique, P.)	37
Torraca Argüelles, R.; Fernández, H.; Fernández Etchegaray, V.; López, F.; Moisés, J. - VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE POLLOS PARRILLEROS ALIMENTADOS CON HIDROXITIROSOL: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST OBTENIDO	47

CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES	
Adaro, J. A.; Barbero, V. E.; Brandana, A. G.; Cassini, M. J.; Estévez, S. J.; Marquez, D.; Romero, H. F. - EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO MEDIANTE CUBIERTAS VEGETADAS EN RÍO CUARTO, CÓRDOBA, ARGENTINA	51
Barbero, C.; Bruno, M.; Cotella, N.; de Prada, R.; Gallo D.; Serra, M. - MORTEROS CON BIOCARBÓN COMO SUMIDEROS PASIVOS DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE: EVALUACIÓN MECÁNICA	61
Beck, J. - DE LA CERTIFICACIÓN AMBIENTAL AL MODELO DE GESTIÓN PARA UNA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE	65
Fanelli, S.; Macedo, G.U. - LA PROBLEMÁTICA DE LOS CAMINOS RURALES DESDE UNA PERSPECTIVA SUSTENTABLE	74
Moretti, A.; Bosani, A.; Soldatti, M. E.; Odobez, N.; Parente, J. - LA BIOCONSTRUCCION COMO EMERGENTE AMBIENTAL SUSTENTABLE	80

EMPRESAS SUSTENTABLES	
Acevedo, D.; Antonelli, S.; Bruno, M.; Cotella, N.; Gallo, D.; Soler, L. - BIOCARBÓN DE CÁSCARA DE MANÍ EN COMPUESTOS CEMENTICIOS SOSTENIBLES PARA PUESTAS A TIERRA: ESTUDIO DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO	85
Alvarez, A.; Osuna, M.; Polischuk, T.; Romero C.; Stefanoff S. - CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN Y GESTIÓN DEL BAGAZO CERVECERO ARTESANAL: OPORTUNIDADES DE VALORIZACIÓN EN EMPRESAS CHAQUEÑAS	89
Casasola, L.; Giovanetti, M. - ECONOMÍA CIRCULAR Y REGENERACIÓN SOCIAL: DESARROLLO DE BIOTEXTILES Y REFORESTACIÓN A NIVEL FEDERAL	100
Nisenbaum, M.; Agustinelli, S.; Intas, L.; Murialdo, S.; Ruiz, D. - DE RESIDUOS ORGÁNICOS LOCALES A BIOMATERIALES: VALORIZACIÓN BIOTECNOLÓGICA PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA	108

INVESTIGACIONES AMBIENTALES E INNOVACIONES EN DESARROLLO	
Acosta, M. L.; Cabane, M. D. - DIAGNÓSTICO LOCAL DE UNA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL GLOBAL: BASES PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO POSCONSUMO EN COMODORO RIVADAVIA	117
Alcover, J.; Bergamaschi, M.; Ferreyra, L.; Leombruno, M.; Módica, C.; Lucenti, N.; Luisetti, J.; Ravagnan, A.; Rudolf, L.; Martinet, R.; Stoppani, F. - TRATAMIENTO DE LA LEVADURA RESIDUAL DE DESCARTE PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL Y SU POSIBLE REVALORIZACIÓN NUTRICIONAL	121
Araoz, M.; Di Yacovo, M.; Simone, D. - NEUQUÉN BAJO LA LUPA: LO QUE 600 VIVIENDAS RELEVADAS REVELAN SOBRE EL DERROCHE DE AGUA, GAS Y ELECTRICIDAD	125
Barone, E.; Chait, E.; Civeira, G.; Mansilla, R.; Pintos, M.; Santachita, S.; Vasarhelsy, S. - GENERAL LAVALLE SOSTENIBLE: ESTRATEGIAS PARA EL EQUILIBRIO AMBIENTAL Y SOCIO- ECONÓMICO	129
Bayerque, J. I.; Suárez, P. A. - CÁMARAS DE CULTIVO VEGETAL SUSTENTABLES A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS: DESARROLLO, ADAPTABILIDAD Y VALIDACIÓN EN INVESTIGACIÓN	132
Beltramone, G.; Cueto, C.; Davies, A.; Domínguez, G.; Gil, F.; Pons, D.; Vanoli Faustinelli; L.; Venencia, V. - EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE BAJO COSTO Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA MEDIANTE MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA SUPERFICIAL. CASO DE ESTUDIO: CAMPUS UBP, CÓRDOBA, ARGENTINA	139
Bertola, N.; Castro, J.; Romero, C.; Sosa-Goy, M.; Osuna, M. - ECONOMÍA CIRCULAR Y SUSTENTABILIDAD: EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE CÁSCARAS DE MAMÓN (CARICA PAPAYA L.)	143
Blázquez, P.; Escobar, Y.; Montero, M. C.; Poggio, J. - INFRAESTRUCTURA VERDE PARA CIUDADES RESILIENTES: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES	150
Castro, C. I.; Castro, D. I.; Mendoza, D.; Mendoza, P. A.; Moya; L. - TECNOLOGÍAS APLICADAS AL USO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FACULTAD REGIONAL ORÁN: PRIMEROS PASOS	153
Cervera, C.; Mateo, F. - CONSOLIDACIÓN DE CAPACIDADES DE INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EDILICIA MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA EXPERIMENTAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	158
Faggi, A.; Figueira, A.; Iglesias, G. Y. - DE LA HUELLA DE CARBONO A LA ACCIÓN CLIMÁTICA: ESTRATEGIA INSTITUCIONAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES Y FORESTACIÓN PARTICIPATIVA EN LA UNIVERSIDAD DE FLORES	165

Lami, M. V.; Fernández Pepi, M. G.; Ferrero Holtz, E. W. - LABORATORIO DE ECOLOGÍA URBANA Y HERBARIO ELISA NICORA: DESARROLLO INSTITUCIONAL PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN LA UNIVERSIDAD CAECE	173
Marcellini, M. G.; Gere, J. I. - ¿LOS FACTORES DE EMISIÓN DESARROLLADOS LOCALMENTE GENERAN INVENTARIOS CON UNA MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL METANO ATMOSFÉRICO?	178
Michaux, M. C.; Cano Jofré, A.C. - CONTROL SOLAR Y PROPIEDADES ÓPTICAS EN EL DESEMPEÑO LUMÍNICO DE UNA VIVIENDA SOCIAL EN CLIMA ÁRIDO	184
Montero, M.C. - PRIORIZACIÓN DE ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA SUSTENTABLE EN VIVIENDAS DE BAHÍA BLANCA	197
Parra, F. D.; Bandiera, L.; Cavello, I. A.; Coppotelli, B. M.; Macchi M. - CARACTERIZACIÓN METABÓLICA DE CEPAS BACTERIANAS HALOTOLERANTES DEGRADADORAS DE HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS PARA EL DISEÑO RACIONAL DE UN PROCESO DE BIOAUMENTO	201
Pinto, N.; Aquino, D.; Cuenca Pletsch, L.; Morgada, M. E. - DIGITALIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA	204
Prieto Benitez, O.; Gayol, M. F.; Gutierrez, M. S.; Magallanes, L. M. - VALORIZACIÓN INTEGRADA DEL ACEITE ÁCIDO DE MAÍZ DE LA INDUSTRIA DEL BIOETANOL: DESACIDIFICACIÓN, DESGOMADO Y PRODUCCIÓN EXPERIMENTAL DE FAEE	208

MINERÍA Y PETRÓLEO SUSTENTABLE	
Marenchino, R.; Monge, N. - ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RESINA COMERCIAL EN LA ESTERIFICACIÓN DE ÁCIDO OLEICO	217

TECNOLOGÍAS AMBIENTALES	
Arias, A.; Cardinal, M.; Gargiulo, J.; Roitberg, E.; Violi, I. - SERS ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE O-XILENO EN AGUA	222
Crespo, S.; Mancinelli, B.; Morgade, C.; Ulacco S. - CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUA: HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA REMEDIACIÓN DE METALES PESADOS	226
Cutini, P.; Morgade, C.; Neyertz, C.; Sandoval, M. - BiOI: UN MATERIAL MULTIFUNCIONAL DE NUEVA GENERACIÓN PARA LA REMEDIACIÓN AMBIENTAL INTEGRAL, REMOCIÓN SIMULTÁNEA DE PLOMO, ANTIBIÓTICOS Y CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA	230
Moya, N. S.; González, M. C.; Murillo, M. D.; Reguera, M. C.; Serrano, C. R. - SUSTENTABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: CRITERIOS INTEGRADOS Y VACANCIAS PARA UN TRATAMIENTO ADECUADO AL USO (FIT-FOR-PURPOSE)	234
Pizarro, A. V.; Beccaria, A. J.; Márquez, V. E.; Modini, L. B.; Zerbatto, M. G. - FICORREMEDIACIÓN COMO TRATAMIENTO TERCIARIO PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE EFLUENTES TRATADOS EN HUMEDALES CONSTRUIDOS INTEGRADOS A UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA	243
Rodriguez, A. I.; Bursztyn Fuentes, A. L.; Gómez Andrade, V. A.; Leal, P. R.; López Sánchez, B.; Pérez, M. D.; Rodríguez, P.; Sinistro R.; Vera, M. S.; Trinelli, M. A. - REMEDIACIÓN DEL AGUA CONTAMINADA CON ARSÉNICO Y GLIFOSATO UTILIZANDO ZEOLITAS Y COMUNIDADES ACUÁTICAS	246
Sidders, F.; Currá, R.; Ferreiro, N.; Kravetz, S.; Zunino, E. - EFECTO DE DISTINTAS MEZCLAS DE SUSTRATOS LIGNOCELULOSICOS SOBRE LAS PROPIEDADES DE MICOMATERIALES ELABORADOS CON AURICULARIA (FUNGI: BASIDIOMYCOTA)	252
Villalba, G.; Cipolla, H.; Linfante. A.; Snyders, F. - INTEGRACIÓN AMBIENTAL Y PAISAJÍSTICA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN EL ACUÍFERO COSTERO DE COSTA ESMERALDA	256

INDICE POR ORDEN ALFABETICO DEL TÍTULO DEL TRABAJO

¿LOS FACTORES DE EMISIÓN DESARROLLADOS LOCALMENTE GENERAN INVENTARIOS CON UNA MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL METANO ATMOSFÉRICO? (Marcellini, M. G.; Gere, J. I.)	178
ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RESINA COMERCIAL EN LA ESTERIFICACIÓN DE ÁCIDO OLEICO (Marenchino, R.; Monge, N.)	217
BIOCARBÓN DE CÁSCARA DE MANÍ EN COMPUESTOS CEMENTICIOS SOSTENIBLES PARA PUESTAS A TIERRA: ESTUDIO DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO (Acevedo, D.; Antonelli, S.; Bruno, M.; Cotella, N.; Gallo, D.; Soler, L.)	85
BiOI: UN MATERIAL MULTIFUNCIONAL DE NUEVA GENERACIÓN PARA LA REMEDIACIÓN AMBIENTAL INTEGRAL, REMOCIÓN SIMULTÁNEA DE PLOMO, ANTIBIÓTICOS Y CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA (Cutini, P.; Morgade, C.; Neyertz, C.; Sandoval, M.)	230
CÁMARAS DE CULTIVO VEGETAL SUSTENTABLES A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS: DESARROLLO, ADAPTABILIDAD Y VALIDACIÓN EN INVESTIGACIÓN (Bayerque, J. I.; Suárez, P. A.)	132
CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN Y GESTIÓN DEL BAGAZO CERVECERO ARTESANAL: OPORTUNIDADES DE VALORIZACIÓN EN EMPRESAS CHAQUEÑAS (Alvarez, A.; Osuna, M.; Polischuk, T.; Romero C.; Stefanoff S.)	89
CARACTERIZACIÓN METABÓLICA DE CEPAS BACTERIANAS HALOTOLERANTES DEGRADADORAS DE HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS PARA EL DISEÑO RACIONAL DE UN PROCESO DE BIOAUMENTO (Parra, F. D.; Bandiera, L.; Cavello, I. A.; Coppotelli, B. M.; Macchi M.)	201
CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUA: HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA REMEDIACIÓN DE METALES PESADOS (Crespo, S.; Mancinelli, B.; Morgade, C.; Ulacco S.)	226
CONSOLIDACIÓN DE CAPACIDADES DE INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EDILICIA MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA EXPERIMENTAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (Cervera, C.; Mateo, F.)	158
CONTROL SOLAR Y PROPIEDADES ÓPTICAS EN EL DESEMPEÑO LUMÍNICO DE UNA VIVIENDA SOCIAL EN CLIMA ÁRIDO (Michaux, M. C.; Cano Jofré, A.C.)	184
DE LA CERTIFICACIÓN AMBIENTAL AL MODELO DE GESTIÓN PARA UNA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE (Beck, J.)	65
DE LA HUELLA DE CARBONO A LA ACCIÓN CLIMÁTICA: ESTRATEGIA INSTITUCIONAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES Y FORESTACIÓN PARTICIPATIVA EN LA UNIVERSIDAD DE FLORES (Faggi, A.; Figueira, A.; Iglesias, G. Y.)	165
DE RESIDUOS ORGÁNICOS LOCALES A BIOMATERIALES: VALORIZACIÓN BIOTECNOLÓGICA PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA (Nisenbaum, M.; Agustinelli, S.; Intas, L.; Murialdo, S.; Ruiz, D.)	108

DEGRADACIÓN DE ANTIBIÓTICOS DE USO VETERINARIO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PECUARIOS PORCINOS (Barral, M.; Codazzi, F.; Góngora, S.; Okada, E.; Pérez, D.; Sanz Smachetti, M.; Sirimarco, M.)	23
DIAGNÓSTICO LOCAL DE UNA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL GLOBAL: BASES PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO POSCONSUMO EN COMODORO RIVADAVIA (Acosta, M. L.; Cabane, M. D.)	117
DIGITALIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA (Pinto, N.; Aquino, D.; Cuenca Pletsch, L.; Morgada, M. E.)	204
ECONOMÍA CIRCULAR Y REGENERACIÓN SOCIAL: DESARROLLO DE BIOTEXTILES Y REFORESTACIÓN A NIVEL FEDERAL (Casasola, L.; Giovanetti, M.)	100
ECONOMÍA CIRCULAR Y SUSTENTABILIDAD: EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE CÁSCARAS DE MAMÓN (CARICA PAPAYA L.) (Bertola, N.; Castro, J.; Romero, C.; Sosa-Goy, M.; Osuna, M.)	143
EFECTO DE DISTINTAS MEZCLAS DE SUSTRATOS LIGNOCELULOSICOS SOBRE LAS PROPIEDADES DE MICOMATERIALES ELABORADOS CON AURICULARIA (FUNGI: BASIDIOMYCOTA) (Sidders, F.; Currá, R.; Ferreiro, N.; Kravetz, S.; Zunino, E.)	251
EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE BAJO COSTO Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA MEDIANTE MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA SUPERFICIAL. CASO DE ESTUDIO: CAMPUS UBP, CÓRDOBA, ARGENTINA (Beltramone, G.; Cueto, C.; Davies, A.; Domínguez, G.; Gil, F.; Pons, D.; Vanoli Faustinelli; L.; Venencia, V.)	139
EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO MEDIANTE CUBIERTAS VEGETADAS EN RÍO CUARTO, CÓRDOBA, ARGENTINA (Adaro, J. A.; Barbero, V. E.; Brandana, A. G.; Cassini, M. J.; Estévez, S. J.; Marquez, D.; Romero, H. F.)	51
FICORREMEDIACIÓN COMO TRATAMIENTO TERCIARIO PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE EFLUENTES TRATADOS EN HUMEDALES CONSTRUIDOS INTEGRADOS A UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA (Pizarro, A. V.; Beccaria, A. J.; Márquez, V. E.; Modini, L. B.; Zerbatto, M. G.)	243
GENERAL LAVALLE SOSTENIBLE: ESTRATEGIAS PARA EL EQUILIBRIO AMBIENTAL Y SOCIO- ECONÓMICO (Barone, E.; Chait, E.; Civeira, G.; Mansilla, R.; Pintos, M.; Santachita, S.; Vasarhelsy, S.)	129
INFRAESTRUCTURA VERDE PARA CIUDADES RESILIENTES: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES (Blázquez, P.; Escobar, Y.; Montero, M. C.; Poggio, J.)	150
INTEGRACIÓN AMBIENTAL Y PAISAJÍSTICA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN EL ACUÍFERO COSTERO DE COSTA ESMERALDA (Villalba, G.; Cipolla, H.; Linfante. A.; Snyders, F.)	256

LA BIOCONSTRUCCION COMO EMERGENTE AMBIENTAL SUSTENTABLE (Moretti, A.; Bosani, A.; Soldatti, M. E.; Odobez, N.; Parente, J.)	80
LA PROBLEMÁTICA DE LOS CAMINOS RURALES DESDE UNA PERSPECTIVA SUSTENTABLE (Fanelli, S.; Macedo, G.U.)	74
LABORATORIO DE ECOLOGÍA URBANA Y HERBARIO ELISA NICORA: DESARROLLO INSTITUCIONAL PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN LA UNIVERSIDAD CAECE (Lami, M. V.; Fernández Pepi, M. G.; Ferrero Holtz, E. W.)	173
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MULTIDIMENSIONAL DE SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS AGROPECUARIOS DIVERSIFICADOS DE MISIONES, ARGENTINA (Lamas, V.; Besold, S. S.)	27
MORTEROS CON BIOCARBÓN COMO SUMIDEROS PASIVOS DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE: EVALUACIÓN MECÁNICA (Barbero, C.; Bruno, M.; Cotella, N.; de Prada, R.; Gallo D.; Serra, M.)	61
NEUQUÉN BAJO LA LUPA: LO QUE 600 VIVIENDAS RELEVADAS REVELAN SOBRE EL DERROCHE DE AGUA, GAS Y ELECTRICIDAD (Araoz, M.; Di Yacovo, M.; Simone, D.)	125
PRIORIZACIÓN DE ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA SUSTENTABLE EN VIVIENDAS DE BAHÍA BLANCA (Montero, M.C.)	197
REMEDIACIÓN DEL AGUA CONTAMINADA CON ARSÉNICO Y GLIFOSATO UTILIZANDO ZEOLITAS Y COMUNIDADES ACUÁTICAS (Rodriguez, A. I.; Bursztyn Fuentes, A. L.; Gómez Andrade, V. A.; Leal, P. R.; López Sánchez, B.; Pérez, M. D.; Rodríguez, P.; Sinistro R.; Vera, M. S.; Trinelli, M. A.)	246
SERS ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE O-XILENO EN AGUA (Arias, A.; Cardinal, M.; Gargiulo, J.; Roitberg, E.; Violi, I.)	222
SUSTENTABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: CRITERIOS INTEGRADOS Y VACANCIAS PARA UN TRATAMIENTO ADECUADO AL USO (FIT-FOR-PURPOSE) (Moya, N. S.; González, M. C.; Murillo, M. D.; Reguera, M. C.; Serrano, C. R.)	234
TECNOLOGÍAS APLICADAS AL USO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FACULTAD REGIONAL ORÁN: PRIMEROS PASOS (Castro, C. I.; Castro, D. I.; Mendoza, D.; Mendoza, P. A.; Moya; L.)	153
TECNOLOGÍAS DE PROCESOS EN LA TRANSICIÓN HACIA UNA GANADERÍA SUSTENTABLE: AUTONOMÍA FORRAJERA, CARGA ANIMAL Y SALUD DEL ECOSISTEMA EN UN ESTABLECIMIENTO PASTORIL DEL SUDOESTE BONAERENSE, 2021-2026 (Raia, A.; Manrique, P.)	37
TRATAMIENTO DE LA LEVADURA RESIDUAL DE DESCARTE PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL Y SU POSIBLE REVALORIZACIÓN NUTRICIONAL (Alcover, J.; Bergamaschi, M.; Ferreyra, L.; Leombruno, M.; Módica, C.; Lucenti, N.; Luisetti, J.; Ravagnan, A.; Rudolf, L.; Martinet, R.; Stoppani, F.)	121
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE POLLOS PARRILLEROS ALIMENTADOS CON HIDROXITIROSOL: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST OBTENIDO (Torraca Argüelles, R.; Fernández, H.; Fernández Etchegaray, V.; López, F.; Moisés, J.)	47

VALORIZACIÓN INTEGRADA DEL ACEITE ÁCIDO DE MAÍZ DE LA INDUSTRIA DEL BIOETANOL: DESACIDIFICACIÓN, DESGOMADO Y PRODUCCIÓN EXPERIMENTAL DE FAEE (Prieto Benitez, O.; Gayol, M. F.; Gutierrez, M. S.; Magallanes, L. M.)	208

EJE TEMÁTICO AGRO SUSTENTABLE

DEGRADACIÓN DE ANTIBIÓTICOS DE USO VETERINARIO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PECUARIOS PORCINOS

Barral, M.; Codazzi, F.; Góngora, S.; Okada, E.; Pérez, D.; Sanz Smachetti, M.; Sirimarco, M.
Facultad de Ingeniería - Universidad Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino
Buenos Aires
camigongora73@ufasta.edu.ar

RESUMEN

En este estudio, se evaluó la eficiencia en un sistema de tratamiento de efluentes porcinos basado en digestión anaeróbica (DA) y lagunas de estabilización para la remoción de cinco antibióticos veterinarios (AVs), así como su persistencia en suelos enmendados con digerido. Se realizó la caracterización de la cuenca donde está emplazado el establecimiento mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se realizaron tres campañas de muestreo durante 2024 y los AVs se determinaron mediante cromatografía líquida de ultra-alta resolución acoplada a espectrometría de masas en tándem (UHPLC-MS/MS). La DA presentó una remoción variable según el compuesto, mientras que las lagunas de estabilización constituyeron la principal etapa de reducción. En los suelos enmendados solo se detectaron ciprofloxacina y enrofloxacina, con baja movilidad potencial. Estos resultados aportan información para optimizar el tratamiento de efluentes y reducir el impacto ambiental de los AVs.

INTRODUCCIÓN

La intensificación de los sistemas productivos pecuarios ha incrementado el uso de AVs con fines terapéuticos, profilácticos y como promotores de crecimiento. Una fracción significativa de estos compuestos no se metaboliza y es excretada por heces y orina de los animales, pudiendo eliminarse entre el 70 y el 90% del antibiótico administrado (Massé *et al.*, 2014). En consecuencia, la presencia de AVs en el ambiente favorece la selección y diseminación de bacterias y genes resistentes, constituyendo un importante desafío ambiental y sanitario (McCormick *et al.*, 2023). La DA y el postratamiento mediante lagunas de estabilización representan una alternativa para el tratamiento de efluentes pecuarios; sin embargo, su eficiencia para la degradación de AVs en condiciones operativas ha sido escasamente estudiada.

OBJETIVOS

En un establecimiento de producción porcina del Sudeste Bonaerense: 1) Estudiar el potencial de remoción, persistencia, degradación y destino ambiental de AVs mediante DA y lagunas de estabilización aeróbicas; 2) Analizar la calidad del digerido siguiendo la normativa vigente, para su uso como enmienda orgánica de suelos agrícolas; 3) Analizar la presencia de AVs en suelos enmendados con digerido para garantizar la sustentabilidad del sistema de valorización de residuos.

DESARROLLO/RESULTADOS

Para caracterizar la cuenca donde se encuentra emplazado el establecimiento de producción porcina en estudio, se utilizaron herramientas de SIG y un modelo de elevación digital (DEM) que permitió determinar las condiciones hidrológicas, climáticas y edáficas de la cuenca (Figura 1A). Para conocer el manejo sanitario animal, uso y dosis de aplicación de AVs y el sistema de efluentes implementado, se realizó una encuesta semiestructurada al productor. Se realizaron tres campañas de muestreo durante al año 2024 (Otoño: 3/06, Invierno: 17/09, Primavera: 13/11), donde se colectaron muestras de la cámara de purines (CP), cámara de digerido (CD), las tres lagunas de estabilización conectadas en serie (L1, L2 y L3) y suelos, control sin aplicación de digerido (SC) y enmendado (SE), según correspondía (Figura 1B). Se realizaron análisis de parámetros de calidad para aplicación de digeridos según Resolución SENASA Nº 19/2019. Por último, se identificaron cinco AVs —ciprofloxacina (CIPRO), enrofloxacina (ENRO), oxitetraciclina (OXI), tilmicosina (TILMI) y tilosina (TILO)— en muestras de efluentes, digeridos y suelos, mediante UHPLC-MS/MS.



Figura 1. A) Delimitación de la cuenca y modelo de elevación digital. B) Sitios de toma de muestras: (1) CP: Cámara de purines, (2) CD: Cámara de digerido, (3-5) L1-L3: Lagunas de estabilización, (6) SC: Suelo control y SE: Suelo enmendado.

La calidad microbiológica del digerido cumplió con los criterios establecidos para *Salmonella* spp. y coliformes fecales. Sin embargo, no alcanzó los valores requeridos para E. *coli*, y el biogás residual (971 mL/g SV) superó el límite establecido por la normativa. La Figura 2 muestra las concentraciones de AVs en las tres campañas de muestreo: la TILMI superó los 700 ppb en CP y la CIPRO los 230 ppb en CD, mientras que en suelos solo se detectaron trazas de CIPRO y ENRO (5,47 ppb y 8,75 ppb respectivamente). La DA removió principalmente ENRO y OXI, y las mayores eficiencias de remoción se obtuvieron en las lagunas de estabilización (Tabla 1). Los valores negativos de remoción equivalen a un incremento de la concentración de AVs en la etapa de tratamiento. El análisis geoespacial indicó que CIPRO y ENRO podrían

alcanzar el arroyo Las Brusquitas por escorrentía superficial debido a su baja movilidad y elevada retención en el suelo (Figura 1A).

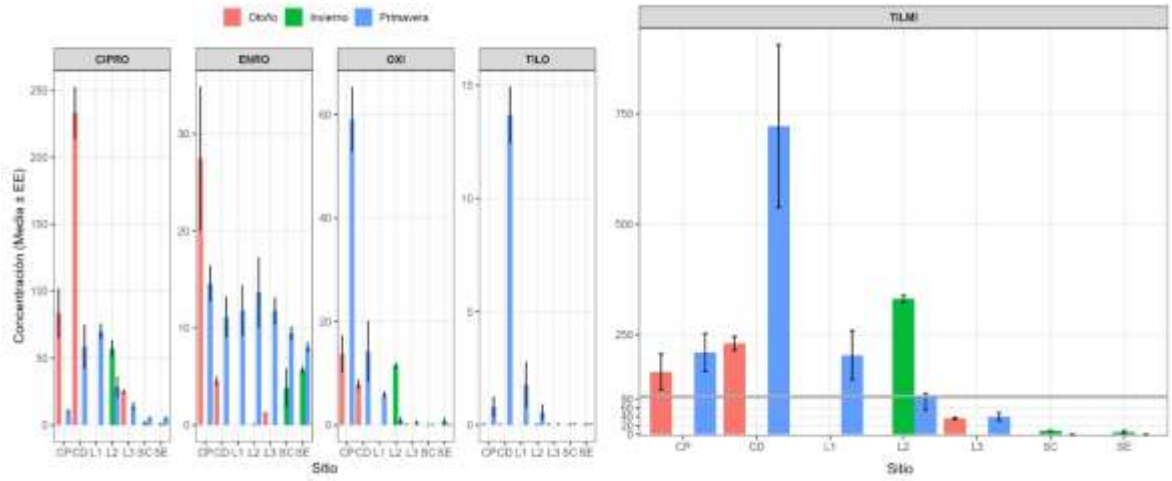


Figura 2. Concentración de AVs por sitios para las tres campañas de muestreo (ppb: µg/L para muestras líquidas y µg/kg para muestras sólidas).

Tabla 1. Remoción global de AVs en el sistema de tratamiento de efluentes porcinos.

Etapas	CIPRO	ENRO	OXI	TILMI	TILO
CP - L3	-32,8	19,5	99,0	80,9	93,8
CP - CD	-447,2	23,8	75,9	-243,7	-1588,3
CD - L3	75,7	-5,8	96,1	94,4	99,6

CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento evaluado redujo las concentraciones de AVs, aunque con eficiencias variables según el compuesto. La DA presentó limitaciones para la remoción de algunos AVs y el acondicionamiento microbiológico, mientras que las lagunas de estabilización constituyeron una etapa clave para mejorar la calidad final del digerido, aunque no resultó suficiente para asegurar la calidad para su aplicación como enmienda orgánica. El análisis geoespacial indicó una baja movilidad de los compuestos detectados en el suelo y resaltó la importancia del tratamiento previo del digerido antes de su aplicación agrícola. En conjunto, estos resultados aportan información relevante para optimizar la gestión de efluentes porcinos, reducir el potencial impacto ambiental asociado a los AVs y fortalecer la valorización agronómica del digerido, contribuyendo a sistemas productivos más sostenibles.

CITAS

Massé, D. I., Cata Saady, N. M., & Gilbert, Y. (2014). Potential of biological processes to eliminate antibiotics in livestock manure: an overview. Animals, 4(2), 146-163.

McCormick, B. P., Quiroga, M. P., Álvarez, V. E., Centrón, D., & Tittonell, P. (2023). Antimicrobial resistance dissemination associated with intensive animal production practices in Argentina: A systematic review and meta-analysis. Revista argentina de microbiología, 55(1), 91-100.

Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). Norma técnica para la aplicación agrícola de digerido proveniente de plantas de digestión anaeróbica (Resolución 19/2019). Boletín Oficial de la República Argentina. https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/200656/20190124

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MULTIDIMENSIONAL DE SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS AGROPECUARIOS DIVERSIFICADOS DE MISIONES, ARGENTINA

Lamas, V.; Besold, S. S.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA
Misiones
lamas.veronica@inta.gob.ar

RESUMEN

En regiones de alta complejidad ambiental, económica y social como la provincia de Misiones, la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios constituye un pilar estratégico para el desarrollo territorial. En este contexto, resulta necesario disponer de metodologías que permitan evaluar de manera integral estos sistemas y orientar procesos de mejora continua. Mediante la aplicación del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad – MESMIS – y el trabajo articulado entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y dos Escuelas de la Familia Agrícola, se diseñó e implementó una metodología de evaluación multidimensional en 41 sistemas agropecuarios diversificados de la zona centro-sur de Misiones. Entre las principales fortalezas identificadas se destacaron la elevada agrobiodiversidad, la conservación del bosque nativo, la autoproducción de alimentos, el empleo de canales alternativos de comercialización, el acceso a servicios y el arraigo rural. En contraposición, los principales desafíos se asociaron al tratamiento de residuos, el manejo de agroquímicos, insuficientes registros y limitaciones en la planificación predial. La evaluación global indicó que el 58,5% de los sistemas agropecuarios presentó un grado de sustentabilidad moderada, el 36,5% una sustentabilidad media y el 5% una sustentabilidad alta. Los sistemas ubicados en los rangos superiores exhibieron un mayor equilibrio entre las dimensiones ambiental, económica y social, mientras que los restantes evidenciaron aspectos críticos específicos posibles de mejoras, mediante la implementación de estrategias de manejo sustentable. Se concluye que la metodología desarrollada constituye una herramienta de gestión estratégica y soporte para la toma de decisiones informadas, con potencial de replicabilidad en otros territorios para mejorar procesos de planificación, monitoreo continuo, evaluación participativa, orientados a la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios y al desarrollo territorial.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Misiones, ubicada en el noreste de la República Argentina, presenta una elevada heterogeneidad socioambiental y productiva. Esta configuración es el resultado de la interacción dinámica de factores históricos, culturales y ambientales que han generado una amplia diversidad de sistemas agropecuarios (Oviedo, 2016). Esta complejidad plantea la necesidad de disponer de herramientas metodológicas que contribuyan a caracterizar dichos sistemas desde una perspectiva integral, identificar sus fortalezas y limitaciones, aportando información para orientar estrategias de manejo y procesos de mejora continua hacia su sustentabilidad.

Sarandón et al. (2006) afirman que la agricultura sustentable es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisface necesidades alimenticias, socioeconómicas y culturales, dentro de límites biofísicos que establecen el correcto funcionamiento de sistemas naturales que los soportan. En este enfoque, la sustentabilidad es la capacidad de una actividad económica para preservar las características productivas, sociales y ambientales de sus recursos en el tiempo. Debido a su carácter multidimensional, su evaluación requiere marcos operativos que transformen este concepto en herramientas tangibles (Issaly et al., 2022).

En este sentido, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) impulsa el desarrollo de herramientas para la evaluación de la sustentabilidad de sistemas agropecuarios, constituyéndose en un pilar estratégico. En este trabajo se presenta una metodología diseñada por la Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul del INTA, adaptada a las características de los sistemas agropecuarios diversificados de Misiones, tomando como referencia el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad – MESMIS – desarrollado por Masera et al. (1999). Este marco es un instrumento metodológico diseñado para evaluar la sustentabilidad de sistemas productivos, principalmente en contextos de agricultura familiar y campesina a escala local (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], s.f.). Se basa en la co-construcción de indicadores específicos orientados a identificar y analizar aspectos críticos que inciden en las dimensiones ambiental, económica y social de un sistema agropecuario. Asimismo, es un método flexible capaz de adaptarse a diversas realidades socioproductivas, contemplando las capacidades técnicas, los recursos disponibles y las condiciones biofísicas del territorio (Reina et al., 2026).

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo se centró en diseñar e implementar una metodología de evaluación participativa y multidimensional de la sustentabilidad para sistemas agropecuarios diversificados de Misiones.

DESARROLLO Y RESULTADOS

El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad – MESMIS – se caracteriza por su enfoque sistémico, participativo y flexible, lo que permite su adaptación a diversos contextos socioeconómicos, productivos y ambientales (Issaly et al., 2022). Su aplicación promueve la participación activa de los actores locales en las distintas etapas del proceso de evaluación, favoreciendo el intercambio de conocimientos, la construcción colectiva de los indicadores y la retroalimentación de los resultados, aspectos que fortalecen la toma de decisiones orientadas al manejo sustentable de los sistemas agropecuarios (Reina et al., 2026).

Acorde con estos pilares, la metodología fue diseñada e implementada mediante un proceso participativo desarrollado en articulación entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y dos Escuelas de la Familia Agrícola[1] (EFA) de la

[1] La Escuela de la Familia Agrícola es una institución educativa de nivel secundario con orientación en bachillerato técnico en producción agropecuaria, de gestión privada comunitaria y régimen de internado. Se caracterizan por poseer un sistema de alternancia, con un período en la escuela y un tiempo en el medio rural, donde los estudiantes conjugan saberes teóricos y prácticos que van construyendo a lo largo de su proceso de formación. Desarrollan herramientas específicas de pedagogía de

zona centro-sur de la provincia de Misiones, dado el rol fundamental que desempeñan en la formación de juventudes rurales y el fortalecimiento de su arraigo.

El accionar se llevó a cabo en el primer semestre del 2026 y comprendió instancias de capacitación, donde los estudiantes aprendieron conceptos de sustentabilidad y analizaron las dimensiones ambiental, económica y social de sus propios sistemas agropecuarios, identificando fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, que se consideraron para la construcción de indicadores y sus correspondientes categorías.

Para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios se adoptaron los atributos propuestos por MESMIS (Masera et al., 1999): productividad, entendida como la capacidad del sistema para proporcionar el nivel requerido de bienes y servicios; estabilidad, definida como la capacidad de mantener un estado de equilibrio dinámico bajo condiciones normales de funcionamiento; confiabilidad, referida a la capacidad del sistema para mantener los beneficios esperados en niveles próximos al equilibrio frente a las fluctuaciones normales del ambiente; resiliencia, entendida como la capacidad del sistema para conservar su productividad cuando enfrenta perturbaciones graves; adaptabilidad, definida como la capacidad de encontrar nuevos niveles de equilibrio ante cambios de largo plazo en las condiciones ambientales, económicas o sociales; equidad, relacionada con la distribución justa de los beneficios y costos derivados del manejo de los recursos entre los distintos actores y generaciones; y autogestión, entendida como la capacidad del sistema para regular y controlar sus interacciones con el exterior, reduciendo la dependencia de insumos, recursos y decisiones externas.

En base a los diagnósticos realizados, la revisión bibliográfica y a las particularidades de Misiones, se seleccionaron 18 indicadores para evaluar el cumplimento de las dimensiones ambiental, económica y social. Acorde con Sarandón & Flores (2009) se propusieron indicadores que fueran fáciles de obtener, de interpretar y que proporcionaran la información necesaria para determinar tendencias en la sustentabilidad global de los sistemas agropecuarios estudiados. Los mismos, se especifican a continuación, ordenados por dimensión.

Dimensión ambiental

La dimensión ambiental comprende los indicadores destinados a evaluar el estado de los recursos naturales y las prácticas de manejo implementadas en los sistemas agropecuarios. Su finalidad es analizar en qué medida estas prácticas contribuyen a la conservación de la biodiversidad, la protección de los recursos naturales y el mantenimiento de la capacidad productiva del sistema agropecuario.

Biodiversidad agrícola: Evalúa la diversidad de especies vegetales cultivadas en la chacra, considerando hortalizas, cultivos anuales e industriales, frutales, ornamentales, aromáticas, medicinales, forestales y pasturas. Se relaciona con los atributos de productividad, estabilidad y resiliencia, ya que la diversificación fortalece el funcionamiento ecológico y reduce la vulnerabilidad del sistema.

alternancia como planes de búsqueda, guías de investigación, cuadernos de la realidad rural, registro de observaciones, realizadas en las distintas producciones agropecuarias, cuando están en sus hogares (Acosta, 2025).

Biodiversidad pecuaria: Evalúa la diversidad de especies animales presentes en el establecimiento, en sistema de cría. Se vincula con los atributos de productividad, estabilidad y resiliencia, debido a que la diversificación pecuaria favorece el reciclado de nutrientes, disminuye riesgos productivos y mejora la estabilidad del sistema.

Manejo y conservación de los recursos naturales: Evalúa la implementación de prácticas de manejo conservacionistas, como rotaciones, asociaciones de cultivos, cultivos intercalados, abonos orgánicos, cobertura del suelo, cercos vivos, cortinas de árboles y curvas de nivel. Representa los atributos de estabilidad, confiabilidad y resiliencia, al favorecer la conservación del suelo, el manejo ecológico y la estabilidad del sistema agropecuario.

Empleo de agroquímicos: Evalúa el tipo y la frecuencia de uso de agroquímicos en las distintas producciones. Se asocia con los atributos de autogestión, confiabilidad y resiliencia, considerando que una menor dependencia de estos insumos fortalece la autonomía del sistema y reduce los impactos ambientales.

Permanencia, uso y manejo del bosque nativo: Evalúa la conservación y el manejo del bosque nativo, incluyendo acciones de enriquecimiento. Se relaciona con los atributos de estabilidad, resiliencia y adaptabilidad, debido a su aporte a la provisión de servicios ecosistémicos y a la adaptación frente a cambios ambientales.

Tratamiento de residuos orgánicos e inorgánicos: Evalúa las prácticas de clasificación, tratamiento y disposición de los residuos generados en la chacra. Se vincula con los atributos de confiabilidad y estabilidad, ya que una adecuada gestión disminuye los riesgos de contaminación y favorece la sustentabilidad.

Dimensión económica

La dimensión económica comprende los indicadores destinados a evaluar la viabilidad económica de los sistemas agropecuarios, su capacidad para generar ingresos, el grado de autonomía de las familias productoras y las condiciones que favorecen la permanencia y sostenibilidad económica de la chacra.

Forma de tenencia de la tierra: Evalúa la situación jurídica del establecimiento respecto de la propiedad o uso de la tierra. Se relaciona con los atributos de equidad, estabilidad y autogestión, ya que favorece la planificación y fortalece la autonomía del productor y su familia.

Dotación de infraestructura y equipamiento: Evalúa la disponibilidad y el estado de las instalaciones, maquinarias y herramientas. Se vincula con los atributos de productividad y confiabilidad, al mejorar la eficiencia y continuidad de las actividades.

Autoproducción y autoconsumo con productos de la chacra: Evalúa el nivel de autoabastecimiento familiar mediante la producción de alimentos y otros bienes generados en la propia chacra. Representa los atributos de autogestión y resiliencia, al fortalecer la seguridad, soberanía alimentaria y reducir la dependencia a los mercados.

Ingreso anual por grupo familiar: Evalúa la capacidad del sistema para generar ingresos suficientes para el sostenimiento del hogar. Se relaciona con los atributos de productividad y equidad, como expresión del bienestar económico familiar.

Tipo de registros y/o habilitaciones disponibles y planificación de actividades: Evalúa la utilización de herramientas de gestión, planificación y habilitaciones existentes. Se asocia con los atributos de confiabilidad y adaptabilidad, favoreciendo una mejor organización y toma de decisiones.

Modalidad de comercialización: Evalúa la diversidad de productos, los canales de comercialización y la participación del productor en la determinación del valor de venta. Se vincula con los atributos de autogestión, equidad y productividad, al fortalecer la autonomía comercial y la rentabilidad.

Dimensión social
La dimensión social integra los indicadores orientados a evaluar las condiciones de vida, el acceso a servicios, la integración comunitaria y el arraigo de las familias productoras en el ámbito rural.

Vivienda y hábitat: Evalúa las condiciones de la vivienda, el entorno y la accesibilidad al establecimiento. Se relaciona con los atributos de equidad y confiabilidad, al contribuir al bienestar y permanencia de la familia en el medio rural.

Acceso a servicios básicos: Evalúa la disponibilidad de servicios esenciales como electricidad, agua, internet y cobertura de salud. Se vincula con los atributos de equidad y confiabilidad, al mejorar la calidad de vida y la seguridad familiar.

Disponibilidad de movilidad propia: Evalúa la disponibilidad y estado de los medios de transporte propios de la familia. Se relaciona con los atributos de autogestión y confiabilidad, facilitando el acceso a mercados y servicios.

Lazos de comunidad: Evalúa la participación en organizaciones, instituciones y redes de cooperación, incluyendo prácticas tradicionales de ayuda mutua. Se vincula con los atributos de resiliencia, autogestión y estabilidad, al fortalecer el capital social y la capacidad de respuesta colectiva.

Actitud frente a la innovación tecnológica: Evalúa la predisposición a participar en capacitaciones e incorporar tecnologías apropiadas. Representa los atributos de adaptabilidad y productividad, favoreciendo la innovación y la mejora continua.

Grado de satisfacción de la vida en la ruralidad y continuidad: Evalúa la satisfacción del productor y su familia con la vida rural, el interés por permanecer viviendo en su propio sistema agropecuario y las perspectivas de continuidad generacional. Se relaciona con los atributos de resiliencia y estabilidad, al fortalecer el arraigo y la permanencia de las familias en el ámbito rural.

Se diseñó y aplicó una encuesta semiestructurada como instrumento principal de recolección de datos. Los estudiantes de las EFAs encuestaron a 41 familias productoras conocidas, lo que permitió el acceso directo a información para la caracterización y evaluación de cada sistema agropecuario.

Los datos obtenidos se procesaron mediante el marco MESMIS. Para poder realizar una comparación entre los diferentes sistemas agropecuarios se definieron cinco categorías para cada indicador (0 correspondía a la peor situación y 4 representó la mejor). Así, todos los valores, independientemente de su unidad original, se

adecuaron a esa escala, determinando un rango de sustentabilidad global para cada sistema agropecuario evaluado.

Acorde con MESMIS, se realizó una comparación de los 41 sistemas agropecuarios estudiados (cada uno denominado con una letra mayúscula desde A hasta UU), asignando el valor que representó cada categoría por indicador. Dichos valores se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorización de los indicadores de cada sistema agropecuario evaluado de la zona centro-sur de Misiones

Indicador	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	RR	SS	TT	UU
Biodiversidad agrícola	3	3	3	4	3	2	4	4	3	3	4	3	1	4	4	3	4	2	2	2	4	1	3	2	3	3	4	2	2	3	4	4	2	2	3	3	1	3	1	4	4
Biodiversidad pecuaria	4	4	3	4	3	2	2	3	4	3	3	3	2	4	3	4	3	3	3	4	3	1	4	3	2	4	3	1	1	2	3	4	3	3	3	3	3	2	0	3	4
Manejo y conservación de los recursos naturales	3	4	3	3	2	2	3	3	2	3	2	3	1	4	2	3	3	2	2	3	4	1	2	3	2	2	4	3	1	4	3	4	3	3	3	3	2	2	1	3	2
Empleo de agroquímicos	3	1	2	2	2	3	1	1	3	1	1	3	2	3	1	1	3	1	4	1	1	3	2	3	2	3	1	1	2	2	3	1	2	1	2	4	2	1	3	2	3
Permanencia, uso y manejo del bosque nativo	2	3	2	2	4	2	3	2	3	2	3	3	2	3	2	4	3	2	3	3	3	3	4	3	2	3	3	3	3	0	3	4	2	4	3	4	3	3	3	3	3
Tratamiento de residuos orgánicos e inorgánicos	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	2
Forma de tenencia de la tierra	2	3	3	3	4	3	4	4	3	4	4	3	1	4	4	4	1	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	2	3	3	4	3	4	3	4	3	4
Dotación de infraestructura y equipamiento	3	3	2	4	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	4	3	3	4	4	4	1	2	2	3	4	4	1	1	2	4	4	1	3	2	4	4	3	1	4	4
Autoproducción y autoconsumo	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	2	4	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	4	3
Ingreso anual por grupo familiar	2	2	2	2	1	3	2	2	3	2	2	1	3	2	2	2	3	2	1	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	1	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3
Registros y habilitaciones; planif y costos	2	3	1	2	1	2	2	3	1	3	3	2	2	3	3	3	1	2	2	3	2	1	1	1	1	2	3	1	1	1	2	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3
Modalidad de comercialización	3	2	4	2	2	2	4	2	2	2	2	3	1	2	3	3	3	3	2	3	4	1	1	1	0	2	3	0	0	1	3	4	1	2	1	1	2	2	1	4	2
Vivienda y hábitat	3	2	3	3	3	3	4	2	4	1	3	4	4	1	4	4	2	3	3	4	4	2	2	3	2	4	3	2	2	1	4	3	4	4	2	2	4	4	4	2	4
Acceso a servicios básicos	3	2	2	4	2	3	4	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	2	3	4	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	2	2	4	3	2	3	4
Disponibilidad de movilidad propia	1	3	1	3	2	1	0	2	3	2	2	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3	2	1	2	1	4	2	1	2	1	2	1	2	3	4	1	1	1	3	2	4
Lazos de comunidad	2	2	1	1	1	2	2	2	1	3	1	1	2	3	2	1	3	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	3	2	1	3	3	1	2	2	1	1	3
Innovaciones tecnológicas	2	2	1	3	2	3	3	3	1	2	2	1	1	2	1	3	2	2	3	3	3	1	1	1	1	2	2	1	2	1	3	3	2	3	3	3	3	1	1	3	4
Grado de satisfacción de la vida en ruralidad	4	4	2	2	2	3	4	2	4	2	4	3	2	3	2	3	3	3	4	4	4	4	4	3	2	3	4	3	3	3	4	4	2	2	4	4	4	3	4	2	4
Sumatoria	48	49	40	49	42	43	51	46	49	44	49	49	38	55	46	54	47	42	49	52	55	35	41	41	37	52	53	33	35	35	58	53	41	51	48	49	49	42	37	51	60

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de los 18 indicadores, estandarizados en una escala de 0 a 4 y ponderados con igual peso relativo, se sumaron para obtener un puntaje total de sustentabilidad, cuyo valor máximo posible era de 72 puntos. Este puntaje se interpretó mediante los rangos de clasificación presentados en la Tabla 2, adaptados de Fonseca-Carreño (2021), donde se agruparon los sistemas agropecuarios en cinco rangos: altamente sustentable, moderadamente sustentable, medianamente sustentable escasamente sustentable y no sustentable. Esta clasificación facilitó la interpretación de los resultados, la comparación entre sistemas agropecuarios y contribuye a su posterior monitoreo de su evolución en el tiempo.

Tabla 2. Escala de clasificación del grado de sustentabilidad de los sistemas agropecuarios familiares de Misiones.

Grado de sustentabilidad	Estado del sistema agropecuario	Rango de cumplimiento
Altamente Sustentable	Estable	de 80,1 a 100% (desde 57,7 hasta 72)
Moderadamente sustentable	Pertinente	de 60,1 a 80% (desde 43,3 hasta 57,6)

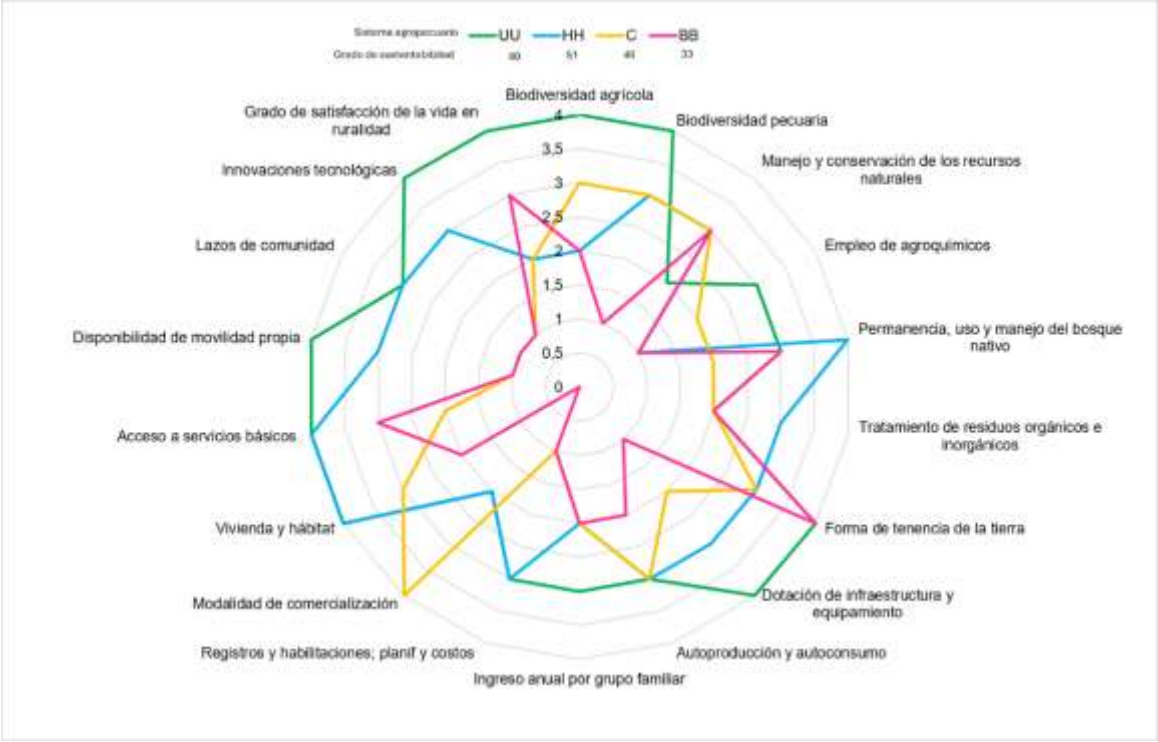
Medianamente sustentable	Sensible	de 40,1 a 60% (desde 28,9 hasta 43,2)
Escasamente sustentable	Débil	de 20,1 a 40% (desde 14,5 hasta 28,8)
No sustentable	En peligro	de 0 a 20% (desde 0 hasta 14,4)

Fuente: adaptada por Fonseca-Carreño (2021)

Los resultados evidenciaron una heterogeneidad en el desempeño de la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios evaluados. El 58,5% de los sistemas agropecuarios resultó ser moderadamente sustentables, mientras que un 36,5% era medianamente sustentable y el 5% altamente sustentable.

Se realizó una selección de agroecosistemas con diferente grado de sustentabilidad para poder compararlos en un gráfico radial (Figura 1) y visualizar de manera integrada el comportamiento de los indicadores ambientales, económicos y sociales.

Figura 1. Representación gráfica radial para comparar los indicadores de sustentabilidad de 4 sistemas agropecuarios, con diferente grado de sustentabilidad.



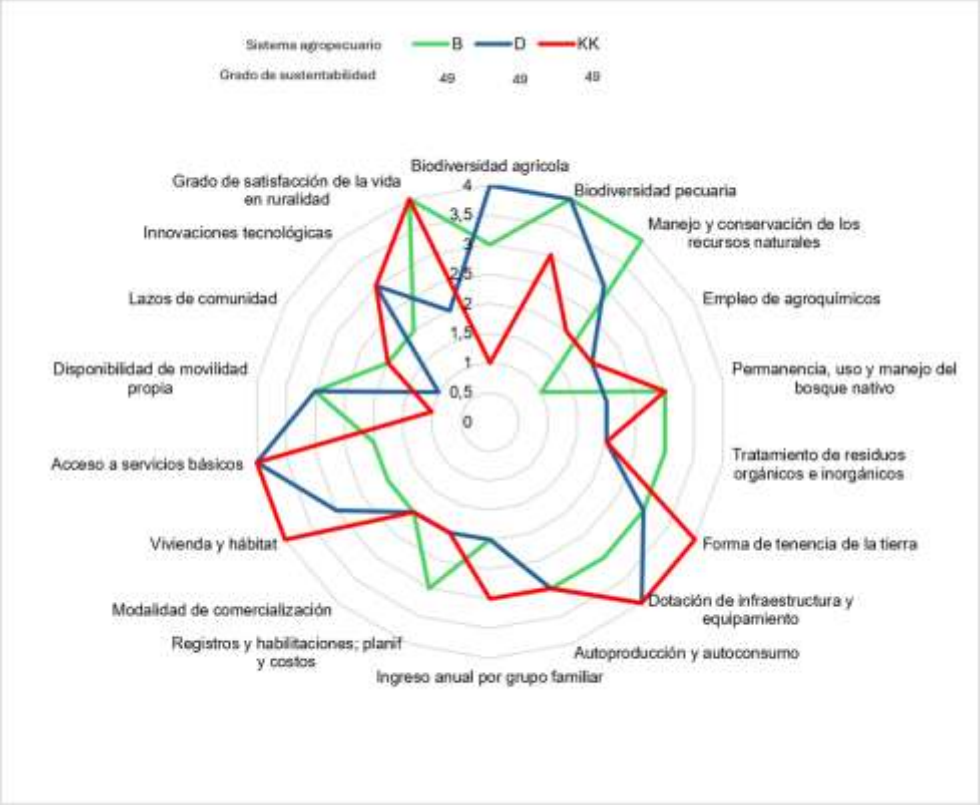
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1 expone perfiles de sustentabilidad contrastantes entre cuatro sistemas agropecuarios. El sistema agropecuario UU presentó el perfil más equilibrado, con valores elevados en biodiversidad agrícola y pecuaria, infraestructura y equipamiento, autoproducción, acceso a servicios, movilidad, innovación tecnológica y grado de satisfacción con la vida en la ruralidad, aunque evidenció oportunidades de mejora en

el manejo del bosque nativo y el tratamiento de residuos. El sistema HH se caracterizó por un mejor desempeño en vivienda y hábitat, acceso a servicios básicos, manejo del bosque nativo y disponibilidad de registros de gestión, mientras que presenta niveles intermedios en los aspectos productivos y económicos. El sistema C mostró fortalezas en la modalidad de comercialización, biodiversidad agrícola, prácticas de manejo sustentable y vivienda, aunque registró menores valores en autoproducción, gestión administrativa e innovación tecnológica. Por su parte, el sistema BB exhibió un perfil más heterogéneo, con desempeños favorables en tenencia de la tierra, prácticas de manejo sustentable, conservación del bosque nativo y continuidad de la vida en la ruralidad, pero con limitaciones en biodiversidad pecuaria, infraestructura, equipamiento, movilidad y organización administrativa.

Con el propósito de exponer los alcances de la metodología, se compararon perfiles de sustentabilidad de tres sistemas agropecuarios (B, D y KK) que alcanzaron el mismo índice global de sustentabilidad (49 puntos), los mismo se graficaron en la figura 2.

Figura 2. Representación gráfica radial para comparar los indicadores de sustentabilidad de 3 sistemas agropecuarios con el mismo grado de sustentabilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Aquí, la representación radial evidenció que el rango de sustentabilidad respondió a configuraciones diferentes de los indicadores evaluados. El sistema agropecuario B se caracterizó por un desempeño destacado en biodiversidad pecuaria, manejo y conservación de los recursos naturales, permanencia del bosque nativo y disponibilidad de movilidad, aunque presentó valores más bajos en empleo de

agroquímicos, vivienda y hábitat, y gestión administrativa. El sistema D mostró fortalezas en biodiversidad agrícola, biodiversidad pecuaria, acceso a servicios básicos, infraestructura y equipamiento, y autoproducción, mientras que tuvo menores desempeños en ingresos familiares, movilidad y grado de satisfacción con la vida rural. Por su parte, el sistema KK presentó un perfil más heterogéneo, con altos valores en forma de tenencia de la tierra, infraestructura, vivienda, acceso a servicios básicos, satisfacción con la vida rural y actitud frente a la innovación tecnológica, aunque evidenció limitaciones en biodiversidad agrícola, biodiversidad pecuaria y registros, habilitaciones y planificación de las actividades.

Este ejemplo demostró que un mismo nivel global de sustentabilidad puede resultar de combinaciones muy diferentes de fortalezas y debilidades. En este sentido, la metodología no solo permite clasificar los sistemas según un índice sintético, sino también identificar los factores específicos que condicionan su desempeño, facilitando la definición de estrategias de mejora adaptadas a las características particulares de cada sistema agropecuario.

En este sentido, los planteos de Apollin (1999) contribuyen a comprender la lógica de funcionamiento de los sistemas productivos, donde cada familia configura su propio sistema de producción de acuerdo con sus objetivos, recursos y contexto, dando lugar a una amplia diversidad de sistemas agropecuarios dentro de un mismo territorio.

La identificación de fortalezas y puntos críticos permite elaborar planes de mejora específicos para cada sistema agropecuario y monitorear su evolución mediante evaluaciones periódicas. En concordancia con Pérez Alarcón et al. (2024), estos procesos deben sustentarse en la participación activa de las familias productoras, la autogestión y el seguimiento continuo, promoviendo una retroalimentación permanente entre productores y equipos técnicos. De este modo, la metodología trasciende el diagnóstico y se constituye en una herramienta de gestión para orientar la toma de decisiones informadas y desarrollar estrategias para fortalecer procesos de mejora continua hacia sistemas agropecuarios más sustentables.

CONCLUSIONES

La aplicación de MESMIS permitió diseñar e implementar una metodología participativa de evaluación multidimensional de la sustentabilidad de 41 sistemas agropecuarios diversificados de la zona centro-sur de Misiones. La evaluación global de los agroecosistemas mostró que el 58,5% se clasificó como moderadamente sustentable, el 36,5% como medianamente sustentable y el 5% alcanzó un nivel de sustentabilidad estable. Los sistemas ubicados en los rangos superiores presentaron un desempeño más equilibrado en las dimensiones ambiental, económica y social, mientras que aquellos con menores niveles de sustentabilidad evidenciaron limitaciones específicas que constituyen puntos críticos para la planificación de acciones de mejora. Asimismo, se comprobó que un mismo nivel de sustentabilidad puede alcanzarse mediante diferentes combinaciones de indicadores, reflejando la heterogeneidad de las estrategias desarrolladas por las familias productoras.

La participación activa de los estudiantes de las Escuelas de la Familia Agrícola constituyó un componente central del proceso metodológico, al facilitar el acceso a información confiable, reducir potenciales sesgos en el relevamiento y fortalecer el

aprendizaje situado mediante la articulación entre investigación, educación y extensión rural. Esta integración permitió adaptar el marco metodológico MESMIS a las particularidades de los sistemas agropecuarios diversificados de Misiones, definiendo criterios de diagnóstico, indicadores e instrumentos de evaluación acordes con las condiciones productivas, ambientales y socioculturales del territorio, que contribuyan al desarrollo de estrategias tendientes a la conservación de los recursos naturales, la estabilidad económica y al arraigo en la ruralidad.

Este trabajo demostró que la metodología propuesta permitió evaluar la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios diversificados de la provincia de Misiones y representa una herramienta de gestión para orientar procesos participativos de diagnóstico, planificación, seguimiento y mejora continua, contribuyendo al desarrollo territorial sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, R. (2025). *La formación integral en la propuesta educativa de la Escuela de la Familia Agrícola "San Vicente de Paúl"*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Quilmes]. Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes https://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/5309

Apollin, F.; Eberhart, C. (1999). Análisis y Diagnóstico de los Sistemas de Producción en el Medio Rural. Guía Metodológica. Quito, Ecuador: CAMAREN.
https://www.avsf.org/app/uploads/2023/12/analisis-y-diagnostico-de-los-sistemas-de-produccion-en-el-medio-rural-guia-metodologica.pdf

Astier, M., Galván-Miyoshi, Y., & Masera, O. (2008). *Evaluación de sustentabilidad: un enfoque dinámico y multidimensional* (pp. 201-201). Valencia: SEAE. https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/3433

Fonseca-Carreño, N. E. (2021). Propuesta metodológica para medir la sustentabilidad en agroecosistemas a través del marco MESMIS. *Pensamiento Udecino*, *5*(1), 143–160. https://portal.amelica.org/ameli/journal/301/3011848002/3011848002.pdf

Issaly, L. C., Van Den Bosch, M. E., Wilson, M. G., Calvi, M., Litwin, G., & Maekawa, M. (2022). *Utilización del método MESMIS en la evaluación de la sustentabilidad* (Informe Técnico). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/13599

Masera, O., Astier, M. y López-Ridaura, S. (1999). Sostenibilidad y gestión de recursos naturales. *El marco de evaluación de MESMIS. Mundi-Prensa-GIRA-UNAM, Ciudad de México*.

Oviedo, A. D. (2016). *Economía social agraria y políticas públicas: producción y comercialización de alimentos en la provincia de Misiones, Argentina* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Misiones]. Repositorio Institucional Digital de la UNaM. https://rid.unam.edu.ar/handle/20.500.12219/3043

Pérez-Alarcón, C. A., Rodríguez-Robles, U., Reyes-Ardila, W. L., González-Santos, W., Rosales-Adame, J. J., & Fontalvo-Buelvas, J. C. (2024). Evaluación participativa de la sustentabilidad en unidades productivas campesinas de Tinjacá, Colombia. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, *22*(44), 1-26. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9847037

Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*, *4*, 19-28. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131/110801

Sarandón, S. J., Zuluaga, M. S., Cieza, R., Janjetic, L., & Negrete, E. (2006). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología*, *1*, 19-28. https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/14/5

Reina, L. R., Paredes, J. L., & del Salto, L. V. (2026). Indicadores de sostenibilidad en sistemas agropecuarios familiares: estudio de caso en Chimborazo, Ecuador. *Revista Recursos Naturales Producción y Sostenibilidad*, *5*(1), 1-10.
https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/RENPYS/article/view/1222

Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). *Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)*. MESMIS. https://www.mesmis.unam.mx/MESMIS/framework.xhtml

TECNOLOGÍAS DE PROCESOS EN LA TRANSICIÓN HACIA UNA GANADERÍA SUSTENTABLE: AUTONOMÍA FORRAJERA, CARGA ANIMAL Y SALUD DEL ECOSISTEMA EN UN ESTABLECIMIENTO PASTORIL DEL SUDOESTE BONAERENSE, 2021-2026

Raia, A.; Manrique, P.
Observatorio de Biodiversidad y Regeneración – Campos Lagazu
Buenos Aires
camposlagazu@gmail.com

RESUMEN

¿Es posible reducir la dependencia de recursos alimentarios externos sin resignar carga animal ni deteriorar la base ecológica que sostiene la producción? Este trabajo responde esa pregunta a partir del caso del establecimiento La Celia (Huanguelén, Buenos Aires), analizado de forma longitudinal y retrospectiva entre 2021 y 2026. Combinamos Planes Abiertos y Cerrados de pastoreo, visitas intermedias, monitoreos ecológicos de corto plazo bajo el protocolo Ecological Outcome Verification, registros productivos, declaraciones anuales de carga y certificaciones externas.

En 2021 el establecimiento sostenía una carga de 1,20 EV/ha, pero el Plan Cerrado reveló balances forrajeros ajustados o negativos en los tres rodeos y una recría dependiente de maíz externo, equivalente al 1% del peso vivo, traído de otro establecimiento de la empresa. En los años siguientes profundizamos la planificación por tiempos de recuperación, la presupuestación forrajera y el reajuste frente a sequías, inundaciones y cambios de demanda.

El punto de inflexión llegó en 2025: la receptividad calculada alcanzó 989,09 equivalentes vaca frente a los 959 planificados, y la oferta de pasto en pie resultó suficiente para sostener la carga prevista. Desde ese año no se registra utilización de maíz externo; las necesidades complementarias se cubren íntegramente con reservas propias. En 2026 la carga integrada volvió a ubicarse en torno a 1,20 EV/ha, mientras la receptividad creció cerca de 200 equivalentes vaca respecto del ciclo anterior.

La dimensión ecológica acompañó esta evolución. La línea base de 2021 arrojó 23,64 puntos en el Índice de Salud del Ecosistema, por debajo del umbral de referencia de 30. A partir de ahí el índice se ubicó en 42,27 puntos en 2022, 48,18 en 2024, 38,50 en 2025 y 46,96 en 2026 —todos ya por encima de ese umbral—, y la biomasa promedio pasó de 1.118 a 3.075 kg de materia seca por hectárea. Durante la transición, el establecimiento obtuvo la certificación Grass Fed y fue incorporado al Sello Argentino de Sustentabilidad SAPROCEA.

Estos resultados respaldan nuestra hipótesis: la dependencia de insumos alimentarios externos puede sustituirse por una estrategia basada en tecnologías de procesos sin resignar carga por unidad de superficie ni funcionamiento ecosistémico.

Palabras clave: ganadería pastoril; tecnologías de procesos; autonomía forrajera; carga animal; salud del ecosistema; gestión adaptativa.

INTRODUCCIÓN

Un sistema ganadero es sustentable en la medida en que sostiene su producción en el tiempo sin agotar la base de recursos que la hace posible, y sin perder capacidad de adaptarse a la variabilidad del ambiente. En los sistemas pastoriles, buena parte de esa capacidad se juega en el manejo de procesos biológicos: cómo crecen y se recuperan las plantas, cómo se distribuye el pastoreo, qué relación guardan la oferta forrajera y la demanda animal, y cómo responde el sistema frente a eventos climáticos. La autonomía forrajera expresa, dentro de ese marco, hasta qué punto un establecimiento puede cubrir sus requerimientos alimentarios con su propia base de recursos.

Las tecnologías de procesos desplazan el esfuerzo tecnológico: en lugar de resolver un déficit incorporando insumos de manera automática, ponen el foco en la información y en las decisiones sobre tiempo, espacio, carga y funcionamiento del recurso. Esto no significa prescindir de insumos —un suplemento puede seguir cerrando un déficit puntual, o usarse para mejorar la ganancia individual cuando la carga ya está cubierta—, sino integrarlos dentro de una decisión cuantificada y con un objetivo explícito. A lo largo de este trabajo, cuando hablamos de tecnologías de insumos nos referimos puntualmente a la dependencia de recursos alimentarios externos al establecimiento para sostener la carga, no al uso de insumos productivos en general.

La sustentabilidad ganadera suele discutirse por adhesión a una etiqueta más que por medición directa. Un sistema puede llamarse regenerativo y, aun así, sostener su carga con alimento traído de otro campo; puede alcanzar autonomía forrajera a costa de una desintensificación que golpea el resultado económico; o puede mejorar sus indicadores ecológicos simplemente porque produce menos. Distinguir estas situaciones requiere mirar juntas tres variables que normalmente se informan por separado: de dónde sale el alimento, cuánta carga sostiene el establecimiento por unidad de superficie, y cómo evoluciona el ecosistema que produce ese alimento. Este trabajo aporta precisamente eso: la reconstrucción de esas tres series para un mismo establecimiento a lo largo de seis ciclos consecutivos.

La Celia inició en 2021 una etapa de planificación sistemática del pastoreo bajo principios de Manejo Holístico, con asistencia técnica externa. El Plan Cerrado de ese año ya incorporaba presupuestación forrajera y balance entre oferta y demanda, pero el diagnóstico era elocuente: balances ajustados o negativos y necesidad de suplementar la recría con maíz para neutralizar el déficit. Ese mismo año se instaló la línea base del monitoreo ecológico, que desde entonces se repite anualmente sobre las mismas estaciones. Los años siguientes sumaron mayor subdivisión, tiempos explícitos de recuperación, chequeos durante la ejecución del plan, reasignación de potreros y ajustes de rodeos frente a sequías, inundaciones y cambios de demanda.

No pretendemos atribuir el resultado final a una única práctica ni evaluar exhaustivamente todas las dimensiones de la sustentabilidad. La pregunta que guía el trabajo es más acotada: ¿es posible sustituir progresivamente la dependencia de recursos alimentarios externos por una estrategia predominantemente basada en

tecnologías de procesos, sin resignar capacidad de carga por unidad de superficie y sin deterioro del funcionamiento ecosistémico medido? Nuestra hipótesis sostiene que sí: en un sistema ganadero pastoril, esa sustitución progresiva es posible sin reducir la capacidad de carga y sin comprometer la salud del ecosistema.

OBJETIVOS

Objetivo general. Evaluar, mediante el caso de La Celia entre 2021 y 2026, si una estrategia crecientemente basada en tecnologías de procesos puede reducir la dependencia de recursos alimentarios externos sin resignar capacidad de carga por unidad de superficie ni funcionamiento ecosistémico.

Objetivos específicos. (1) Describir el papel del Plan Abierto y el Plan Cerrado dentro de la planificación del pastoreo. (2) Reconstruir los principales cambios en medición, planificación y ajuste de la relación entre oferta y demanda. (3) Documentar la evolución desde el uso de aportes alimentarios externos hacia la autonomía forrajera. (4) Comparar la intensidad de carga al inicio y al final del período. (5) Analizar la evolución del Índice de Salud del Ecosistema y de la biomasa disponible durante el mismo período. (6) Identificar respuestas adaptativas frente a perturbaciones climáticas y desvíos de la planificación, contextualizando las certificaciones externas obtenidas durante la transición.

DESARROLLO / RESULTADOS

Realizamos un estudio de caso longitudinal retrospectivo de La Celia para el período 2021-2026, con el establecimiento como unidad de análisis. Las fuentes incluyeron los Planes Cerrados de 2021, 2022, 2024, 2025 y 2026; los Planes Abiertos 2023-2024 y 2025-2026; la visita intermedia del Plan Cerrado 2024; los informes de monitoreo ecológico de corto plazo de 2021, 2022, 2024, 2025 y 2026; registros productivos y movimientos internos; datos anuales declarados a la plataforma de seguimiento de la empresa; y la documentación de las certificaciones obtenidas.

Expresamos la carga animal en equivalentes vaca por hectárea, como indicador de intensidad productiva y no como equivalente directo de producción de carne. Cuando existió un dato anual declarado, lo adoptamos como estimación principal y usamos los registros territoriales de los planes como control de consistencia. Para 2026, ante la ausencia de un valor anual cerrado, integramos los períodos documentados del Plan Cerrado 2025, el Plan Abierto 2025-2026 y el Plan Cerrado 2026, que cubren aproximadamente el 97% del ciclo. Interpretamos la capacidad forrajera a partir de los balances entre oferta y demanda, los días animal por hectárea, la receptividad expresada en equivalentes vaca y la necesidad —o no— de recursos alimentarios adicionales.

Definimos operativamente la autonomía forrajera como la capacidad de cubrir los requerimientos alimentarios del rodeo con pastoreo y reservas producidas dentro del establecimiento, sin recurrir a alimentos de otros campos; los rollos propios se consideraron una transferencia temporal de biomasa dentro del sistema, no un recurso externo. Evaluamos la salud del ecosistema mediante el Índice de Salud del Ecosistema, que integra quince indicadores biológicos agrupados en cuatro procesos

ecosistémicos —ciclo del agua, ciclo de los minerales, flujo de energía y dinámica de las comunidades— comparados con el potencial de la ecorregión. Los valores superiores a 30 puntos se interpretan como un funcionamiento razonablemente cercano a ese potencial. Las mediciones se realizaron sobre once estaciones fijas de monitoreo establecidas en 2021.

La planificación en La Celia se organiza, dentro del Manejo Holístico, en dos instancias complementarias. El Plan Abierto se desarrolla durante el crecimiento activo del recurso y administra el pastoreo en función de los procesos biológicos del pastizal: tiempos de recuperación, períodos de ocupación, secuencia de potreros, organización de rodeos y objetivos de persistencia. Los planes abiertos establecieron 50 días de recuperación en la primera parte del período y 100 días después. El Plan Cerrado, en cambio, corresponde al período de menor crecimiento: estima la biomasa disponible midiendo la altura de la especie clave, la traduce en días animal por hectárea según una asignación diaria por animal, calcula la demanda prevista a partir del estado fisiológico de cada categoría y confronta ambas magnitudes para asignar potreros, definir la carga y anticipar necesidades de reservas, suplementación o reordenamiento. Ambos planes funcionan como tecnologías de procesos porque convierten variables biológicas y productivas en decisiones explícitas y revisables.

De los balances deficitarios a la autonomía forrajera

El Plan Cerrado 2021 ya perseguía ese objetivo —administrar el forraje disponible y confrontar oferta con demanda planificada— y, como metodología, ya constituía una tecnología de proceso. Pero el diagnóstico era claro: la capacidad pastoril disponible no alcanzaba para sostener la demanda en las condiciones observadas. El balance de raciones resultó ajustado, incluso negativo, para los tres rodeos: en cría se preveía recurrir a rollos si era necesario, y en recría se mantenía una suplementación con maíz equivalente al 1% del peso vivo, proveniente de otro establecimiento de la empresa. El informe recomendaba ajustar carga o suplemento según la respuesta de cada célula. La carga anual reconstruida para ese año fue de aproximadamente 1,20 EV/ha: el punto de partida combinaba una carga elevada con dependencia de un recurso alimentario externo, sobre una base forrajera insuficiente para sostenerla.

La transición que siguió consistió, en esencia, en ampliar el uso operativo de información para regular oferta y demanda. La visita intermedia de julio de 2024 ilustra bien el mecanismo: al detectarse más animales que los previstos en una célula y una aceleración del consumo, se recalculó el balance, se reasignó superficie y se revisó la necesidad de reservas antes de que el desvío comprometiera el plan.

En 2025 la presupuestación forrajera mostró un cambio funcional importante. Con una asignación diaria de 18 kg de materia seca por animal y un plan de 153 días, la receptividad total calculada fue de 989,09 equivalentes vaca frente a 959 planificados. El informe señaló que la oferta de forraje en pie era suficiente para sostener la carga determinada, y que los 200 rollos disponibles podían conservarse para momentos de necesidad. Al detectarse además un exceso de oferta en el sector de recría, un lote se reasignó al rodeo de vacas de servicio de invierno para sincronizar mejor oferta y demanda. Desde 2025 no se registra utilización de maíz externo: las necesidades complementarias se cubren con reservas producidas en el propio establecimiento. Lo

que cambia de fondo es que la demanda animal empieza a sostenerse con la propia base forrajera y sus reservas, alcanzando la definición operativa de autonomía que usamos en este trabajo.

En 2026 los balances de las células se cerraron utilizando, cuando correspondía, los 600 rollos disponibles en el establecimiento, y la receptividad aumentó cerca de 200 equivalentes vaca respecto del año anterior, con cuatro células planificadas en lugar de tres. El informe atribuye ese aumento principalmente a la entrada en producción de nuevas pasturas. Vale aclarar que esta autonomía no implica una política de cero suplementación: en el futuro un suplemento puede incorporarse si es necesario para cubrir un déficit puntual, o si se justifica productivamente para aumentar los kilos por animal.

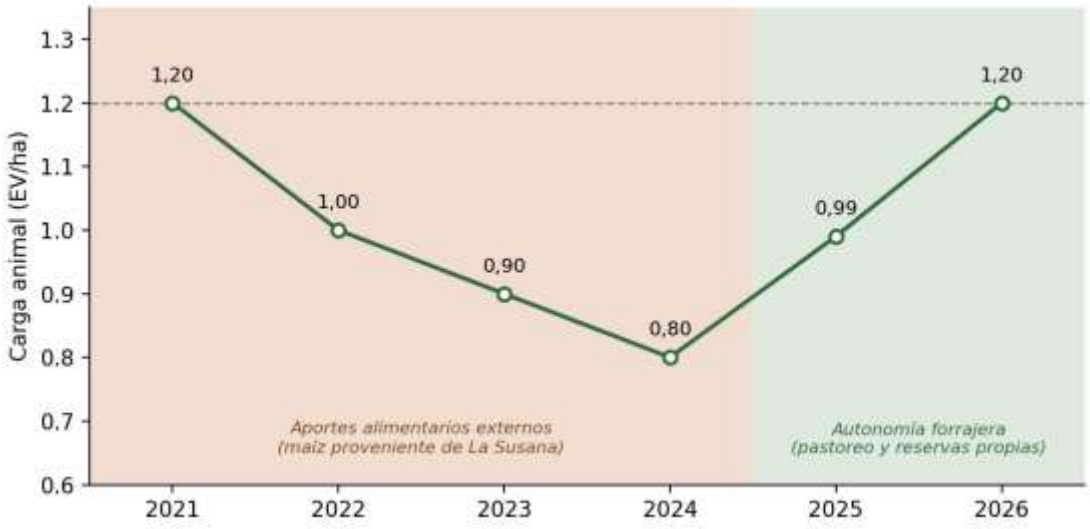


Figura 1. Carga animal integrada anual y origen del alimento que la sostiene, 2021-2026. La línea punteada marca el nivel de 1,20 EV/ha de 2021, recuperado en 2026. Elaboración propia.

La carga animal no siguió una trayectoria lineal. Entre 2021 y 2024 descendió de aproximadamente 1,20 a 0,80 EV/ha, en un período que combinó descarga, sequía y reorganización del sistema. A partir de 2024 volvió a subir: 0,99 EV/ha en 2025 y 1,20 EV/ha en 2026. La comparación de extremos resulta particularmente informativa: en 2021, una carga de 1,20 EV/ha convivía con balances deficitarios y maíz externo; en 2026, una carga de magnitud comparable se sostuvo con pastoreo y reservas producidas en el establecimiento. La autonomía, entonces, no se alcanzó desintensificando la demanda animal de manera permanente.

Vale precisar por qué el indicador no está inflado por el denominador. Como la carga se expresa por hectárea, que la superficie ganadera haya crecido no explica por sí sola que el indicador se haya mantenido: si la superficie crece y la carga por hectárea se sostiene, el número total de animales también aumentó. El Plan Abierto 2025-2026 documenta justamente ese aumento en cabezas: los rodeos de recría de machos crecieron 233% y los de hembras 73% respecto del plan anterior, mientras los rodeos de vacas se redujeron 7% y 20%, con un resultado neto de mayor cantidad de animales sostenidos. Las cargas por célula se ubicaron alrededor de 1,10 EV/ha en

los rodeos de vacas y por encima de 1,35 EV/ha en los de recría manejados con parcelas diarias.

Salud del ecosistema y biomasa

El segundo eje de resultados es el funcionamiento del ecosistema. La línea base, informada en 2021, arrojó un valor de 23,64 puntos, por debajo del umbral de referencia. A partir de ahí el Índice de Salud del Ecosistema se ubicó en 42,27 puntos en 2022, 48,18 en 2024, 38,50 en 2025 y 46,96 en 2026 —todos ya por encima del umbral de referencia de 30 puntos—, aunque el ciclo 2023 no pudo relevarse. La biomasa promedio acompañó esa trayectoria: pasó de 1.118 kg de materia seca por hectárea en 2021 a 2.000 en 2022, 2.900 en 2024, 2.288 en 2025 y 3.075 en 2026. La caída de 2025 no es un dato menor: coincidió con una secuencia de sequía seguida de anegamiento que provocó la pérdida de especies forrajeras sensibles y afectó los sectores bajos. El informe del año siguiente registra la recuperación de los indicadores de cobertura de suelo, grupos funcionales y mantillo, y la interpreta como una expresión de la capacidad de resiliencia del sistema ante eventos adversos.

La lectura conjunta de ambos ejes es, en definitiva, el resultado principal del caso. Entre 2024 y 2026 el establecimiento aumentó su carga de 0,80 a 1,20 EV/ha, incrementó la cantidad total de animales sostenidos, eliminó el aporte alimentario externo y no registró deterioro sostenido de sus indicadores ecológicos, que se mantuvieron sobre el umbral de referencia con una caída puntual atribuible a un evento climático y una recuperación posterior.

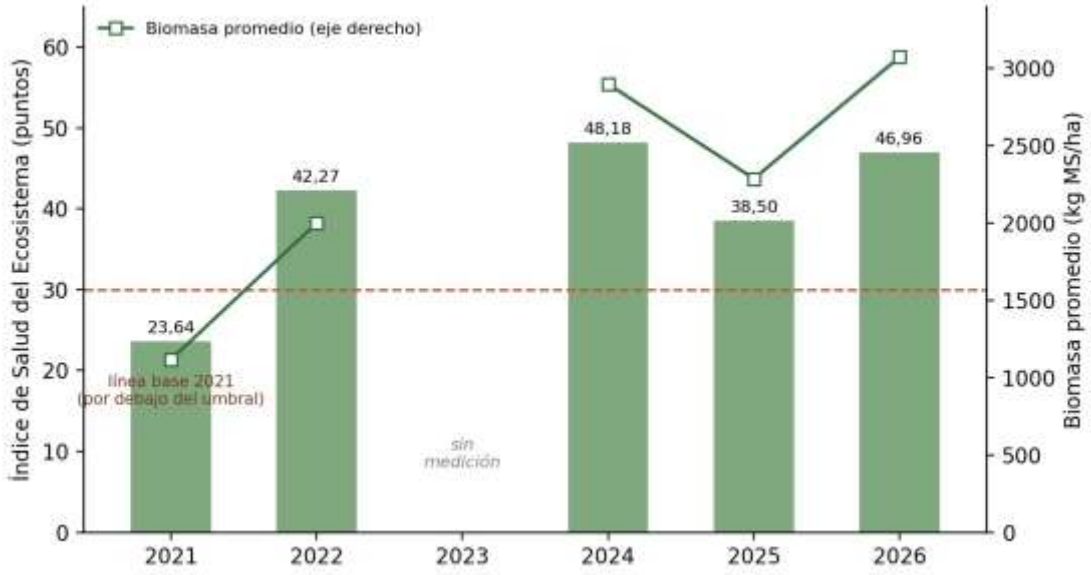


Figura 2. Índice de Salud del Ecosistema y biomasa promedio, 2021-2026. La línea punteada indica el umbral de referencia de 30 puntos; el valor de 2021 corresponde a la línea base informada ese año. El ciclo 2023 no pudo relevarse. Elaboración propia.

Tabla 1. Contraste funcional entre el inicio y el final del período analizado. Elaboración propia.

Dimensión	2021	2025-2026
Carga animal	≈1,20 EV/ha con balances deficitarios.	≈0,99 EV/ha en 2025 y ≈1,20 EV/ha en 2026, con mayor cantidad total de animales.
Origen del alimento	Maíz en recría proveniente de otro establecimiento, equivalente al 1% del peso vivo.	Sin maíz externo desde 2025; pastoreo y reservas producidas en el propio establecimiento.
Cobertura de la demanda	Balance de raciones ajustado o negativo para los tres rodeos.	989,09 EV de receptividad frente a 959 planificados en 2025; +200 EV en 2026.
Biomasa promedio	1.118 kg MS/ha.	2.288 kg MS/ha en 2025 y 3.075 kg MS/ha en 2026.
Salud del ecosistema	Línea base instalada sobre once estaciones fijas.	38,50 puntos en 2025 y 46,96 en 2026, por encima del umbral de 30.
Validación externa	Sin certificación de referencia.	Grass Fed y Sello Argentino de Sustentabilidad.

Respuesta adaptativa y validación externa

Una característica central de las tecnologías de procesos es que el plan no funciona como una receta fija. Frente a una perturbación, la secuencia de decisión consiste en volver a medir oferta y demanda, identificar la causa del desbalance y elegir entre distintas herramientas: modificar secuencia o tiempos, reasignar potreros, reorganizar rodeos, ajustar carga, usar reservas o suplementar. La suplementación no es incompatible con este enfoque —puede cubrir un déficit temporal de oferta o mejorar la ganancia individual cuando la carga ya está cubierta—; lo distintivo es que se incorpora dentro de un diagnóstico y un objetivo productivo explícitos.

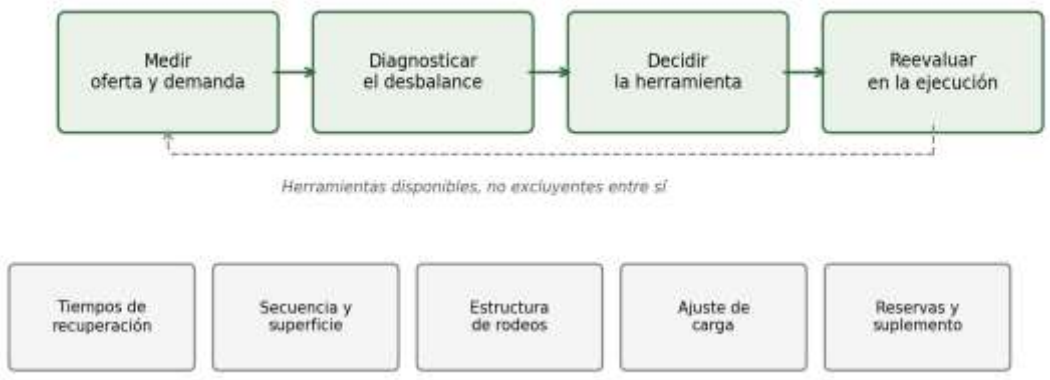


Figura 3. Secuencia de respuesta adaptativa ante perturbaciones o desbalances. Las herramientas no son excluyentes entre sí. Elaboración propia.

Tabla 2. Ejemplos documentados de ajuste adaptativo en La Celia. Elaboración propia sobre los informes de planificación.

Situación	Señal observada	Decisión adoptada	Tipo de ajuste
Sequía 2021-2023	Menor oferta y balances ajustados.	Descarga progresiva, replanificación y venta temprana.	Demanda y carga
Visita intermedia 2024	Más animales que los previstos y aceleración del consumo.	Recalcular el balance, reasignar superficie y revisar reservas.	Oferta y demanda
Sequía e inundación 2024-2025	Pérdida de especies sensibles y anegamiento de sectores bajos.	Utilizar potreros altos y anticipar ventas.	Espacio y carga
Plan Cerrado 2025	Exceso de oferta en el sector de recría.	Reasignar un lote al rodeo de vacas de servicio de invierno.	Distribución espacial
Plan Cerrado 2026	Mayor oferta por entrada en producción de nuevas pasturas.	Planificar cuatro células en lugar de tres y elevar la receptividad.	Estructura del sistema

La transición coincidió con dos validaciones externas de naturaleza distinta. En julio de 2025 el establecimiento obtuvo la certificación Grass Fed bajo un programa de producción bovina alimentada a pasto, que aporta una verificación externa de la condición extensiva y basada en pastizales y pasturas del sistema. En noviembre de 2025, una evaluación ambiental independiente concluyó favorablemente, y el contrato posterior incorporó al alcance del Sello Argentino de Sustentabilidad la ganadería extensiva regenerativa de los establecimientos de la empresa. Esa misma evaluación identificó puntos a mejorar —entre ellos la medición del consumo real de agua de pozo, el registro interno de compra y uso de medicamentos veterinarios y la gestión de envases vacíos de agroquímicos—, que incorporamos como objetivos de gestión. Los registros de manejo son los que documentan la autonomía forrajera; las certificaciones aportan una verificación externa complementaria, y no sustituyen las mediciones científicas longitudinales.

Las principales limitaciones de este trabajo son las propias de un estudio de caso observacional. No hay un control contemporáneo; la superficie ganadera y la composición de las pasturas cambiaron durante el período, por lo que no podemos separar cuantitativamente el efecto de las nuevas pasturas del efecto del manejo; la carga no equivale a producción de carne; y la serie ecológica no es estrictamente homogénea, ya que el ciclo 2023 no se relevó y algunos años admiten más de un valor según se promedien las estaciones de forma simple o ponderada por estrato. Por eso la serie debe leerse como tendencia y no como medición homogénea: los resultados son evidencia de una transición sistémica en la que las tecnologías de

procesos actuaron como marco de regulación y decisión, no una estimación causal del efecto aislado de una práctica.

CONCLUSIONES

Entre 2021 y 2026, La Celia pasó de sostener una carga cercana a 1,20 EV/ha con balances forrajeros ajustados o negativos y aportes alimentarios de otro establecimiento, a un sistema capaz de cubrir los requerimientos del rodeo con su propia base pastoril y sus reservas. Desde 2025 no se registra utilización de maíz externo, y el establecimiento alcanzó, según la definición operativa que usamos, autonomía forrajera.

Esa autonomía no se obtuvo a costa de una reducción permanente de la carga. Después de una fase intermedia de descarga y reorganización, la carga integrada volvió en 2026 a aproximadamente 1,20 EV/ha —comparable con la de 2021—, y la cantidad total de animales sostenidos aumentó junto con la superficie ganadera. El cambio de fondo, entonces, no fue cuánto se sostiene sino con qué base de recursos y mediante qué mecanismos de regulación.

Tampoco se obtuvo a costa del funcionamiento del ecosistema. El Índice de Salud del Ecosistema se mantuvo por encima del umbral de referencia de 30 puntos en todas las mediciones posteriores a la línea base, con una caída en 2025 asociada a una secuencia de sequía e inundación y una recuperación registrada en 2026, mientras la biomasa promedio del establecimiento se multiplicó por más de dos y medio respecto de 2021. Poder afirmar esto con mediciones propias —y no con una descripción cualitativa del modelo productivo— fue posible gracias a contar con una serie de monitoreo sobre estaciones fijas.

Las tecnologías de procesos fueron el marco de gestión de toda la transición: convirtieron recuperación, oferta, demanda, distribución espacial, estructura de rodeos, reservas y suplementación estratégica en variables explícitas de decisión y reevaluación. Esto no implica eliminar insumos —la suplementación sigue siendo una herramienta posible cuando un déficit puntual o un objetivo de desempeño la justifican—; lo que disminuyó fue la dependencia estructural de aportes alimentarios externos para sostener la carga.

En conjunto, los resultados respaldan la hipótesis planteada: es posible sustituir la dependencia de recursos alimentarios externos por una estrategia predominantemente basada en tecnologías de procesos, sin resignar capacidad de carga por unidad de superficie ni funcionamiento ecosistémico medido. La principal implicancia práctica para otros establecimientos no es adoptar una técnica particular, sino construir capacidad de medir: sin una serie de balances forrajeros y una serie de monitoreo ecológico sobre estaciones fijas, una transición de este tipo puede narrarse, pero no verificarse.

DECLARACIÓN DE USO DE IA

Durante la preparación de este trabajo, el autor/a utilizó Anthropic Claude como asistente de redacción. La hipótesis de investigación, el diseño metodológico, el

análisis de datos de sustentabilidad y las conclusiones finales fueron desarrollados íntegramente por el autor/a de forma humana. El autor/a asume la total responsabilidad por la precisión y originalidad del contenido final presentado en este documento.

CITAS Y REFERENCIAS

Hara, S.M. 2024. Intensificación y sustentabilidad de la ganadería en Patagonia Norte. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata / INTA EEA Bariloche.
LIAF Control SRL. 2025. Otorgamiento de certificación al Establecimiento La Celia. Programa Estándares de Producción Bovina Alimentada a Pasto – Grass Fed. 3 de julio de 2025.
LIAF Control SRL. 2025. Contrato de certificación entre LIAF Control y Campos Lagazu SRL. Esquema de Certificación Grass Fed.
Ovis 21. 2021. Informe de Monitoreo Ecological Outcome Verification. Línea de base. La Celia, junio de 2021.
Ovis 21. 2021. Informe del Plan Cerrado. La Celia, junio de 2021.
Ovis 21. 2022. Informe de Monitoreo EOV de Corto Plazo. La Celia, marzo de 2022.
Ovis 21. 2022. Informe del Plan Cerrado. La Celia.
Ovis 21. 2023. Informe del Plan Abierto 2023-2024. La Celia.
Ovis 21. 2024. Informe del Plan Cerrado y Monitoreo de Corto Plazo. La Celia.
Ovis 21. 2024. Visita intermedia del Plan Cerrado. La Celia, 24 de julio de 2024.
Ovis 21. 2025. Informe del Plan Cerrado y Monitoreo de Corto Plazo EOV. La Celia.
Ovis 21 / Programa +R. 2025-2026. Informe del Plan Abierto. La Celia.
Ovis 21 / Programa +R. 2026. Informe del Plan Cerrado. La Celia y La Susana.
SAPROCEA. 2025. Reporte de Sustentabilidad Ambiental de los Establecimientos La Celia y La Susana – Campos Lagazu. Evaluación para la obtención del Sello Argentino de Sustentabilidad Ambiental. Noviembre de 2025.
SAPROCEA. 2025. Contrato de otorgamiento del Sello Argentino de Sustentabilidad a Campos Lagazu. 12 de diciembre de 2025.
Campos Lagazu. 2021-2026. Registros productivos, movimientos de hacienda y antecedentes internos de manejo. Establecimiento La Celia.
Campos Lagazu. 2018-2024. Datos productivos anuales declarados en plataforma de seguimiento.

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE POLLOS PARRILLEROS ALIMENTADOS CON HIDROXITIROSOL: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST OBTENIDO

Torraca Argüelles, R.; Fernández, H.; Fernández Etchegaray, V.; López, F.; Moisés, J.
Departamento de Agronomía - Universidad Nacional del Sur
Buenos Aires
rocio.torraca@uns.edu.ar

RESUMEN

La producción avícola intensiva genera importantes volúmenes de residuos orgánicos cuyo manejo constituye un desafío ambiental. En este contexto, la utilización de productos y subproductos agroindustriales en la dieta y la valorización de excretas mediante compostaje representan una estrategia integrada alineada con los principios de la economía circular. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades químicas y microbiológicas del compost elaborado a partir de cama y excretas de pollos parrilleros alimentados con una dieta adicionada con hidroxitirosol, compuesto antioxidante natural obtenido de los subproductos de la industria olivícola. Se utilizaron 100 pollos parrilleros distribuidos en cuatro subunidades experimentales, alimentados con una dieta control y una dieta con 14 mg.kg $PV^{-1}.d^{-1}$ de hidroxitirosol. Finalizada la crianza, se confeccionó una pila de compost para cada tratamiento utilizando la cama de cría de viruta de madera, excretas y chips de poda como estructurante. Ambos compost cumplieron con los parámetros de calidad establecidos por la normativa vigente. Este resultado constituye una aproximación exploratoria al posible vínculo entre la nutrición animal, las características de los residuos de la cría y del compost obtenido a partir de los mismos.

INTRODUCCIÓN

La producción avícola intensiva genera grandes cantidades de residuos orgánicos cuyo manejo representa uno de los principales desafíos ambientales del sector. El compostaje constituye una alternativa eficiente para transformar estos residuos en enmiendas orgánicas estables y sanitariamente seguras, favoreciendo el reciclado de nutrientes y la sostenibilidad de los sistemas productivos. En este contexto, resulta especialmente relevante desarrollar estrategias que permitan actuar sobre la calidad de los residuos desde las primeras etapas del sistema productivo, integrando nutrición animal y gestión ambiental. Las decisiones nutricionales implementadas durante la producción podrían repercutir sobre la calidad de los residuos generados y sobre su potencial valorización agronómica.

En este sentido, la utilización de compuestos bioactivos obtenidos a partir de subproductos de la industria olivícola representa una estrategia de creciente interés para integrar la valorización de residuos agroindustriales con la producción animal sustentable. Dentro de los polifenoles derivados del olivo, se encuentra mayoritariamente el hidroxitirosol, que posee una reconocida actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana (Scicutella et al., 2021). En aves, su incorporación a la dieta se asocia con mejoras en el estado antioxidante, la integridad intestinal y la

respuesta inflamatoria (Dias et al., 2024). Además, diversos polifenoles de origen vegetal han demostrado capacidad para modular la microbiota intestinal (Scicutella et al., 2021). Estas respuestas fisiológicas podrían modificar la utilización de los nutrientes y, en consecuencia, alterar la composición fisicoquímica y microbiológica de las excretas, influyendo posteriormente sobre los procesos de degradación de la materia orgánica y las transformaciones del nitrógeno durante el compostaje (Bernal et al., 2009). Esta posible relación ha sido escasamente estudiada y constituye una línea de investigación de creciente interés dentro de los sistemas de producción agropecuaria, donde se busca ampliar el enfoque tradicional de la nutrición animal hacia una visión integral del sistema productivo, basada en principios de economía circular y sustentabilidad.

OBJETIVO

Caracterizar las propiedades químicas y microbiológicas del compost elaborado a partir de cama de cría y excretas de pollos parrilleros alimentados con una dieta adicionada con hidroxitirosol, como estrategia de valorización de residuos en sistemas de producción sustentables.

DESARROLLO / RESULTADOS

Se utilizaron 100 pollos parrilleros Cobb® distribuidos en cuatro subunidades experimentales de 25 aves. Dos recibieron una dieta control (C) y dos una dieta con 14 mg kg PV^{-1} d^{-1} de hidroxitirosol (HT) desde los 21 hasta los 42 días de edad. Finalizada la crianza, se elaboró una pila de compost por tratamiento utilizando cama, excretas y chips de poda de *Eucalyptus* sp. El proceso se desarrolló durante 90 días bajo condiciones aeróbicas y termófilas controladas, conforme a la Resolución Conjunta N.º 1/2019. El seguimiento, muestreo y análisis de las pilas se realizaron según el Anexo V. Los resultados (Tabla 1) se expresan como media ± DE de tres submuestras por pila. Las submuestras constituyeron réplicas de muestreo y no réplicas experimentales independientes; por ello, los resultados se presentan con carácter descriptivo y no se realizaron análisis estadísticos inferenciales entre tratamientos.

Ambos compost cumplieron con los requisitos sanitarios establecidos por la normativa vigente, presentando ausencia de *Salmonella* sp. y *Escherichia coli*, y recuentos inferiores a 10 UFC g^{-1} de coliformes fecales. El compost HT presentó menor relación C/N y materia orgánica que C. La disminución de la relación C/N durante el compostaje se relaciona con la degradación de materia orgánica y la pérdida de carbono como CO_2 (Bernal et al., 2009). El contenido de N-NH_4^+ también fue menor en HT, mientras que la relación NH_4^+/NO_3^- mostró valores similares. Esta relación constituye uno de los indicadores utilizados para evaluar la evolución y madurez del compost, debido a la transformación del N-NH_4^+ en NO_3^- durante la nitrificación (Bernal et al., 2009). La producción de CO_2 fue mayor en HT. Este parámetro permite estimar la actividad biológica y la estabilidad relativa del compost, por lo que una mayor respiración indica mayor actividad biológica residual. Por otro lado, el pH también fue superior en HT y puede variar durante el compostaje como consecuencia de la degradación de compuestos orgánicos y nitrogenados y de las transformaciones del nitrógeno (Bernal et al., 2009). La mayor alcalinidad observada en HT podría estar relacionada con

diferencias en la dinámica de estos procesos. En conjunto, las diferencias descriptivas observadas sugieren dinámicas de transformación potencialmente diferentes entre las pilas. Ji et al. (2023) sostienen la necesidad de interpretar los indicadores de manera integrada para evaluar la estabilidad y madurez del compost; no obstante, debido al diseño empleado en el presente trabajo, no es posible determinar si un compost presentó mayor estabilidad o madurez que el otro. Sin embargo, cabe destacar que ambos compost cumplieron con los criterios de calidad establecidos por la normativa vigente. Una hipótesis a considerar es que la suplementación con hidroxitirosol podría haber modificado características biológicas de las excretas y repercutido sobre la dinámica del compostaje. No obstante, esta relación no fue evaluada en el presente trabajo y requiere estudios posteriores que incluyan caracterización de la comunidad microbiana y seguimiento temporal del proceso.

Tabla 1. Parámetros de calidad, indicadores de estabilidad y madurez de compost

	Tratamientos	
	C	**HT**
Humedad (%)	42,04 ± 5,80	55,32 ± 0,69
pH	8,47 ± 0,03	8,96 ± 0,06
CE (dS/m)	3,08 ± 0,27	2,73 ± 0,14
C/N	13,92 ± 0,23	12,31 ± 0,58
MO (%)	73,98 ± 1,59	70,48 ± 1,06
Producción de CO_2 (mg/kg.h)	6,4 ± 1,29	7,83 ± 0,71
Amonio ($N\text{-}NH_4^+$) (mg/kg)	76,03 ± 0,50	59,33 ± 1,12
$N\text{-}NH_4^+/NO_3^-$	0,048 ± 0,00058	0,05 ± 0,00058

C: control, sin hidroxitirosol; HT: 14 mg.kg $PV^{-1}.d^{-1}$ de hidroxitirosol. Los valores se expresan como media ± DE de tres submuestras analizadas por pila.

CONCLUSIONES

La adición de hidroxitirosol en la dieta de pollos parrilleros, en la dosis evaluada de 14 mg.kg $PV^{-1}.d^{-1}$, no comprometió la aptitud agronómica del compost obtenido a partir de sus residuos. Son necesarios más estudios que permitan determinar si las diferencias observadas se deben a cambios en la comunidad microbiana de las excretas o a otros factores que afectarían el proceso de compostaje.

CITAS

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*, *100*(22), 5444-5453.

Dias, K. M., Oliveira, C. H., Calderano, A. A., Rostagno, H. S., Gomes, K. M., O'Connor, K. E., ... & Albino, L. F. (2024). Dietary hydroxytyrosol supplementation on growth performance, gut morphometry, and oxidative and inflammatory status in LPS-challenged broilers. *Animals*, *14*(6), 871.

Scicutella, F., Mannelli, F., Daghio, M., Viti, C., & Buccioni, A. (2021). Polyphenols and organic acids as alternatives to antimicrobials in poultry rearing: a review. *Antibiotics*, *10*(8), 1010.

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria y Secretaría de Control y Monitoriomedio Ambiental. (2019). *Resolución Conjunta 1/2019. Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost*.

Ji, Z., Zhang, L., Liu, Y., Li, X., & Li, Z. (2023). Evaluation of composting parameters, technologies and maturity indexes for aerobic manure composting: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, *886*, 163929.

EJE CONSTRUCCIONES SUSTENTABLES

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO MEDIANTE CUBIERTAS VEGETADAS EN RÍO CUARTO, CÓRDOBA, ARGENTINA

Adaro, J. A.; Barbero, V. E.; Brandana, A. G.; Cassini, M. J.; Estévez, S. J.; Marquez, D.; Romero, H. F.
Grupo de Energía Solar, Facultad de Ingeniería - Departamento de Producción Vegetal, Cátedra de Espacios Verdes, Facultad de Agronomía y Veterinaria - Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba
mcassini@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

Las cubiertas vegetadas o techos verdes constituyen una estrategia sustentable capaz de moderar las condiciones térmicas interiores de las edificaciones y contribuir a la mitigación del fenómeno de isla de calor urbano. El presente trabajo evalúa experimentalmente, mediante boxes experimentales, el efecto de cubiertas vegetadas, conformadas por comunidades con diferentes formas de vida, sobre el comportamiento térmico interior y el potencial de ahorro energético asociado en la localidad de Río Cuarto, tomando como referencia una temperatura de confort de 23°C. Para ello se realizaron mediciones de temperatura de aire en boxes experimentales mediante sensores tipo Onset-HOBO, durante distintas estaciones del año. A partir de las diferencias de temperatura respecto a la condición de confort, se estimó un indicador simplificado de demanda térmica para calefacción y refrigeración. Los resultados muestran que la incorporación de cubiertas vegetadas reduce la amplitud térmica interior y podría disminuir el potencial de demanda energética destinada a refrigeración hasta un 50% en determinadas condiciones estacionales.

Palabras clave: Cubiertas Vegetadas; Comportamiento Térmico.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades y el incremento de la densificación urbana reduce la disponibilidad de espacios verdes. Esta situación potencia el efecto isla de calor urbano (ICU), que trae a consecuencia el aumento de temperaturas del entorno urbano y del interior de los hogares, reduciendo el confort habitacional y elevando el consumo de energía destinado a refrigeración (Duval y Benedetti, 2024).

La vegetación consume gran cantidad de la energía solar incidente a través de sus funciones biológicas, como fotosíntesis y transpiración, y también proporciona sombra, que en conjunto reducen la radiación que afecta a la temperatura interna de las edificaciones en comparación con un techo desnudo (Wong, Chen, Ong y Sia, 2003). Mediciones de campo realizadas durante un verano en Japón, confirmaron la reducción del calor que entraba en una habitación bajo un techo verde. La temperatura superficial de la losa del techo disminuyó de aproximadamente 60 a 30 °C durante el día, lo que permitió prever una reducción del 50 % en el flujo de calor hacia la

habitación (Onmura, Matsumoto y Hokoi, 2001).

La aplicación de políticas para el uso eficiente de la energía es primordial en un contexto de aumento de demanda de energía debido al crecimiento poblacional e industrial (Roselfeld *et al*., 2007). Las cubiertas vegetadas resultan ser una alternativa sustentable para disminuir la demanda energética de los edificios, haciendo un uso eficiente de la energía para la sostenibilidad urbana, al mismo tiempo que mejora el confort térmico de los espacios interiores e incrementa el enverdecimiento del entorno urbano. Sin embargo, su implementación requiere evaluar el desempeño termo-energético en la zona (Flores Asin *et al*., 2015).

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene por objetivo estimar el ahorro energético a lo largo del año derivado del uso de techos verdes en la localidad de Río Cuarto, Córdoba-Argentina, mediante ensayos experimentales. También busca analizar el efecto de distintos tipos de vegetación en el ahorro energético.

METODOLOGÍA

Diseño experimental

El diseño experimental consiste en tres boxes de simulación de viviendas que permite comparar el efecto en el potencial de ahorro energético de distintas cubiertas. Se trata de un análisis comparativo entre un box testigo y dos boxes con cubierta vegetada con especies adaptadas a las condiciones climáticas de la zona, montados en el área experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Rio Cuarto (latitud 33°6'36"S, longitud 64°18'6"O).

Los boxes consisten en tres estructuras de chapa plegada de medidas 61,5 cm de ancho, 29,5 cm alto y 84,5 cm profundidad, pintadas de color negro. Revestidas por dentro con una capa de poliuretano expandido de 20mm de espesor y 30 botellas plásticas de medio litro con agua para simular inercia térmica.

Las cubiertas vegetadas consisten en un modelo industrial patentado en el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial (INPI) por el equipo de trabajo UCC-CONICET, cuyos módulos están conformados por bateas de polietileno de alta densidad, diseñadas para techos verdes extensivos, contando con un sistema de drenaje (orificios de 8 mm) y reservorio de humedad. El sustrato se compone por una base de 3 cm de perlita, que retiene la humedad. Por encima, y separada por una manta geotextil (manta térmica), dicho sustrato contiene una mezcla de tierra de desecho de obra, perlita, cáscara de maní y compost equino (proporciones 3:1:1:1), cuyo volumen ocupa 0,12 m³ en cada batea. Se utilizaron especies de alta adaptabilidad al clima local. La cubierta N°1 fue plantada con una comunidad formada por: Jarava ichu, Thulbalgia violácea, Glandularia x hybrida, Phyla nodiflora. Mientras que la cubierta N°2 fue plantada con suculentas: Bulbine frutescens y Aptenia cordifolia. Se instaló un sistema de riego por goteo con temporizador, programado para realizar un riego mínimo que permita la supervivencia de las plantas mientras no se produzcan precipitaciones.



Figura 1: Diseño experimental

Ensayo experimental

La comparación del comportamiento térmico de los boxes se realizó mediante la medición de la temperatura en el interior de cada box y en el ambiente exterior, cada 15 minutos durante un mínimo de 10 días, en cada una de las estaciones del año. Se utilizaron sensores tipo HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger y HOBO U12 Temp/RH/2 External Data Logger para el interior de los boxes y un sensor tipo HOBO Pendant Loggers para la medición del exterior.

RESULTADOS

Comportamiento térmico

Las figuras 2, 3, 4 y 5 muestran los resultados obtenidos del ensayo experimental en las distintas estaciones del año.

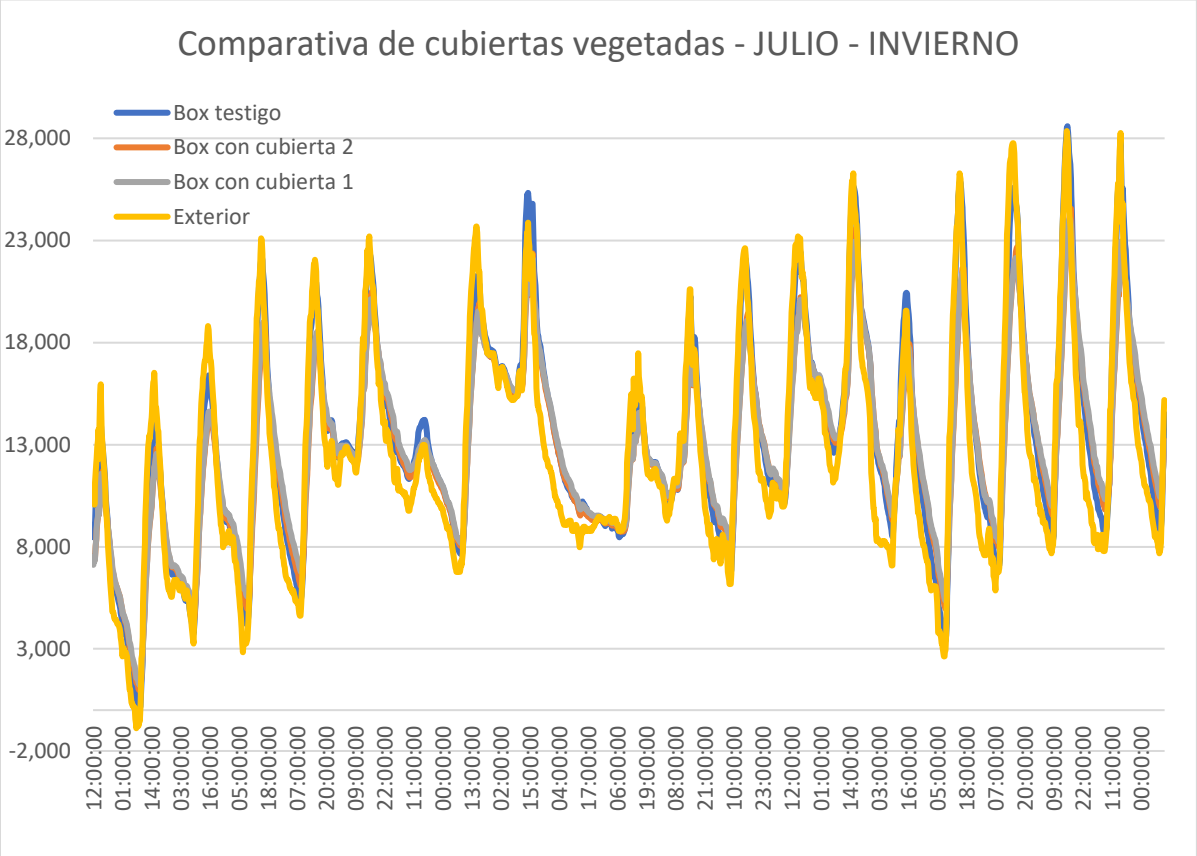


Figura 2: Mediciones de temperatura en exterior e interior de box testigo y los dos boxes con cubiertas vegetadas en el mes de Julio.

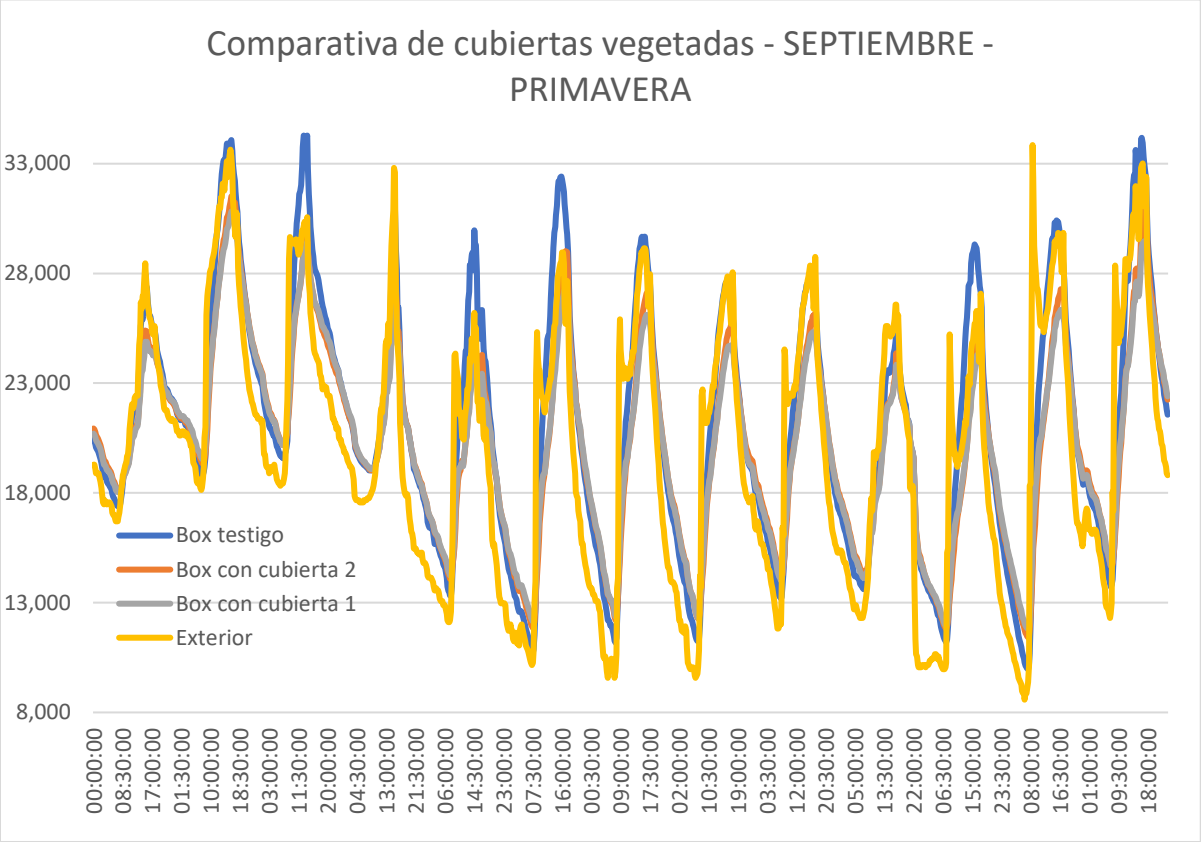


Figura 3: Mediciones de temperatura en exterior e interior de box testigo y los dos boxes con cubiertas vegetadas en el mes de Septiembre.

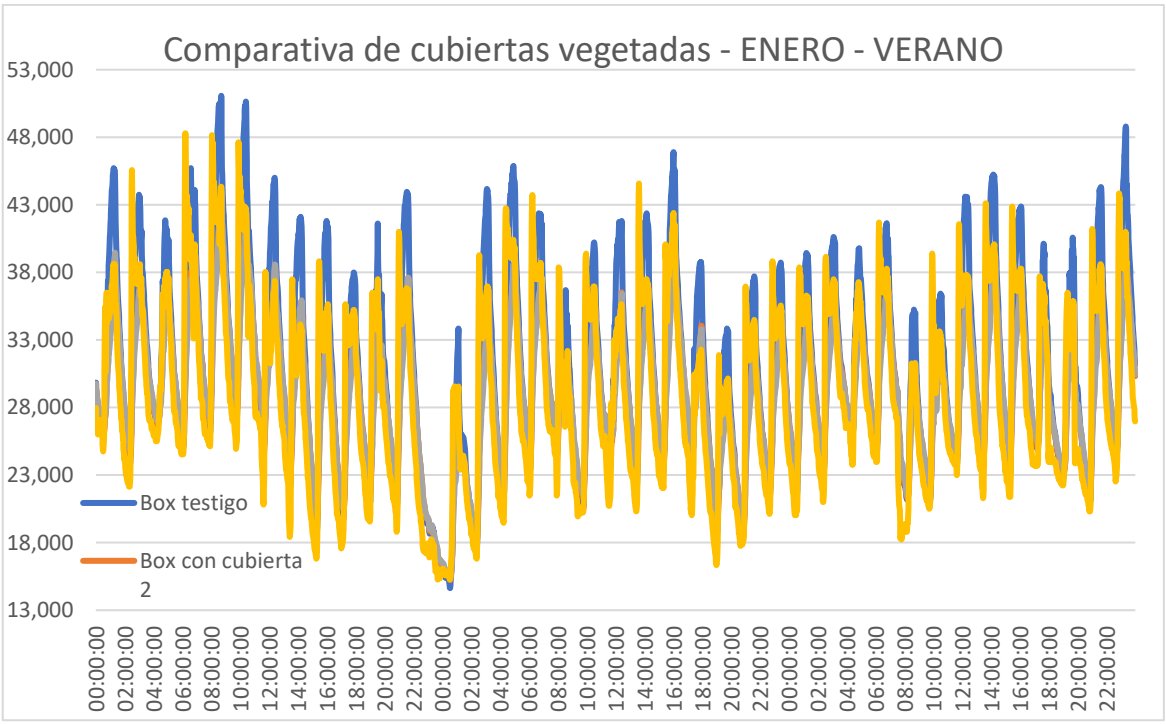


Figura 4: Mediciones de temperatura en exterior e interior de box testigo y los dos boxes con cubiertas vegetadas en el mes de Enero.

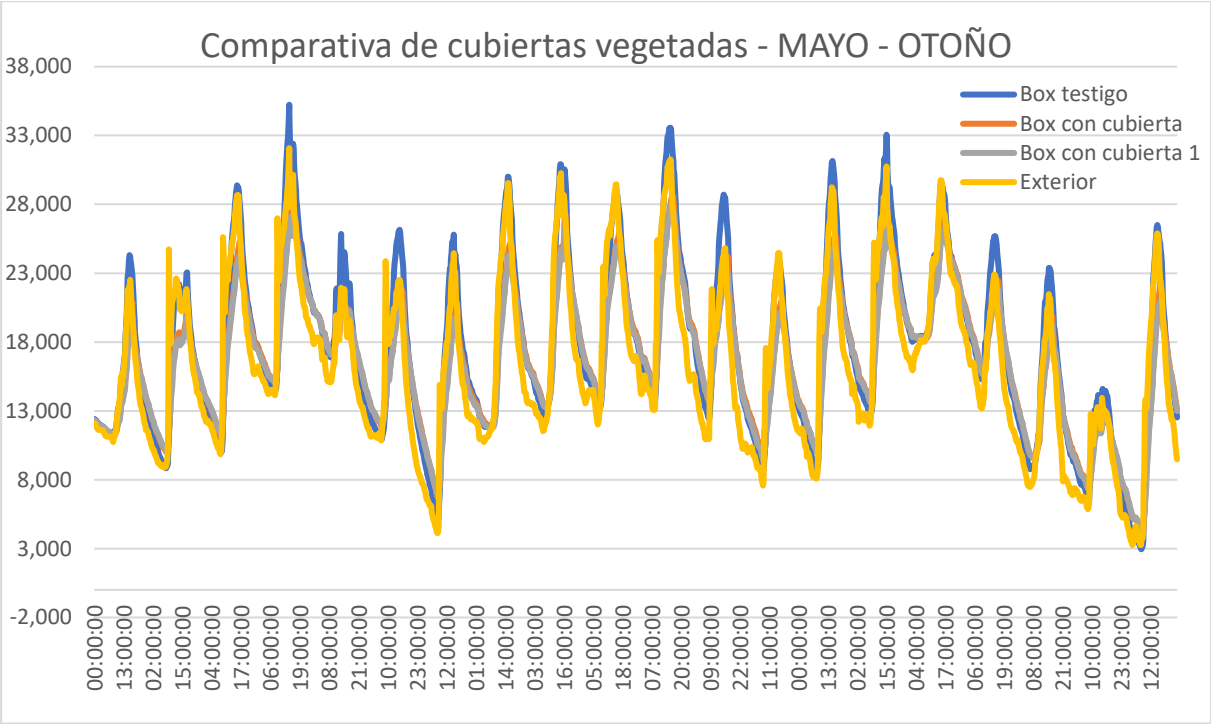


Figura 5: Mediciones de temperatura en exterior e interior de box testigo y los dos boxes con cubiertas vegetadas en el mes de Mayo.

Las curvas de temperatura de los boxes con cubiertas vegetadas se encuentran amortiguadas respecto al box testigo. Es decir, los boxes con cubiertas tienen menor amplitud térmica que el box sin cubierta. Esta situación favorece el confort térmico y menor consumo energético.

Cálculos del ahorro energético

En todas las épocas del año, se observó que, en la noche, la presencia de la cubierta vegetada reduce la caída de temperatura dentro del box, siendo la diferencia de 0,8°C. Mientras que, en el día, la presencia de la cubierta vegetada reduce el aumento de temperatura dentro del box, siendo la diferencia de alrededor de 2.5°C en invierno, 4°C en otoño y primavera, y 6°C en verano. Este valor puede deberse al diseño del modelo experimental y a las condiciones climáticas del lugar y de la fecha.

Las tablas 1, 2, 3 y 4 muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1: Temperaturas mínima y máxima promedios en el mes de Julio - Invierno.			
	Box testigo	Box con cubierta 1	Box con cubierta 2
Temperatura mínima promedio [°C]	8,01	8,88	8,60
Temperatura máxima promedio [°C]	21,44	18,91	19,07

Tabla 2: Temperaturas mínima y máxima promedios en el mes de Septiembre - Primavera.			
	Box testigo	Box con cubierta 1	Box con cubierta 2
Temperatura mínima promedio [°C]	13,98	14,87	14,80
Temperatura máxima promedio [°C]	30,33	26,48	27,41

Tabla 3: Temperaturas mínima y máxima promedios en el mes de Enero - Verano.			
	Box testigo	Box con cubierta 1	Box con cubierta 2
Temperatura mínima promedio [°C]	22,48	23,30	23,05
Temperatura máxima promedio [°C]	41,51	35,84	35,88

Tabla 4: Temperaturas mínima y máxima promedios en el mes de Mayo – Otoño.			
	Box testigo	Box con cubierta 1	Box con cubierta 2
Temperatura mínima promedio [°C]	10,79	11,65	11,64
Temperatura máxima promedio [°C]	27,21	22,37	23,22

Para los cálculos se toma como temperatura de confort habitacional 23°C. Cuando la temperatura dentro del box supera los 23°C, se considera la necesidad de refrigeración. Cuando la temperatura dentro del box está debajo de los 23°C, se considera la necesidad de calefacción.

Dado que la energía a consumir para acondicionamiento es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el valor actual y el valor deseado a alcanzar (23°C), se calculó esa diferencia de temperatura, en cada intervalo de medición (15 minutos), en los tres boxes analizados, discriminando energía para refrigeración y energía para calefacción.

Los cálculos fueron realizados de manera integral a lo largo de todo el tiempo de medición. Luego se dividió el valor obtenido por el tiempo de medición, y se obtuvo así un resultado en °C, que representa cuántos grados centígrados promedio por encima o por debajo de la temperatura confort se alcanza en cada box.

Dado que, en invierno en esta latitud, no se utiliza energía para refrigeración, se descarta del análisis el ahorro energético en refrigeración para los meses de invierno. Como también en verano en esta latitud, no se utiliza energía para calefacción, se

descarta del análisis el ahorro energético en calefacción para los meses de verano.

Las tablas 5, 6, 7 y 8 muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5: Cálculos de °C debajo de la temperatura confort, en el mes de Julio – Invierno			
	Box testigo [°C]	Box con cubierta 1 [°C]	Box con cubierta 2 [°C]
°C a calefaccionar	10.28	10.05	10.21

Tabla 6: Cálculos de °C sobre o debajo de la temperatura confort, en el mes de Septiembre – Primavera			
	Box testigo [°C]	Box con cubierta 1 [°C]	Box con cubierta 2 [°C]
°C a refrigerar	4.20	2.46	2.78
°C a calefaccionar	5.34	4.73	4.80

Tabla 7: Cálculos de °C sobre la temperatura confort, en el mes de Enero - Verano			
	Box testigo [°C]	Box con cubierta 1 [°C]	Box con cubierta 2 [°C]
°C a refrigerar	9.53	7.07	7.13

Tabla 8: Cálculos de °C sobre o debajo de la temperatura confort, en el mes de Mayo – Otoño			
	Box testigo [°C]	Box con cubierta 1 [°C]	Box con cubierta 2 [°C]
°C a refrigerar	3.62	1.73	1.99
°C a calefaccionar	7.80	7.32	7.27

Con el fin calcular el ahorro energético, se comparan los grados centígrados promedio por encima o por debajo de la temperatura confort, entre el box testigo y los boxes con cubiertas vegetadas.

Las tablas 9, 10, 11 y 12 muestran los resultados del cálculo del ahorro energético en refrigeración y en calefacción, en las estaciones del año donde corresponde.

Tabla 9: Cálculos de ahorro energético comparativo entre box con cubierta y box sin cubierta vegetada, en el mes de Julio – Invierno.		
	Box con cubierta 1 respecto a Box testigo [%]	Box con cubierta 2 respecto a Box testigo [%]
Ahorro energético en calefacción	2%	1%

Tabla 10: Cálculos de ahorro energético comparativo entre box con cubierta y box sin cubierta vegetada, en el mes de Septiembre – Primavera.		
	Box con cubierta 1 respecto a Box testigo [%]	Box con cubierta 2 respecto a Box testigo [%]
Ahorro energético en refrigeración	41%	34%
Ahorro energético en calefacción	11%	10%

Tabla 11: Cálculos de ahorro energético comparativo entre box con cubierta y box sin cubierta vegetada, en el mes de Enero – Verano.		
	Box con cubierta 1 respecto a Box testigo [%]	Box con cubierta 2 respecto a Box testigo [%]
Ahorro energético en refrigeración	26%	25%

Tabla 12: Cálculos de ahorro energético comparativo entre box con cubierta y box sin cubierta vegetada, en el mes de Mayo – Otoño.		
	Box con cubierta 1 respecto a Box testigo [%]	Box con cubierta 2 respecto a Box testigo [%]
Ahorro energético en refrigeración	52%	45%
Ahorro energético en calefacción	6%	7%

Si bien inicialmente se determinó la reducción de la amplitud térmica dentro de los boxes gracias a la cubierta vegetada, el cálculo del ahorro energético no solo considera la reducción de la amplitud térmica, sino también las temperaturas inherentes a cada estación.

CONCLUSIONES

De los ensayos experimentales llevados a cabo se pudo concluir que, en la noche la presencia de cubierta reduce la caída de temperatura dentro de la construcción, mientras que en el día reduce el aumento de temperatura máxima. Los valores experimentales obtenidos a lo largo de las estaciones del año calendario podrían estar relacionados al diseño del modelo experimental.

La reducción de la amplitud térmica interior del hogar, gracias a la presencia de cubiertas vegetadas en el techo, contribuye a moderar los consumos energéticos tanto para refrigeración como para calefacción. En la localidad de Río Cuarto, el ahorro energético gracias al uso de techos verdes ronda entre un 7-10% en calefacción y un 35-50% en refrigeración en otoño y primavera; y un 25% en refrigeración en verano. En los meses de invierno, la influencia del techo verde en el ahorro en calefacción es despreciable.

Considerando las distintas especies vegetadas, hay diferencias en las temperaturas máximas y en el ahorro energético, en los meses de otoño y primavera, favoreciendo a las especies suculentas: Bulbine frutescens y Aptenia cordifolia, es poco significativa. Sin embargo, estas diferencias no son sustanciales como para sugerir el uso de una especie en particular. El criterio de selección de especies está asociado a la adaptabilidad al clima.

Finalmente, se puede concluir que la implementación de cubiertas vegetadas constituye una estrategia verde viable que permite la reducción de la demanda energética y favorece el confort en espacios interiores.

REFERENCIAS

Duval V. S., Benedetti G. M. (2024). Confort térmico estival en espacios verdes de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *FACENA*, *34*(2), 104–121. https://doi.org/10.30972/fac.3427736

Flores Asin E., Martinez C., Cantón M., Correa E. (2015). Impacto de cubiertas vegetadas en el ahorro energético del parque edilicio del área metropolitana de Mendoza (AMM). *Avances en Energías renovables y Medio Ambiente.* Vol. 19: 05.35-05.43. ISSN 2314-1433.

Onmura S., Matsumoto M., Hokoi A. (2001) Study on evaporative cooling effect of roof lawn garden. *Energy and Buildings,* 33:7, 653-666.

Rosenfeld E., San Juan G., Discoli C., Martini I., Ferreyro C., Barbero D., Brea B., Melchiori M., Viegas G., Dicroce L., Ramirez Casas J. (2007) Ahorro de energía en el sector residencial. Su contribución a la disminución de gases de efecto invernadero (GEI). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 11: 07.31-07.38. ISSN 0329-5184.

Wong N.H., Chen Y., Ong C.L., Sia A. (2003) Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical Environment. *Building and environment,* 38:2, 261-270.

MORTEROS CON BIOCARBÓN COMO SUMIDEROS PASIVOS DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE: EVALUACIÓN MECÁNICA

Barbero, C.; Bruno, M.; Cotella, N.; de Prada, R.; Gallo D.; Serra, M.
IITEMA - Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba
rodrigodeprada@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

El sector de la construcción contribuye con aproximadamente el 38% de las emisiones globales de CO_2, provenientes de la fabricación de cemento y materiales cerámicos. Este trabajo propone la incorporación de biocarbón, obtenido por pirólisis controlada de biomasa residual forestal, como sustituto parcial de cemento Portland en morteros cementicios destinados a la fabricación de mampuestos.

Se elaboraron probetas de 50×50×50 mm con contenidos de biocarbón de 0%, 5%, 10% y 15%, manteniendo relaciones másicas constantes entre los componentes. Los resultados de ensayos a la rotura por compresión muestran que con una sustitución del 15% de cemento por carbon, se obtiene una tensión de rotura que supera los límites mínimos establecidos por la norma argentina para mampuestos portantes (12 MPa) y artesanales (6 MPa).

El material desarrollado fija CO_2 atmosférico de forma pasiva y estable a lo largo de la vida útil del mampuesto. La propuesta valoriza residuos biomásicos actualmente subutilizados, es compatible con líneas de producción existentes y contribuye a los ODS 8, 9, 11, 12 y 13.

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción representa aproximadamente el 37% de las emisiones globales de CO_2 [i], debido principalmente a los procesos de fabricación de cemento y materiales cerámicos, que demandan elevadas cantidades de energía térmica. En este contexto, el desarrollo de materiales con capacidad de captura de carbono constituye una vía innovadora para reducir la huella ambiental del sector sin requerir cambios drásticos en la infraestructura industrial existente.

La carbonización de biomasa es una tecnología madura y de bajo costo capaz de transformar residuos orgánicos en biocarbón, material sólido rico en carbono de alta estabilidad química. Dado que el carbono contenido en el biocarbón proviene de la fijación fotosintética de CO_2 atmosférico, su incorporación en materiales de construcción de larga duración representa una forma efectiva de secuestro de carbono [ii]. Estudios recientes demuestran que materiales cementicios con biocarbón pueden almacenar entre 50 y 200 kg de CO_2 por tonelada de material [iii, iv].

En el presente trabajo se propone la sustitución parcial de cemento Portland en morteros destinados a la elaboración de mampuestos, utilizando biocarbón obtenido por pirólisis de biomasa residual de podas forestales. Esta estrategia reduce

simultáneamente la demanda de materiales no renovables, el peso del producto final y las emisiones derivadas de la disposición de residuos biomásicos. Los materiales propuestos son compatibles con líneas de producción existentes, lo que facilita su adopción industrial [v].

Se evaluaron los morteros producidos mediante ensayos mecánicos de rotura por compresión. La propuesta se alinea con los ODS 8, 9, 11, 12 y 13 [vi], y tiene potencial para generar nuevas cadenas de valor basadas en residuos, promover empleo verde y fortalecer la vinculación universidad–empresa.

OBJETIVOS

El objetivo principal es desarrollar y validar morteros cementicios con incorporación de biocarbón de biomasa residual, evaluando su desempeño mecánico como contribución a la descarbonización del sector de la construcción.

Como objetivos específicos se plantean:

- Obtener biocarbón mediante pirólisis controlada de residuos biomásicos urbanos y forestales, actualmente subutilizados, dándoles destino final de valor agregado.
- Sustituir parcialmente cemento por biocarbón en la formulación de morteros para mampuestos, reduciendo la demanda de materiales no renovables.
- Reducir la huella de carbono del producto final e integrar la propuesta en los principios de economía circular y construcción sostenible.

El carácter innovador de la propuesta reside en la integración funcional del biocarbón como componente activo de secuestro de carbono en materiales constructivos, con el potencial de convertir al mampuesto en un sumidero de CO_2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención del biocarbón: El material de poda forestal fue carbonizado mediante el siguiente programa de pirólisis: calentamiento hasta 250 °C en 90 min, ascenso hasta 350 °C en 180 min, meseta de 90 min a 350 °C y enfriamiento hasta 60 °C en 40 min. El biocarbón obtenido fue tamizado en malla #30.

Preparación de probetas: Se elaboraron probetas cúbicas de 50×50×50 mm (ASTM 109) con contenidos de biocarbón de 0%, 5%, 10% y 15% en sustitución parcial de árido y cemento Portland. En todas las series se mantuvieron constantes las relaciones másicas arena/cemento: 2,75; biocarbón/cemento: 0,94; y biocarbón/arena: 0,34. El árido fue ajustado a normas ASTM C778-17 y el agua adicionada fue la mínima necesaria para lograr una adecuada compactación de las probetas.

Ensayo de resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión de cada serie fue evaluada con una máquina servo-hidráulica Amsler 6PZD 1406, con rótula para garantizar la aplicación axial de la carga y una tasa de incremento de 1200 N/min.

Como se observa en la Figura 1, la incorporación de 5% de biocarbón produce la mayor caída en la resistencia; a partir de ese porcentaje la reducción es gradual, alcanzando una disminución del 33% con el 15% de sustitución.

Discusión: La norma IRAM 12566-1 establece una resistencia media mínima de 12 MPa para ladrillos macizos portantes y de 6 MPa para ladrillos cocidos artesanales. Los resultados obtenidos indican que una sustitución del 15% de biocarbón se supera el límite exigido para ambas categorías, dando viabilidad técnica a la propuesta.

Se concluye que es factible fabricar mampuestos cementicios macizos con hasta un 15% de sustitución de árido y cemento Portland por biocarbón, sin comprometer el desempeño mecánico requerido. Podrían evaluarse porcentajes superiores para aplicaciones en tabiques no portantes, donde las exigencias de resistencia son menores.

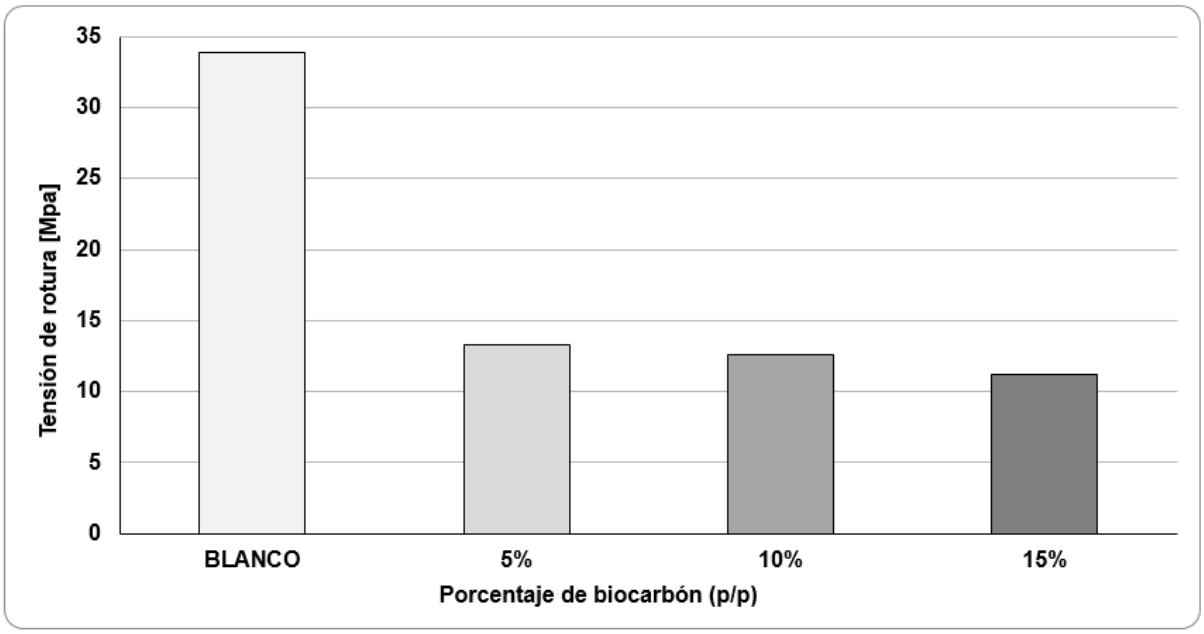


Figura 1. Tensión de rotura de las muestras en función del porcentaje de biocarbón.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un material constructivo con 15% de biocarbón incorporado cuya resistencia mecánica cumple con las exigencias para mampuestos portantes. Los ensayos indican que es posible incrementar esa proporción en morteros destinados a tabiques no portantes, ampliando el rango de aplicación del material. Se definieron los parámetros principales de producción: tipo de biomasa, temperatura y tiempo de pirólisis.

El resultado es un material innovador y económicamente viable con balance carbono negativo, que transforma un residuo ambiental en una solución concreta para la captura pasiva de CO_2 y la construcción sostenible.

En el plano ambiental, el uso de residuos de forestales como fuente de biocarbón evita las emisiones asociadas a su quema o descomposición, promoviendo un ciclo cerrado de carbono en el marco de la bioeconomía regional.

En el plano socioeconómico, la propuesta favorece la creación de cadenas de valor locales basadas en la valorización de biomasa residual, con potencial para diversificar la actividad de productores generando empleo verde. La tecnología es transferible a pymes y municipios, lo que facilita la adopción gradual de prácticas de construcción sustentable en sustitución de materiales intensivos en carbono.

REFERENCIAS

[i] United Nations Environment Programme (UNEP) and Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC). Global Status Report for Buildings and Construction 2020: To-wards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi, Kenya, 2020.
[ii] Woolf, D.; Amonette, J. E.; Street-Perrott, F. A.; Lehmann, J.; Joseph, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature Communications, Vol. 1, Art. 56, 2010.
[iii] Lehmann, J.; Joseph, S. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. 2nd ed., Routledge, Londres, 2021.
[iv] Huang, Y.; et al. "Carbon sequestration and mechanical properties of biochar-based cementi-tious composites". Construction and Building Materials, Vol. 327, 2022.
[v] Restuccia, L.; Ferro, G. A. Promising low CO_2 cementitious materials containing biochar addi-tions: A review. Construction and Building Materials, Vol. 259, 2020.
[vi] Organización de las Naciones Unidas (ONU). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/ (consultado en junio de 2026).

DE LA CERTIFICACIÓN AMBIENTAL AL MODELO DE GESTIÓN PARA UNA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

Beck, J.
Universidad Nacional del Sur (UNS)
Buenos Aires
Josefina.beck@uns.edu.ar

RESUMEN

La construcción constituye uno de los sectores con mayor impacto sobre el ambiente debido a su elevado consumo de recursos naturales, energía y agua, así como a la generación de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, las certificaciones ambientales han adquirido un papel relevante como herramientas para promover edificaciones más sostenibles. El presente trabajo tiene como objetivo analizar las principales certificaciones ambientales aplicables al sector de la construcción e identificar los criterios de sostenibilidad que pueden adoptarse como un modelo de gestión para orientar el diseño y la construcción de edificaciones, independientemente de la obtención de una certificación formal. Para ello, se desarrolló una investigación de carácter descriptivo con enfoque cualitativo, basada en el análisis documental y comparativo de los sistemas Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE), WELL Building Standard (WELL) y las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP). Los resultados evidencian una marcada convergencia entre estos sistemas en torno a dimensiones como la eficiencia energética, la gestión eficiente del agua, la selección de materiales, la reducción de emisiones, la calidad ambiental interior y la gestión de residuos, configurando un conjunto de buenas prácticas ampliamente aceptadas a nivel internacional. Como principal contribución, el trabajo propone interpretar estas certificaciones no solo como mecanismos de evaluación ambiental, sino como modelos de gestión capaces de orientar la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida de las edificaciones, generando simultáneamente valor ambiental, económico y estratégico para los distintos actores del sector de la construcción.

Palabras clave**:** construcción sustentable; certificaciones ambientales; modelos de gestión; sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción constituye uno de los principales motores del desarrollo económico y social, al generar infraestructura para viviendas, industrias, comercios,

servicios y espacios públicos que contribuyen al crecimiento de las ciudades y a la mejora de la calidad de vida de la población. Sin embargo, este desarrollo conlleva un importante impacto ambiental asociado al elevado consumo de materias primas, energía y agua, así como a la generación de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), posicionando a la construcción entre las actividades con mayor incidencia sobre el cambio climático a nivel mundial (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] y la Alianza Mundial para la Edificación y la Construcción [GlobalABC], 2024).

De acuerdo con el informe *Global Status Report for Buildings and Construction 2024*, las operaciones de los edificios y la fabricación de materiales de construcción representan aproximadamente el 34 % de la demanda mundial de energía y cerca del 37 % de las emisiones globales de dióxido de carbono. Estos datos evidencian la necesidad de transformar la manera en que se diseñan, construyen y operan los edificios, incorporando criterios que permitan reducir su impacto ambiental sin comprometer su funcionalidad ni la calidad de vida de sus usuarios (PNUMA y GlobalABC, 2024).

En este contexto, la construcción sustentable ha evolucionado desde una tendencia emergente hasta consolidarse como un componente estratégico del desarrollo urbano. La incorporación de soluciones orientadas a la eficiencia energética, el uso responsable del agua, la selección de materiales de menor impacto ambiental, la gestión adecuada de residuos y la mejora de la calidad ambiental interior constituye hoy un elemento fundamental para avanzar hacia ciudades más resilientes y alineadas con los compromisos internacionales en materia de desarrollo sostenible y acción climática. En particular, estos principios contribuyen al cumplimiento de diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, especialmente el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, que promueve el desarrollo de asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles; el ODS 12: Producción y consumo responsables, orientado al uso eficiente de los recursos naturales y la reducción de residuos; y el ODS 13: Acción por el clima, que impulsa la adopción de medidas para combatir el cambio climático y sus efectos (Naciones Unidas, 2015).

Paralelamente, el mercado de la construcción también ha experimentado una profunda transformación. La creciente incorporación de criterios de sostenibilidad en las decisiones de inversión y financiamiento ha impulsado una mayor valoración de los proyectos que integran prácticas responsables desde las etapas de diseño, construcción y operación. En este contexto, desarrolladores, inversores, entidades financieras, organismos públicos y usuarios consideran cada vez más atributos como la eficiencia energética, la reducción del consumo de agua, la disminución de los costos operativos, la resiliencia frente al cambio climático y el desempeño ambiental de las edificaciones. En consecuencia, la sostenibilidad ha dejado de ser percibida únicamente como un atributo ambiental para consolidarse como un factor estratégico de competitividad, capaz de generar beneficios económicos, ambientales y

reputacionales para los distintos actores del sector (International Finance Corporation [IFC], 2019).

Esta evolución ha impulsado la aparición y consolidación de diferentes sistemas de certificación ambiental para edificios, entre los que se destacan Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE), WELL Building Standard (WELL) y las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP). Tradicionalmente, estos sistemas han sido considerados herramientas destinadas a reconocer el desempeño ambiental de una construcción mediante la obtención de un sello de certificación. Sin embargo, su verdadero aporte trasciende el reconocimiento formal, ya que integran un conjunto de criterios técnicos y buenas prácticas desarrollados a partir de estándares internacionales que orientan el diseño, la construcción y la operación de edificios más eficientes, saludables y sostenibles.

OBJETIVOS

En este marco, el presente trabajo tiene como objetivo general analizar las principales certificaciones ambientales aplicables al sector de la construcción con el propósito de identificar los criterios de sostenibilidad que pueden adoptarse como un modelo de gestión para orientar el diseño, la construcción y la operación de edificaciones sostenibles, independientemente de la obtención de una certificación formal. Como objetivos específicos, se propone: describir las características generales de las principales certificaciones ambientales utilizadas internacionalmente, identificar los criterios comunes que promueven en materia de sostenibilidad y reflexionar sobre su utilización como guía de buenas prácticas para mejorar el desempeño ambiental, económico y social de los proyectos constructivos.

DESARROLLO

La sostenibilidad en la construcción puede entenderse como un proceso progresivo de mejora continua. Wassouf (2019) propone la denominada Pirámide de la Sustentabilidad Normalizada aplicada a la construcción, la cual establece distintos niveles de exigencia para alcanzar edificaciones con mayor desempeño ambiental. En la base de la pirámide se encuentra la normativa vigente, que establece los requisitos mínimos obligatorios para las construcciones. Un segundo nivel corresponde a las certificaciones ambientales, las cuales amplían esos requerimientos mediante criterios que permiten evaluar integralmente el comportamiento ambiental de un edificio. Finalmente, en el nivel superior se ubican los estándares de construcción de mayor exigencia, orientados a alcanzar niveles superiores de eficiencia energética y desempeño ambiental. Este enfoque evidencia que las certificaciones no reemplazan a la normativa, sino que representan un mecanismo de mejora continua que impulsa a las organizaciones a superar los requisitos mínimos establecidos por la legislación.

Esta evolución también responde a la creciente necesidad de transformar un sector que continúa siendo responsable de una proporción significativa del consumo mundial de energía y de las emisiones de dióxido de carbono. Según el PNUMA y GlobalABC (2024) alcanzar los objetivos climáticos internacionales requiere acelerar la adopción

de edificios de alta eficiencia, promover el uso responsable de los recursos e incorporar herramientas que permitan medir y mejorar el desempeño ambiental de las construcciones.

Desde una perspectiva económica, esta transformación también encuentra sustento en el creciente interés de inversores, entidades financieras y desarrolladores por proyectos capaces de combinar rentabilidad con sostenibilidad. En este sentido, la International Finance Corporation (IFC, 2019) sostiene que los edificios sostenibles constituyen activos de mayor valor, ya que permiten reducir costos operativos, mejorar la eficiencia en el uso de recursos, disminuir riesgos asociados al cambio climático y responder a las nuevas demandas del mercado inmobiliario. En consecuencia, la incorporación de criterios de sostenibilidad deja de representar únicamente una estrategia ambiental para convertirse también en una herramienta de competitividad y generación de valor para el sector de la construcción.

Las certificaciones ambientales constituyen actualmente una de las principales herramientas para evaluar y promover la sostenibilidad en las edificaciones. Aunque cada sistema presenta una metodología de evaluación y criterios específicos, todos comparten el propósito de impulsar construcciones más eficientes, resilientes y sostenibles, incorporando criterios ambientales, económicos y sociales desde las primeras etapas del proyecto y a lo largo de todo su ciclo de vida. En este sentido, el análisis comparativo de las principales certificaciones permite identificar una marcada correlación entre los aspectos evaluados, evidenciando la existencia de un conjunto de buenas prácticas ampliamente aceptadas a nivel internacional que orientan el diseño, la construcción y la operación de edificios bajo un enfoque de mejora continua.

Entre las certificaciones con mayor reconocimiento internacional se encuentra BREEAM desarrollada en el Reino Unido en 1990 y considerada el primer sistema integral de evaluación ambiental para edificios. Su metodología analiza diferentes dimensiones del desempeño de una construcción, entre ellas el consumo energético, la gestión del agua, la utilización de materiales, la generación de residuos, la salud y el bienestar de los ocupantes, la gestión del proyecto, el uso del suelo, la contaminación y la innovación. La obtención de créditos en cada categoría determina el nivel final de certificación, que puede variar desde "Aprobado" hasta "Excepcional". La amplitud de criterios considerados convierte a BREEAM en uno de los sistemas de evaluación ambiental más completos y difundidos a nivel internacional (BREEAM, s.f).

Otra de las certificaciones más utilizadas es LEED desarrollada por el U.S. Green Building Council. Su metodología también se basa en un sistema de créditos distribuidos en diferentes categorías, tales como localización y transporte, eficiencia en el uso del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad ambiental interior, innovación y prioridades regionales. Según la cantidad de puntos obtenidos, los proyectos pueden alcanzar los niveles Certified, Silver, Gold o Platinum. La amplia adopción internacional de LEED ha contribuido a establecer estándares comunes para el diseño y la construcción de edificios con menor impacto ambiental (U.S. Green Building Council, s,f).

Con un enfoque orientado a facilitar la adopción de edificios sostenibles en mercados emergentes, la Certificación EDGE fue desarrollada por la International Finance Corporation (IFC), integrante del Grupo Banco Mundial. A diferencia de otros sistemas, EDGE centra su evaluación en la cuantificación de los ahorros alcanzados en consumo de energía, agua y energía incorporada en los materiales de construcción respecto de un edificio convencional. Esta metodología permite demostrar que la incorporación de criterios de sostenibilidad puede traducirse simultáneamente en beneficios ambientales y económicos, favoreciendo proyectos con menores costos operativos y mayor valor para inversores y usuarios (IFC, 2024).

Complementariamente, la certificación WELL incorpora una dimensión que históricamente había recibido menor atención dentro de la construcción sustentable: la salud y el bienestar de las personas. Este sistema evalúa aspectos relacionados con la calidad del aire, el agua, la iluminación, el confort térmico y acústico, el movimiento, la salud mental y otros factores que influyen sobre el desempeño y la calidad de vida de los ocupantes. De esta manera, WELL amplía el concepto tradicional de sustentabilidad al integrar la dimensión humana como componente esencial del diseño de edificios. (International WELL Building Institute, s.f.)

Finalmente, las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) constituyen una herramienta complementaria basada en el Análisis del Ciclo de Vida de los materiales de construcción. Reguladas por la norma ISO 14025 y, para productos de construcción, por la norma europea EN 15804, las DAP permiten disponer de información ambiental objetiva y verificada por terceros acerca de los impactos asociados a cada material durante su ciclo de vida. Esta información facilita la selección de productos con menor huella ambiental y favorece decisiones de diseño basadas en evidencia científica. (ISO 14025, 2006; EN 15804, 2019).

En el análisis comparativo presentado en el Cuadro 1 se evidencia que, más allá de las diferencias existentes en las metodologías de evaluación, los sistemas de certificación convergen en un conjunto de dimensiones consideradas esenciales para alcanzar una construcción sustentable. La eficiencia energética, la gestión responsable del agua, la selección de materiales de menor impacto ambiental, la reducción de emisiones de carbono, la adecuada gestión de residuos y la calidad ambiental interior aparecen como ejes recurrentes en la mayoría de las certificaciones analizadas. Esta coincidencia permite identificar un consenso internacional respecto de las principales prácticas que deberían incorporarse durante el diseño, la construcción y la operación de los edificios para mejorar su desempeño ambiental.

Cuadro 1. Comparación de las principales dimensiones de sostenibilidad consideradas por las certificaciones ambientales

Dimensión de sostenibilidad	*BREEAM*	*LEED*	*EDGE*	*WELL*	*DAP*
Eficiencia energética	✓	✓	✓		
Gestión eficiente del agua	✓	✓	✓		
Selección de materiales	✓	✓	✓		✓
Calidad ambiental interior	✓	✓		✓	
Salud y bienestar	✓	✓		✓	
Gestión de residuos	✓	✓			
Emisiones y carbono	✓	✓	✓		✓
Innovación	✓	✓		✓	

Fuente: Elaboración propia

Esta convergencia resulta especialmente significativa porque demuestra que las distintas certificaciones, aun cuando fueron desarrolladas por organizaciones diferentes y responden a metodologías particulares, comparten una visión común acerca de los aspectos prioritarios para avanzar hacia edificaciones más sostenibles. En consecuencia, los criterios promovidos por estos sistemas pueden interpretarse como un conjunto de lineamientos técnicos ampliamente validados a nivel internacional, capaces de orientar la planificación y gestión de proyectos constructivos independientemente del esquema de certificación adoptado.

Desde esta perspectiva, el principal aporte de las certificaciones trasciende la obtención de un sello ambiental. Más que constituir únicamente un mecanismo de evaluación del desempeño de una edificación, representan una guía de buenas prácticas que facilita la incorporación sistemática de criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones. Esto permite que desarrolladores, empresas constructoras, organismos públicos y profesionales puedan aplicar estos lineamientos aun cuando el proyecto no contemple la certificación formal, utilizando sus criterios como referencia para mejorar el desempeño ambiental y la calidad integral de las construcciones.

Asimismo, la implementación de estos criterios genera una doble creación de valor. Desde la dimensión ambiental, contribuye a disminuir el consumo de energía y agua, optimizar el uso de materiales, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar los impactos asociados al ciclo de vida de los edificios, en línea con los desafíos planteados por el Global Status Report for Buildings and Construction 2024 (PNUMA & GlobalABC, 2024). Desde la dimensión económica y estratégica, favorece la reducción de costos operativos mediante una mayor eficiencia en el uso de los recursos, incrementa el valor patrimonial de los inmuebles, fortalece la reputación de las organizaciones y responde a una demanda creciente de usuarios, inversores y entidades financieras que incorporan la sostenibilidad como un criterio relevante para la toma de decisiones (IFC, 2019).

En este sentido, el análisis realizado permite sostener que las certificaciones ambientales pueden comprenderse no solo como instrumentos destinados a verificar el desempeño sostenible de una edificación, sino también como modelos de gestión

que reúnen y sistematizan las principales buenas prácticas reconocidas internacionalmente para el sector de la construcción. Su verdadero valor radica en ofrecer un marco de referencia que facilita la integración de criterios ambientales, económicos y sociales a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, promoviendo proyectos más eficientes, competitivos y resilientes, independientemente de que se obtenga o no una acreditación oficial.

CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar las principales certificaciones ambientales aplicables al sector de la construcción con el propósito de identificar los criterios de sostenibilidad que pueden adoptarse como un modelo de gestión para orientar el diseño, la construcción y la operación de edificaciones sostenibles, independientemente de la obtención de una certificación formal. A partir del análisis comparativo realizado, fue posible constatar que, si bien los sistemas BREEAM, LEED, EDGE, WELL y las Declaraciones Ambientales de Producto presentan metodologías, alcances y mecanismos de evaluación particulares, todos convergen en un conjunto de principios ampliamente aceptados que orientan el desarrollo de edificaciones con un mejor desempeño ambiental, económico y social.Esta convergencia constituye uno de los principales hallazgos del trabajo. Lejos de representar únicamente herramientas destinadas a otorgar un reconocimiento o sello de calidad ambiental, las certificaciones analizadas reúnen y sistematizan décadas de experiencia, investigación y consenso internacional en torno a las prácticas que deberían incorporarse para alcanzar una construcción sustentable. En consecuencia, su verdadero valor trasciende el proceso de certificación, ya que proporcionan un marco metodológico que puede ser utilizado como referencia para la planificación, ejecución y gestión de proyectos constructivos en contextos muy diversos.

Desde esta perspectiva, el principal aporte del trabajo consiste en proponer una interpretación complementaria de las certificaciones ambientales, entendiéndolas como modelos de gestión y no únicamente como sistemas de evaluación. Esta mirada permite ampliar significativamente su alcance, ya que sus criterios pueden ser incorporados de manera gradual en proyectos nuevos o existentes, incluso cuando no se persiga la obtención de una acreditación oficial. De esta forma, las certificaciones dejan de ser concebidas exclusivamente como un objetivo final para transformarse en instrumentos que orientan la toma de decisiones a lo largo de todo el ciclo de vida de las edificaciones, promoviendo una cultura de mejora continua basada en buenas prácticas internacionalmente validadas.

Los resultados obtenidos también ponen de manifiesto que la incorporación sistemática de estos criterios genera una doble creación de valor. En primer lugar, desde la dimensión ambiental, favorece la reducción del consumo de energía y agua, la utilización más eficiente de los recursos, la selección de materiales con menor impacto ambiental, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y una mejor gestión de los residuos generados durante el ciclo de vida de los edificios. Estos aspectos contribuyen directamente a responder a los desafíos planteados por la Agenda 2030. En segundo lugar, desde la dimensión económica y estratégica, la

adopción de estos lineamientos permite mejorar la eficiencia operativa de las edificaciones, reducir costos de funcionamiento, incrementar el valor patrimonial de los inmuebles y fortalecer la competitividad de organizaciones y desarrolladores en un mercado donde la sostenibilidad adquiere un peso creciente en las decisiones de inversión, financiamiento y consumo. En este sentido, los criterios promovidos por las certificaciones no solo contribuyen a mejorar el desempeño ambiental de los proyectos, sino que también representan una herramienta para generar ventajas competitivas sostenibles y reducir riesgos asociados a futuras exigencias regulatorias y a los efectos del cambio climático.

Estos resultados resultan particularmente relevantes para los distintos actores vinculados al sector de la construcción. Para los organismos públicos, los criterios analizados pueden servir como referencia para el diseño de políticas, incentivos y normativas que impulsen edificaciones de mayor desempeño ambiental. Para empresas constructoras, desarrolladores y profesionales, constituyen una guía práctica para incorporar criterios de sostenibilidad desde las primeras etapas de planificación sin que ello implique necesariamente afrontar un proceso formal de certificación. Asimismo, para las instituciones académicas representan un marco conceptual útil para fortalecer la formación de profesionales capaces de integrar criterios ambientales, económicos y sociales en la gestión de proyectos constructivos.

No obstante, el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas. El análisis se centró en cinco de las certificaciones ambientales con mayor reconocimiento internacional, sin abordar otros sistemas específicos de alcance regional o sectorial. Asimismo, el trabajo tuvo un enfoque predominantemente conceptual y comparativo, basado en el análisis de la documentación técnica y de la literatura especializada, por lo que no se evaluó la implementación práctica de estos criterios en estudios de caso ni se cuantificaron los beneficios derivados de su aplicación en proyectos concretos. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como una propuesta de integración conceptual. A partir de estas limitaciones, se identifican diversas líneas de investigación futuras. Resultaría de interés analizar la aplicación de estos modelos de gestión en proyectos reales de diferentes escalas y tipologías constructivas, evaluar los beneficios económicos y ambientales obtenidos a partir de la adopción parcial o total de sus criterios, e investigar las principales barreras que enfrentan organizaciones públicas y privadas para incorporar estas prácticas en distintos contextos.

En síntesis, la evidencia analizada permite afirmar que las certificaciones ambientales representan mucho más que mecanismos destinados a reconocer el desempeño sostenible de una edificación. Analizadas en conjunto constituyen una síntesis de las mejores prácticas desarrolladas internacionalmente para el sector de la construcción y, por ello, pueden comprenderse como verdaderos modelos de gestión orientados a integrar criterios de sostenibilidad en todas las etapas del ciclo de vida de un edificio. Adoptar esta perspectiva implica ampliar el alcance tradicional de las certificaciones y reconocer su potencial como herramientas para impulsar una construcción más eficiente, competitiva y alineada con los desafíos ambientales, económicos y sociales

que plantea el desarrollo sostenible. En definitiva, el verdadero valor de las certificaciones ambientales no reside exclusivamente en el sello que otorgan, sino en el conocimiento técnico y las buenas prácticas que integran, las cuales pueden adoptarse como un modelo de gestión capaz de orientar la construcción de edificaciones más sostenibles, competitivas y resilientes, independientemente de la obtención de una certificación formal.

BIBLIOGRAFIA

Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology for new offices (s.f) https://breeam.com/

Consejo de Construcción Ecológica de EE. UU. (s.f) https://www.usgbc.org/leed

International Finance Corporation (IFC). (2019). *Green Buildings: A Finance and Policy Blueprint for Emerging Markets*. Washington, DC: World Bank Group. https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/mgrt/59988-ifc-greenbuildings-report-final-1-30-20.pdf

ISO 14025 Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales del tipo III. Principios y procedimientos (2006)

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución de la Asamblea General de la ONU. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Alianza Mundial para la Edificación y la Construcción (2024) *Global Status Report for Buildings and Construction 2024*. https://globalabc.org/sites/default/files/2025-03/Global-Status-Report-2024_2025.pdf

Wassouf, M. (2019). *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

WELL - Instituto Internacional de Construcción de Bienestar | IWBI (s.f) https://www.wellcertified.com/

LA PROBLEMÁTICA DE LOS CAMINOS RURALES DESDE UNA PERSPECTIVA SUSTENTABLE

Fanelli, S.; Macedo, G.U.
Laboratorio Vial del Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE) - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) - Universidad Nacional de Rosario (UNR)
Santa Fe
sfanelli@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

Los caminos rurales constituyen más del 80% de la red vial del país y han experimentado un proceso continuo de degradación a lo largo de las últimas décadas. Esto se debe a indicaciones provenientes de los organismos competentes que promueven remociones frecuentes y sistemáticas, dejando completamente el camino desnudo y expuesto a la erosión. Esto no sólo hace que se pierdan centímetros de suelo anualmente sino que los caminos son canales donde confluye toda el agua de las cuencas que atraviesan y se vuelven intransitables ante los eventos climáticos, dejando de cumplir la función de los mismos que es la circulación.

Se han propuesto algunos cambios en el modo de gestionar los caminos para mantener e incluso, mejorar la situación de los mismos, lo cual es llevado adelante con éxito por algunas localidades y se continúan sumando otras. Además se ha logrado incorporar la temática en carreras de grado de la Universidad Nacional de Rosario, así como capacitar profesionales para brindar asesoría a las localidades y organismos que lo requieran.

De este modo, consideramos que estamos en camino de lograr una mejora en la situación de los caminos rurales.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial en Argentina se puede clasificar de diferentes formas, a los fines de este trabajo interesa mencionar las problemáticas asociadas a los caminos no pavimentados, conocidos como caminos rurales. La problemática es muy amplia ya que estos caminos no se encuentran relevados, por lo que desconocemos la extensión, encontrando datos en diferentes bibliografías que abarcan desde 400.000 [1] hasta 700.000 [2] kilómetros. Cualquiera sea el número cierto, en cualquier caso, esta red representa al menos un 80% de la red vial que disponemos en el país.

Toda infraestructura vial se desarrolla dentro de una franja de terreno llamada zona de camino, la cual adopta diferentes anchos que, mayormente, guardan relación con el volumen de tránsito, según recomendaciones de Vialidad Nacional. En los caminos rurales este ancho, generalmente, son 20 metros (Figura 1).

En las rutas pavimentadas los anchos de zona de camino son mayores y, a excepción de un ancho destinado a la circulación vehicular pavimentado que tiene relación con el volumen de tránsito y la topografía, el resto es suelo, generalmente, empastado (banquinas, cunetas, veredas). En los caminos rurales no existen superficies pavimentadas pero también es usual encontrar la mayor parte de la zona de camino con el suelo expuesto (Figura N°1) sin empastar, debido al tratamiento que reciben.

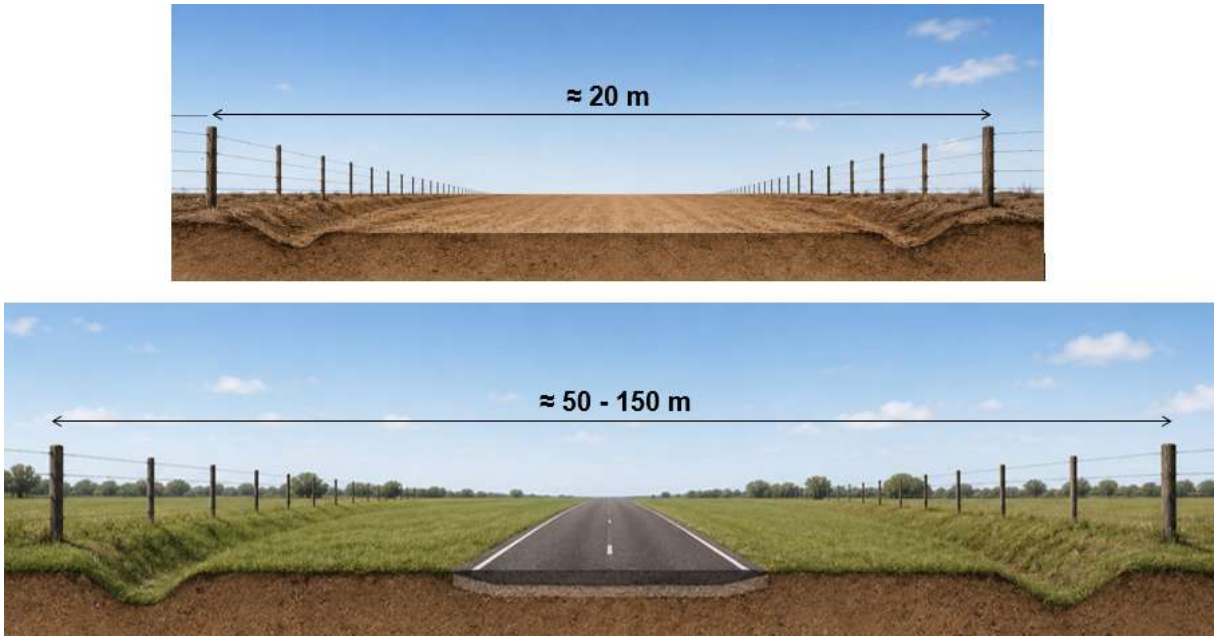


Figura 1: Comparativa entre anchos y situación de las superficies. Elaborado con IA

Cuando proyectamos caminos, se propone una cota para el mismo que puede estar en terraplén o desmonte, ya sea que el camino esté por encima o por debajo del terreno natural existente, respectivamente. En las rutas pavimentadas esta diferencia de cota entre el camino y los campos linderos (cota roja) se mantiene prácticamente constante a lo largo de los años. Además, independientemente del valor de la cota roja, el resto del proyecto de la sección transversal del camino acompaña de manera coherente esta cota, garantizando el drenaje.

Los caminos rurales, en sus orígenes, fueron sólo franjas de terreno de dominio público destinadas a la circulación donde no se proyectaba cunetas porque todo era suelo absorbente y el tipo y bajo tránsito garantizaba que el verde se mantuviera. Se han recabado numerosos testimonios de personas mayores que dan cuenta de esta situación y de que los caminos se encontraban al mismo nivel que los campos.

Por definición, el mantenimiento implica realizar acciones que preserven los caminos para conservar sus condiciones originales e incluso, mejorarlas [3]. No obstante, la evidencia demuestra que las intervenciones actuales en los caminos rurales distan de

cumplir dicha premisa. La transitabilidad no está asegurada, por ejemplo, en un informe del Banco Mundial [4] se menciona que en la Pampa Húmeda los caminos rurales están intransitables 100 días al año, además, los caminos están disminuyendo su cota debido a procesos erosivos. Es decir, los caminos están perdiendo suelo (Figura 2) frente al tránsito pero también, fundamentalmente, debido a la lluvia y el viento. Esta pérdida de suelo ha sido cuantificada entre 2 cm [5] y 10 cm [6] al año, pero el resto de la sección transversal no acompaña proporcionalmente este proceso y el proyecto integral del camino ve afectada no solo su transitabilidad sino también el escurrimiento del agua, convirtiéndose en canales. Sumado a que la pérdida de suelo de los caminos hacen que los mismos estén cada vez más cerca de las napas.



Figura 2: Cambio con cota roa negativa mayor a 1 m. Elaboración propia.

A esta degradación se suma la pérdida de vegetación en la zona de camino, no sólo por el mantenimiento sino también por las prácticas inadecuadas de frentistas, como quema o fumigación (Figura 3). Ello invalida los servicios ecosistémicos de la cobertura vegetal, tales como la retención de suelo, la evapotranspiración y la preservación de la biodiversidad. Por último, las acciones que se realizan dentro de los predios rurales promueven que el agua de las precipitaciones no se capture en origen, llegando mayores caudales al camino. Un estudio de campo determina que los caminos son afectados por los excedentes hídricos, cuyo principal origen es el área productiva circundante (relación camino/área productiva 1:55), es decir que un 1cm de agua que no se absorbe en el área productiva se transforman en 55 cm de agua en los caminos [7].



Figura 3: Veredas intervenidas por frentistas. Elaboración propia.

Los motivos mencionados dan cuenta de que el manejo que reciben los caminos rurales hace décadas no es un proceso sustentable.

OBJETIVOS

Aportar evidencia científica e interdisciplinaria objetiva que permita sustituir el modelo tradicional de mantenimiento de caminos rurales por un paradigma sustentable, así como generar conocimiento técnico, material académico y herramientas para su transferencia y difusión en el territorio.

DESARROLLO

Luego de realizar encuestas, investigar, relevar, hacer recorridas a campo, además del encuentro con profesionales de otras disciplinas pudimos concluir que la problemática no se circunscribe al mantenimiento de los caminos rurales. Hay un desconocimiento general y cada provincia presenta situaciones diferentes en cuanto a quienes son los responsables de la gestión de los caminos, por ejemplo, en Santa Fe, el mantenimiento de los caminos rurales se ha delegado a los municipios y comunas. La realidad es que, mayormente, no se dispone de un inventario de la red, la misma no tiene nomenclatura, no se lleva un control y registro de las tareas que se realizan, etc. Por esto es que se propone que cada localidad realice un inventario vial y cartografía del área a mantener, como insumo básico y necesario para tomar acciones posteriores, como la definición de nomenclatura para la red, priorización de tramos, etc.

Respecto al mantenimiento se propone:

- No remover calzadas y cunetas. Las remociones masivas, frecuentes, rutinarias, sin cobertura vegetal y con pendientes pronunciadas son las mayores causales de las erosiones hídrica y eólica que degradan los caminos rurales.

- Aprovechar las veredas como corredores. Dejar de utilizar las veredas como canteras y convertirlas en franjas de recursos naturales para promover la biodiversidad, además de consumir agua y fijar suelo.

- Empastar las cunetas. Promover el desarrollo de vegetación espontánea con un diseño que disminuya la velocidad del agua, es decir, evitar las cunetas en V. Así las

cunetas empastadas trabajan permitiendo la infiltración y conducción del agua en el perfil del suelo y la evacuación vertical a través de la transpiración vegetal.

- Dejar sólo la calzada con suelo expuesto. Algo inevitable debido al tránsito, pero el ancho debe ser mínimo y determinado por la intensidad del paso de vehículos, que en la mayoría de los casos no supera los 4 m (los sobrepasos necesarios se pueden realizar invadiendo parcialmente la banquina). El tránsito concentrado favorece la compactación del camino y disminuye la infiltración del agua.

Este cambio de paradigma en el mantenimiento, además, modifica los equipos necesarios. La motoniveladora deja de ser la protagonista dejando paso a las cortadoras de pasto y las compactadoras. El trabajo a realizar y la frecuencia surge de un análisis de cada tramo y dejando de ser una receta que se envía desde una oficina. De este modo también se logran ahorros considerables, fundamentalmente, en combustible que posibilita que los fondos puedan ser destinados a la incorporación de material de modo de lograr rellenar los bajos y, con el tiempo, lograr recuperar parte de la altura perdida.

En el plano académico y de transferencia, se destacan los siguientes logros tras 8 años de investigación:

- Creación e incorporación de materias electivas dentro de las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Agronómica, ambas de la UNR.
- Dictado de cursos de posgrado y creación de una materia dentro de la carrera de Magíster en Ingeniería Vial.
- Implementación de servicios técnicos de ensayo y consultoría brindados desde el Laboratorio Vial del IMAE.
- Constitución de la Asociación Argentina de Caminos Rurales Sustentables (AACRuS).
- Transferencia de resultados mediante publicaciones en congresos, jornadas y capacitaciones directas a municipios, comunas e instituciones educativas.

CONCLUSIONES

El modelo tradicional de mantenimiento de caminos rurales ha demostrado no ser sustentable, propiciando un proceso de degradación física, pérdida de suelo e intransitabilidad. Resulta imprescindible reemplazar las intervenciones sistemáticas por un enfoque técnico integral centrado en la conservación de la vegetación, la gestión del agua y la optimización de los recursos.

La experiencia desarrollada confirma que la formación de recursos humanos en el ámbito universitario, combinada con la transferencia directa hacia los gobiernos locales y la consolidación de redes interdisciplinarias, constituye la vía capaz de transformar la gestión de la red vial rural y garantizar su transitabilidad permanente de manera amigable con el ambiente.

REFERENCIAS

[1] Ministerio de Transporte, Presidencia de la Nación, 2019. *Guía de mantenimiento de caminos rurales*.
[2] INTA, 2023. https://www.argentina.gob.ar/noticias/inta-realizo-la-presentacion-del-proyecto-caminos-rurales
[3] PIARC, Asociación mundial de la carretera.
[4] Banco Mundial. *Infraestructuras Rurales en Argentina - Diagnóstico de Situación y Opciones para su Desarrollo.*
[5] https://www.aacrus.org.ar/libro/
[6] FADA, 2017. *Caminos rurales en las provincias argentinas.*
[7] Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 2022. *Sistema eficiente de caminos rurales sustentables.* Ings. Agr. Monti, Rosell, Pozzi, Lic. Crosetto, Ing. Perroni.

LA BIOCONSTRUCCION COMO EMERGENTE AMBIENTAL SUSTENTABLE

Moretti, A.; Bosani, A.; Soldatti, M. E.; Odobez, N.; Parente, J.
Facultad Regional Delta - Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires.
antonio.moretti@gmail.com

RESUMEN

Hablar de bioconstrucción no es simplemente hablar de barro, paja o piedra. Es, en esencia, replantearnos nuestro lugar en el mundo. Durante décadas, la industria de la construcción ha sido una de las más depredadoras del planeta: consume recursos a un ritmo insostenible, genera montañas de residuos y es responsable de una porción gigantesca de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Frente a este modelo obsoleto, la bioconstrucción surge no como una alternativa pintoresca o un capricho estético, sino como una urgencia civilizatoria. A lo largo de los años en que transitamos este camino, de meter las manos en la mezcla, de enseñar en las aulas y de levantar muros que respiran, hemos comprendido que construir con materiales naturales es un acto de profunda sanación. No estamos haciendo otra cosa que volver a las fuentes, entendiendo que el hábitat humano debe ser una prolongación armónica del paisaje, y no una imposición violenta sobre él.

Más Allá de la Técnica: Un Cambio de Paradigma.

El verdadero valor de la bioconstrucción como emergente ambiental radica en su capacidad de transformar nuestra relación con la materia. Cuando elegimos edificar con tierra cruda, fardos de paja, madera certificada o piedra local, estamos tomando una decisión política, ética y ecológica:

- Ciclos cerrados y huella mínima: A diferencia del cemento y el acero —cuya producción demanda enormes cantidades de energía fósil—, los materiales naturales son locales, renovables y, al final de su vida útil, pueden reintegrarse a la tierra sin dejar rastro tóxico. La arquitectura deja de ser un pasivo ambiental para convertirse en un ciclo regenerativo.
- Eficiencia bioclimática: Un muro de tierra no es un bloque estático; es un organismo vivo que regula la humedad y la temperatura de manera pasiva. La bioconstrucción nos devuelve el confort higrotérmico sin depender de la calefacción o el aire acondicionado artificial, demostrando que la verdadera tecnología es aquella que dialoga con la física del planeta.
- Salud y habitabilidad: Pasamos la mayor parte de nuestras vidas en espacios cerrados, muchas veces expuestos a compuestos orgánicos volátiles (VOCs) liberados por pinturas sintéticas, plásticos y aglomerados. Construir de manera natural es cuidar la salud de quienes habitan el espacio, creando hogares que literalmente cuidan de nosotros.

El Desafío del Presente: Hacia Comunidades Regenerativas.

El gran desafío que tenemos por delante los docentes, investigadores y hacedores de este tiempo no es solo técnico, sino cultural. No se trata de construir casas aisladas para unos pocos privilegiados, sino de escalar este conocimiento para que la bioconstrucción sea la norma y no la excepción. Las universidades, los centros de extensión y los espacios comunitarios deben convertirse en los nuevos hornos de barro donde se amase la transformación social. Cada taller dictado, cada currículo diseñado con perspectiva socio ambiental y cada comunidad que aprende a auto gestionar su propio refugio es una victoria contra la inercia del hormigón. Dejar huella en este mundo no significa grabar nuestro nombre en placas de bronce que el tiempo terminará corroyendo. Significa sembrar saberes para que las nuevas generaciones comprendan que habitar la Tierra implica una enorme responsabilidad. La bioconstrucción es la prueba tangible de que otro futuro ya está siendo construido, adobe con adobe, con las manos abiertas y los pies bien firmes sobre la tierra.

INTRODUCCIÓN

Hay momentos en la vida en los que uno se detiene a mirar alrededor y se pregunta en qué momento normalizamos vivir entre paredes de cemento frío, plásticos y pinturas que ahogan los espacios. Durante demasiado tiempo hemos construido de espaldas a la naturaleza, como si la Tierra fuera una cantera infinita y un vertedero sin fondo. Pero por suerte, las certezas absolutas del hormigón se están agrietando. La bioconstrucción no es una moda pasajera ni una vuelta romántica al pasado; es el grito y la respuesta más lúcida que tiene nuestro tiempo frente a la crisis climática. Es volver a entender que un hogar debe ser un organismo vivo, un refugio que respira, que nos cuida y que dialoga con el entorno en lugar de violentarlo. Meter las manos en la tierra, levantar muros con barro y paja, y enseñar que otra arquitectura es posible no es solo una cuestión técnica: es un acto de profunda coherencia humana, una forma urgente de volver a habitar el mundo con respeto y con alma.

OBJETIVOS

Cuando uno levanta la vista y mira el camino recorrido, se da cuenta de que los grandes proyectos no nacen de manuales rígidos, sino de propósitos sinceros. Si queremos que la bioconstrucción deje de ser una anécdota aislada y se convierta en el pulso de una nueva forma de habitar, necesitamos poner la brújula en objetivos claros, humanos y profundamente transformadores:

- Despertar la coherencia en el habitar: Lograr que cada espacio que construyamos sea un reflejo del respeto por la naturaleza, priorizando materiales locales, renovables y de ciclo cerrado que no hipotequen el futuro de nuestro entorno.
- Democratizar el saber ancestral y técnico: Sacar el conocimiento de los papeles y llevarlo a las manos. Necesitamos que las técnicas de bioconstrucción dejen de ser un privilegio y se conviertan en herramientas accesibles para cualquier comunidad que quiera auto gestionar su propio refugio.

- Transformar la educación y la academia: Sembrar esta mirada socio ambiental en las aulas universitarias y en los espacios de extensión, formando a las nuevas generaciones de profesionales no solo para que calculen estructuras, sino para que entiendan el impacto ético y ecológico de cada decisión de diseño.
- Tejer redes de comunidad y arraigo: Entender que ningún muro se levanta en soledad. Construir de manera natural es, ante todo, una excusa para encontrarnos, trabajar codo a codo y recuperar el tejido social que tanta falta le hace a nuestro tiempo.

DESARROLLO/RESULTADOS

El Camino Recorrido y lo que ya Estamos Cosechando.

Cuando uno empieza a transitar este camino, lo hace muchas veces desde la intuición y la resistencia, contracorriente de un sistema que premia la velocidad y el descartable. Pero mirar el desarrollo de este proceso y ver los resultados en el territorio nos confirma que la semilla cayó en tierra fértil. No estamos hablando de teorías abstractas en un PDF; hablamos de realidades palpables que ya están transformando vidas.

- De la teoría a la mezcla: El desarrollo de este trabajo se ha visto en las aulas universitarias, en los talleres a cielo abierto y en cada rincón donde nos animamos a romper con la hegemonía del cemento. Logramos introducir la perspectiva de la bioarquitectura en espacios académicos formales y de extensión, demostrando que la ciencia y la tierra cruda no son mundos separados, sino aliados naturales.
- Comunidades que se empoderan: Los resultados más hermosos no se miden en metros cuadrados construidos, sino en las caras de las personas cuando comprenden que pueden levantar sus propios techos con sus manos. Ver a vecinos, estudiantes y familias organizarse en mingas, compartir saberes y recuperar el sentido de lo comunitario es la prueba más clara de que el conocimiento, cuando se comparte, se convierte en libertad.
- Obras que respiran: Ya no son solo proyectos en papel. Hoy existen refugios, aulas y espacios comunitarios diseñados bajo criterios bioclimáticos que funcionan: casas que regulan su propia temperatura sin quemar energía fósil, paredes que no enferman a quienes las habitan y estructuras que, el día de mañana, podrán volver a la tierra sin dejar rastro tóxico.

El verdadero resultado de este andar es haber comprobado que el cambio de paradigma ya está en marcha. Cada muro levantado con barro y paja es una victoria cultural; cada estudiante que sale de nuestras clases mirando el paisaje con otros ojos es una garantía de que este legado apenas está comenzando a dar frutos.

Ejemplo binacional fue en 2021 en Querétaro México, en donde en 9 semanas se realizó la primera bioconstrucción híbrida.(1)

CONCLUSIONES

Llegar hasta aquí no es cerrar una etapa, sino tomar impulso. Después de transitar los caminos del barro, de cruzar saberes entre las aulas universitarias y el trabajo a cielo abierto con las comunidades, las certezas que quedan son tan firmes como un buen cimiento de piedra y cal.

- La bioconstrucción es una urgencia, no un capricho: Hemos comprobado que no se trata de una moda estética para pocos, sino de la respuesta más honesta y lúcida que tenemos frente a la crisis climática. Habitar de manera regenerativa es la única forma de garantizar que las próximas generaciones sigan teniendo un planeta donde hacer raíz.
- El verdadero material de construcción es el tejido social: Los muros de tierra, la paja y la madera son solo el medio. El verdadero resultado de este proceso es el encuentro humano: ver a vecinos, estudiantes y familias trabajando codo a codo, recuperando la autonomía, la confianza y el poder de decidir cómo queremos vivir.
- El futuro ya está brotando: Cada espacio que hoy respira por sí mismo, cada aula donde se siembra esta mirada crítica y cada persona que descubre que puede levantar su propio refugio con sus manos es la prueba de que el cambio de paradigma es imparable.

No venimos a inventar nada nuevo, sino a recordar lo que la tierra siempre supo enseñarnos. El camino está trazado, las manos están listas y la semilla ya germinó. Ahora nos toca seguir cuidando este fuego, ladrillo a ladrillo, con la profunda convicción de que otro modo de habitar el mundo no solo es necesario, sino que ya es una realidad en marcha.

CITAS

(1)https://www.laautenticadefensa.com.ar/189524

EJE EMPRESAS SUSTENTABLES

BIOCARBÓN DE CÁSCARA DE MANÍ EN COMPUESTOS CEMENTICIOS SOSTENIBLES PARA PUESTAS A TIERRA: ESTUDIO DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO

Acevedo, D.; Antonelli, S.; Bruno, M.; Cotella, N.; Gallo, D.; Soler, L.
Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba.
ncotella@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

Se presenta el desarrollo de un compuesto de cemento-biocarbón obtenido a partir de cáscara de maní, residuo agroindustrial predominante en la región de Río Cuarto, Córdoba, como material conductor para sistemas de puesta a tierra eléctrica (PAT). Este enfoque promueve la valorización de subproductos regionales, actúa de sumidero de CO_2 y reduce la dependencia de metales en infraestructuras eléctricas, alineándose con los principios de economía circular y los ODS 9, 11 y 12.

La cáscara de maní fue carbonizada a 1100 °C en atmósfera con déficit de oxígeno, obteniéndose un biocarbón con resistividad de 0,01 Ω·m. Con este material se formuló una pasta conductora con cemento portland y 40 % p/p de biocarbón, con la que se revistieron electrodos metálicos comerciales instalados experimentalmente en el campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Las mediciones realizadas durante dos años consecutivos mostraron una reducción del 66 % en la resistencia de puesta a tierra respecto al electrodo metálico desnudo de referencia, junto con una notable estabilidad frente a las variaciones estacionales de humedad.

INTRODUCCIÓN

La adición de biocarbón a pastas y morteros de cemento portland aporta ventajas tanto ecológicas como técnicas. Desde el punto de vista ambiental, permite el secuestro a largo plazo del CO_2 absorbido durante la fotosíntesis de la biomasa de origen, reduciendo la huella de carbono de la biomasa residual. Desde el punto de vista técnico, incorporado en proporciones adecuadas permite modificar su conductividad eléctrica, térmica y acústica; reducir su peso y favorecer el curado interno del cemento portland [1,2,3,4,5]

Los sistemas de puesta a tierra (PAT) convencionales, requeridos por el crecimiento sostenido de los sistemas de generación de energía eléctrica renovables, representan un costo significativo dentro de los proyectos y son vulnerables a actos de vandalismo, dado el elevado valor comercial de los metales empleados en su construcción [6].

Una alternativa para reducir la resistencia de PAT en suelos resistivos consiste en rodear los electrodos metálicos con materiales cementíceos conductores [7]. En el presente trabajo se evaluó el uso de biocarbones como adiciones conductoras en

pastas de cemento. Para ello, se formuló una pasta conductora con cemento portland y 40 % de carbón de cáscara de maní obtenido a 1100 °C. Se evaluaron distintos arreglos de electrodos hincados en el terreno del campus de la UNRC, analizando su comportamiento eléctrico en función del tiempo y de las condiciones atmosféricas.

El biocarbón utilizado se obtuvo a partir de la carbonización de la cáscara de maní, que representa el 95 % de la biomasa de la Provincia de Córdoba [8], concentrándose su producción en la región de la Universidad Nacional de Río Cuarto [9].

Este enfoque se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables), promoviendo el uso de materiales de origen renovable y la sustitución parcial de metales en infraestructuras eléctricas [10].

OBJETIVOS

- Evaluar el biocarbón obtenido de cascara de maní como adición conductora en pastas de cemento portland, con miras a la sustitución parcial de metales en sistemas de puesta a tierra eléctrica.
- Analizar el comportamiento eléctrico de electrodos de puesta a tierra revestidos con pastas cemento-biocarbón conductoras, en condiciones reales de terreno.
- Contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas sostenibles, reduciendo la huella de carbono, promoviendo el uso de materiales de origen renovable en las PAT.

DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Obtención y caracterización del biocarbón: La carbonización de la cáscara de maní se realizó en atmósfera con déficit de oxígeno, con una temperatura de carbonización de 1100 °C. El biocarbón presentó una resistividad eléctrica de 0,01 Ω·m. Su incorporación en un 40 % en masa (p/p) a la pasta de cemento portland, resultó en una pasta de cemento conductora con una resistividad de 4 Ω·m.

Ensayos de campo: Las mediciones se realizaron en el predio de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Se emplearon electrodos comerciales de núcleo de acero revestido en cobre, de 9,5 mm (3/8") de diámetro y 500 mm de longitud [11]. Se ensayaron cuatro configuraciones de electrodos: a. Electrodo desnudo de 9,5 mm; electrodo metálico de referencia, hincado directamente en el suelo. b. Electrodo metálico de 60 mm; electrodo de acero cincado de mayor diámetro, tomado como referencia de sección equivalente. c. Electrodo de 9,5 mm revestido con pasta de cemento convencional de 60 mm de diámetro exterior. d. Electrodo de 9,5 mm revestido con pasta C+40C1100; de 60 mm de diámetro exterior, formulada con cemento portland y 40 % p/p de biocarbón de cáscara de maní (C+40C1100).

Las mediciones de resistencia de puesta a tierra (R_{pat}) se reportan al inicio de cada estación del año, promediando dos años consecutivos de mediciones.

Resultados: Resistencia de puesta a tierra. En la Figura 1 se presenta la evolución estacional de la R_{pat} para las cuatro configuraciones evaluadas.

De los resultados presentados en la figura 1 se concluye que la menor R_{pat} del electrodo revestido con C+40C1100 puede atribuirse a dos factores concurrentes. En primer lugar, la ejecución por vertido de la pasta conductora asegura un contacto íntimo y continuo con el suelo circundante, eliminando las discontinuidades de interfaz propias de los electrodos metálicos hincados. En segundo lugar, la porosidad característica de la pasta de cemento-biocarbón favorece la absorción de agua de lluvia y su retención en la interfaz electrodo-suelo, reduciendo la resistividad del entorno próximo incluso en períodos de baja precipitación.

El uso de C+40C1100 en sistemas de PAT reduce la resistencia inicial del electrodo y contribuye a estabilizar su comportamiento eléctrico a lo largo del tiempo, lo que representa una ventaja significativa respecto a los sistemas convencionales.

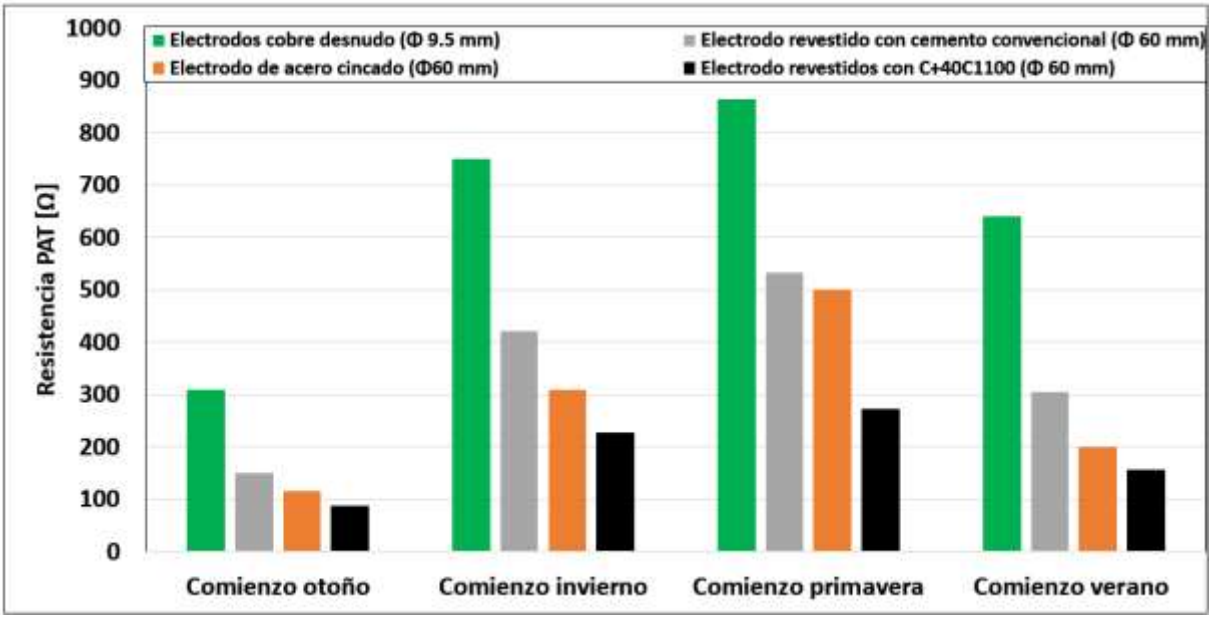


Figura 1. Variación de la RPAT de los distintos electrodos de PAT.

CONCLUSIONES

La incorporación de biocarbón de cáscara de maní como adición conductora en pastas de cemento portland demostró ser eficaz para reducir y estabilizar la resistencia de puesta a tierra (R_{pat}) de electrodos metálicos en condiciones reales de terreno.

Los electrodos desnudos de 9,5 mm de diámetro presentaron una R_{pat} promedio de 680 Ω, mientras que los electrodos equivalentes revestidos con pasta de cemento con 40 % p/p de biocarbón obtenido a 1100 °C) alcanzaron una R_{pat} media de 230 Ω, lo que representa una reducción del 66 % respecto al electrodo de referencia.

Desde el punto de vista ambiental, el uso de biocarbón derivado de la cáscara de maní como sustituto parcial de metales y cemento en sistemas de PAT actúa de sumidero de CO_2, reduce la dependencia de recursos no renovables y promueve la valorización de subproductos de la cadena productiva regional. Este enfoque se enmarca en los principios de economía circular y se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular con los ODS 9, 11 y 12.

REFERENCIAS

[1] Gupta, S. Kua, H. W. (2022). A systematic experimental study on biochar-cementitious composites: Towards carbon sequestration. Industrial Crops and Products, 184, 115016.
[2] Barbhuiya, S. Bhusan Das, B, Kanavaris, F. (2024) Biochar-concrete: A comprehensive review of properties, production and sustainability, Case Studies in Construction Materials, Volume 20, 2024, e02859, ISSN 2214-5095,
[3] Schmidt, H. (2014). The use of biochar as building material, the Biochar Journal 2014, Arbaz, Switzerland. www.biochar-journal.org/en/ct/3. Version of 12 th. (Accedido el: 07/2026)
[4] Chum, H. Overend, R. (2001). Biomass and renewable fuels. Fuel Processing Technology 71(1). 187-195.
[5] https://www.argentina.gob.ar/noticias/argentina-promueve-la-tecnologia-de-carbono-negativo. (accedido el 7/2026).
[6] Zhang, Y. Chen, H. Du, Y. (2019) Lightning protection design of solar photovoltaic systems: Methodology and guidelines. Electric Power Systems Research, 174, 105877.
[7] Ufer, H. (1964) IEEE Trans. on Power App. and Systems. vol. 83, no. 10, pp. 1042-1048.
[8] http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/Balance-_de_Energia.pdf (2009). (accedido el 07/2026).
[9] https://www.infocampo.com.ar/cordoba-la-produccion-de-mani-cayo-8-pero-aseguran-que-los-datos-son-positivos/. (2020) (accedido el 07/2026).
[10] Objetivos y metas de desarrollo sostenible - https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/ (Accedido 7/2026).
[11] Márquez, R. (1990). La puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el RAT. Marcombo.

CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN Y GESTIÓN DEL BAGAZO CERVECERO ARTESANAL: OPORTUNIDADES DE VALORIZACIÓN EN EMPRESAS CHAQUEÑAS

Alvarez, A.; Osuna, M.; Polischuk, T.; Romero, C.; Stefanoff, S.
Universidad Nacional del Chaco Austral
Chaco
tpolischuk@uncaus.edu.ar

RESUMEN

La producción cervecera artesanal genera importantes volúmenes de bagazo cervecero, principal subproducto sólido del proceso de elaboración, cuya elevada humedad y rápida degradación dificultan su almacenamiento y aprovechamiento. En este contexto, su valorización representa una oportunidad para promover estrategias de economía circular en el sector cervecero artesanal. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la generación y gestión actual del bagazo cervecero producido por cervecerías artesanales chaqueñas, con el fin de identificar oportunidades de valorización bajo un enfoque de economía circular. Para ello, se realizó un relevamiento descriptivo de corte transversal sobre una muestra no probabilística de 17 cervecerías artesanales activas de la provincia del Chaco, considerando características productivas, volúmenes de generación de bagazo, destino actual del subproducto, dificultades asociadas y predisposición hacia alternativas innovadoras. Los resultados evidenciaron un predominio de micro y pequeñas cervecerías, que representaron el 82,3 % de los establecimientos relevados. La generación de bagazo presentó una marcada variabilidad según la escala productiva: en las 16 cervecerías con datos cuantificables se registraron valores entre 6 y 300 kg por lote, y entre 6 y 2.160 kg mensuales. En conjunto, estos establecimientos generan aproximadamente 10,1 toneladas de bagazo por mes, lo que evidencia la magnitud del subproducto disponible y su potencial aprovechamiento. El principal destino actual fue la alimentación animal, mencionada por el 82,4 % de las cervecerías, seguida por el compostaje (41,2 %) y la venta o donación (23,5 %). Si bien estas prácticas constituyen formas iniciales de reutilización, presentan bajo valor agregado y dependencia de terceros para el retiro del residuo. Entre las principales limitaciones identificadas se destacaron la rápida degradación del bagazo fresco, la generación de olores, la falta de tecnologías de secado y procesamiento, y las restricciones operativas propias de las micro y pequeñas empresas. No obstante, el 100 % de los productores manifestó interés en el aprovechamiento del bagazo y en alternativas vinculadas con la producción de harina, el desarrollo de alimentos con valor agregado y la articulación con instituciones científico-tecnológicas. Se concluye que el bagazo cervecero artesanal chaqueño constituye un recurso subutilizado cuya magnitud y disponibilidad justifican la evaluación de alternativas de valorización. Los principales obstáculos para su aprovechamiento no responden a la falta de interés por parte de las cervecerías, sino a limitaciones tecnológicas, operativas y de acceso a

conocimiento especializado. En este contexto, proyectos de innovación, asistencia técnica y transferencia tecnológica podrían favorecer su transformación en ingredientes alimentarios, contribuyendo a la reducción de residuos, la diversificación productiva y la consolidación de modelos de economía circular en el sector cervecero regional.

Palabras clave: bagazo cervecero; economía circular; valorización; cerveza artesanal; sustentabilidad.

INTRODUCCIÓN

La producción de cerveza artesanal ha experimentado un importante crecimiento en Argentina durante los últimos años, impulsando el desarrollo de pequeñas cervecerías independientes que se caracterizan por la elaboración de productos diferenciados, la innovación y el uso de materias primas de calidad. Este crecimiento ha fortalecido la actividad cervecera en distintas regiones del país, incluyendo la provincia del Chaco, donde diversas empresas han alcanzado reconocimiento nacional e internacional por la calidad de sus productos. Como consecuencia de esta expansión productiva, también se ha incrementado la generación de subproductos, entre los cuales el bagazo cervecero (Brewer's spent grain, BSG) constituye aproximadamente el 85 % de los residuos sólidos generados durante el proceso de elaboración (Lynch et al., 2016). Este subproducto se obtiene luego de la etapa de maceración y filtración del mosto y presenta un elevado contenido de humedad (75–80 %), lo que favorece su rápida degradación microbiológica, limita su almacenamiento y dificulta su aprovechamiento posterior (Lynch et al., 2016). Cuando no es gestionado adecuadamente, puede generar problemas asociados a la acumulación de materia orgánica y a la emisión de gases de efecto invernadero. En este contexto, la valorización del bagazo cervecero representa una alternativa alineada con los principios de la economía circular, al permitir transformar un residuo agroindustrial en una materia prima susceptible de reincorporarse a nuevas cadenas de valor (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, s. f.). Desde el punto de vista nutricional, el bagazo constituye un ingrediente de interés por su elevado contenido de fibra dietaria, proteínas y compuestos fenólicos, lo que ha motivado numerosas investigaciones orientadas a su incorporación en alimentos con mayor valor agregado (Mussatto, 2014). En Argentina, este potencial fue reforzado mediante la incorporación del Bagazo Cervecero Seco al Código Alimentario Argentino (CAA) a través de la Resolución Conjunta 29/2023, que incorporó el artículo 1083 bis, donde se establecen la definición, las condiciones de elaboración y los requisitos de composición y calidad para su utilización como ingrediente destinado a la elaboración de alimentos (CAA, art. 1083 bis). A pesar de estos avances científicos, tecnológicos y regulatorios, la información disponible sobre la gestión del bagazo en las cervecerías artesanales continúa siendo limitada, particularmente en las pequeñas y medianas empresas del norte argentino. Si bien diversos estudios han demostrado el potencial del BSG para aplicaciones alimentarias e industriales, su aprovechamiento continúa restringido por factores como la elevada humedad del material, la necesidad de tecnologías de estabilización, las limitaciones logísticas y la escasa transferencia

tecnológica adaptada a emprendimientos de pequeña escala (Mussatto, 2014; Lynch et al., 2016). En consecuencia, resulta necesario generar diagnósticos territoriales que permitan caracterizar la generación del bagazo, conocer las prácticas actuales de gestión e identificar oportunidades de valorización acordes con las características productivas del sector. Esta información constituye una herramienta fundamental para orientar estrategias de economía circular y fortalecer la articulación entre empresas, universidades, organismos científico-tecnológicos y el Estado. Particularmente en la provincia del Chaco, organismos como el Instituto Chaqueño de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICCTI) pueden desempeñar un papel estratégico mediante el impulso de proyectos de investigación aplicada, innovación, transferencia tecnológica y asistencia técnica dirigidos a las PyMEs cerveceras. Estas acciones permitirían favorecer la incorporación de tecnologías de procesamiento y secado del bagazo, promover el desarrollo de nuevos productos con valor agregado y contribuir a la consolidación de modelos productivos más sostenibles (ICCTI, s. f.).

OBJETIVOS

Evaluar la generación y gestión actuales del bagazo cervecero producido por cervecerías artesanales chaqueñas con el fin de identificar oportunidades de valorización bajo un modelo de economía circular.

DESARROLLO/RESULTADOS

El estudio consistió en un relevamiento descriptivo, de corte transversal, realizado sobre una muestra no probabilística de 17 cervecerías artesanales activas de la provincia del Chaco. Los establecimientos fueron identificados mediante una búsqueda en redes sociales y contactados a través de Instagram y WhatsApp. Se incluyeron aquellos que se encontraban en actividad al momento del estudio, estaban localizados en la provincia y aceptaron participar voluntariamente del relevamiento. El relevamiento se llevó a cabo durante los meses de mayo y junio de 2026 mediante una encuesta estructurada implementada en Google Forms, que incluyó preguntas abiertas y cerradas. El cuestionario contempló cuatro dimensiones de análisis: características productivas de los establecimientos; generación de residuos y subproductos; gestión y destino actual del bagazo de malta; e interés y dificultades asociadas a su aprovechamiento. Entre las variables relevadas se incluyeron la escala y antigüedad de las cervecerías, volumen y frecuencia de producción, tipos de residuos generados y etapas del proceso en las que se originan, cantidad de bagazo generado, formas de cuantificación, condiciones y tiempo de almacenamiento, destinos actuales y costos asociados a su gestión. Asimismo, se relevaron la percepción de los productores sobre el valor del bagazo, experiencias previas de reutilización, dificultades para su aprovechamiento e interés en alternativas de valorización. Los datos fueron sistematizados y procesados mediante Microsoft Excel, utilizando frecuencias absolutas y relativas para su análisis y presentación.

Los resultados permiten identificar las características generales del sector, conformado principalmente por micro y pequeñas cervecerías, así como las

oportunidades de aprovechamiento del bagazo cervecero para el desarrollo de alternativas sustentables.

- Caracterización Productiva.

Para caracterizar el perfil productivo de las cervecerías artesanales relevadas, los establecimientos fueron clasificados según el volumen mensual de cerveza elaborado, considerando este parámetro como indicador de la escala operativa. Dado que las categorías oficiales de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPyME) en Argentina se establecen principalmente a partir de variables económicas y laborales (facturación anual, actividad económica y cantidad de empleados), y no exclusivamente por el volumen de producción, en este estudio se adoptó una clasificación basada en la escala productiva utilizada para describir el sector cervecero artesanal (Brewers Association, 2024), adaptada al contexto regional. De esta manera, se consideraron microcervecerías aquellas con producciones inferiores a 1.000 L/mes, pequeñas cervecerías aquellas con volúmenes comprendidos entre 1.000 y 5.000 L/mes, y cervecerías medianas aquellas con producciones superiores a 5.000 L/mes. La distribución de los establecimientos según esta clasificación se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las cervecerías artesanales relevadas según volumen mensual de producción (n=17).

Escala productiva	Criterio utilizado	Cantidad de establecimientos	Porcentaje
Microcervecerías	<1.000 L/mes	5	29,4 %
Pequeñas cervecerías	1.000–5.000 L/mes	9	52,9 %
Medianas cervecerías	>5.000 L/mes	2	11,8 %
Producción variable según temporada/demanda	Sin volumen mensual informado.	1	5,9 %
Total		17	100%

Los resultados evidenciaron un predominio de pequeñas cervecerías (52,9 %), seguidas por las microcervecerías (29,4 %), mientras que las cervecerías medianas representaron el 11,8 % de la muestra. Este predominio de establecimientos de pequeña escala refleja la estructura característica del sector cervecero artesanal chaqueño, conformado mayoritariamente por emprendimientos con capacidades productivas limitadas y procesos de elaboración flexibles. Estas características pueden representar una ventaja para la incorporación de estrategias de innovación orientadas al aprovechamiento de subproductos y a la implementación de modelos de economía circular. Uno de los establecimientos informó una producción variable en función de la demanda y la estacionalidad, sin especificar un volumen mensual promedio. Por este motivo, fue considerado como una categoría independiente y no se incorporó a las clasificaciones basadas en el volumen mensual de producción.

En relación con la trayectoria productiva, las cervecerías presentaron distintos niveles de consolidación en el mercado. Los años de funcionamiento variaron desde emprendimientos recientes de pocos meses hasta establecimientos con aproximadamente 10 años de actividad. La mayor proporción correspondió a cervecerías con entre 4 y 10 años de funcionamiento (82 %), indicando un sector relativamente establecido y con experiencia productiva acumulada.

El volumen mensual de producción presentó una marcada variabilidad entre los establecimientos relevados. A partir de los litros elaborados por lote y de la frecuencia mensual declarada por cada cervecería, se estimaron producciones comprendidas entre 18 y 12.000 L/mes. Estas diferencias responden principalmente a la capacidad instalada, la infraestructura disponible, la frecuencia de elaboración y la demanda comercial.

Cabe destacar que una de las cervecerías encuestadas indicó que su frecuencia de elaboración depende de la temporada y la demanda comercial, sin especificar una cantidad fija de lotes mensuales, motivo por el cual no fue considerada en el cálculo de producción mensual estimada.

La frecuencia de elaboración también presentó una amplia variabilidad. La mayoría de las cervecerías produjo entre uno y nueve lotes mensuales, mientras que los establecimientos de mayor capacidad alcanzaron frecuencias de hasta 16 y 26 lotes por mes. En conjunto, estos resultados reflejan la heterogeneidad propia del sector cervecero artesanal, donde la escala de producción se encuentra condicionada por la capacidad instalada, la disponibilidad de recursos, la demanda comercial y la estacionalidad del consumo.

En conjunto, la caracterización realizada evidencia que el sector cervecero artesanal chaqueño se encuentra conformado mayoritariamente por emprendimientos de pequeña escala, con una trayectoria productiva consolidada y una elevada diversidad en sus niveles de producción. Estas características resultan determinantes para el diseño de estrategias de valorización del bagazo, ya que las tecnologías y modelos de gestión propuestos deberán adaptarse a las capacidades operativas y económicas propias de este tipo de empresas.

- Generación y gestión del bagazo cervecero.

El bagazo cervecero constituye el principal subproducto sólido generado durante la elaboración de cerveza artesanal, originándose inmediatamente después de las etapas de maceración y filtración. Debido al elevado volumen producido y a su alto contenido de humedad, representa el principal desafío para la gestión de residuos dentro de las cervecerías artesanales relevadas.

La generación de bagazo presentó una marcada variabilidad entre los establecimientos, en función de la escala productiva y la frecuencia de elaboración.

La cuantificación realizada en las 16 cervecerías con datos completos permitió estimar los indicadores descriptivos que se presentan en la Figura 1.

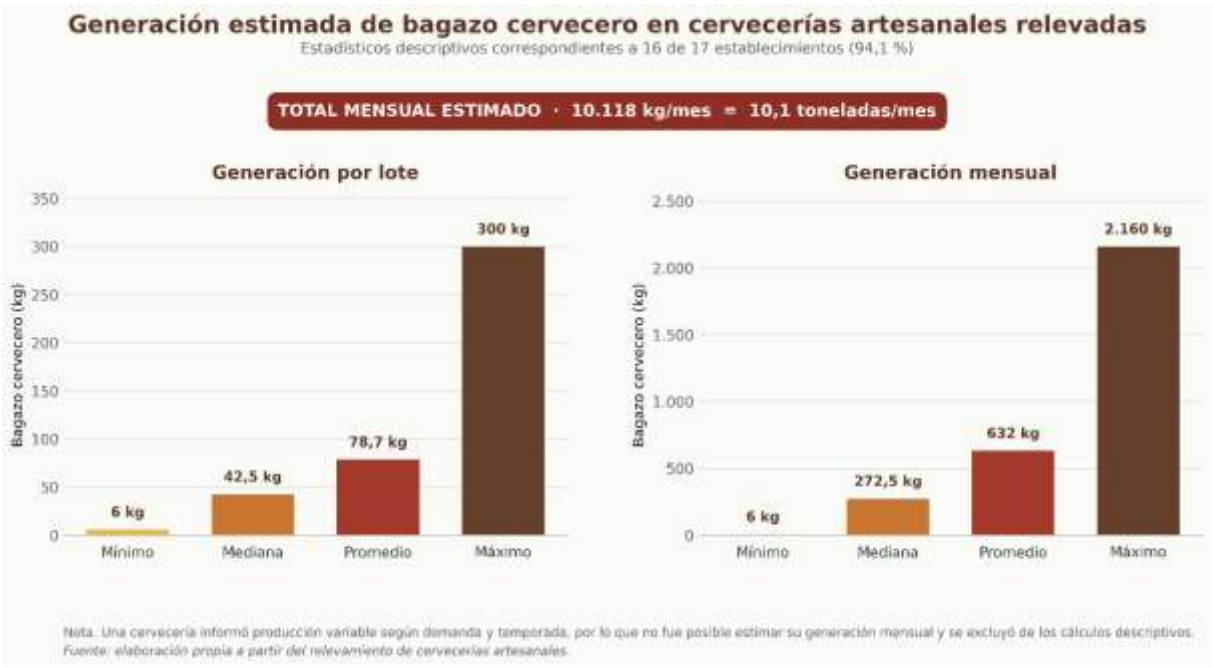


Figura 1: Generación estimada de bagazo cervecero por lote y por mes en las cervecerías artesanales relevadas.

Las 16 cervecerías con datos cuantificables generaron entre 6 y 300 kg de bagazo por lote y entre 6 y 2.160 kg mensuales, con un promedio de 632 kg/mes. En conjunto, producen aproximadamente 10,1 toneladas de bagazo por mes, volumen que pone de manifiesto la magnitud del recurso actualmente disponible y la necesidad de evaluar alternativas para su aprovechamiento y valorización mediante estrategias de economía circular.

En relación con las prácticas de manejo del bagazo, el método predominante de acopio correspondió al uso de bolsas plásticas (58,8 %), seguido por contenedores plásticos rígidos o tachos (23,5 %), mientras que el resto de las cervecerías empleó sistemas mixtos. En la mayoría de los establecimientos, el bagazo permanece almacenado entre 24 y 48 horas antes de su retiro, período durante el cual se intensifican los procesos de fermentación espontánea y descomposición debido a su elevado contenido de humedad. Como consecuencia, la generación de olores y el deterioro microbiológico fueron identificados como las principales problemáticas asociadas a su gestión.

Con el fin de caracterizar las prácticas de gestión implementadas por las cervecerías artesanales, se analizó el destino actual del bagazo generado en los establecimientos relevados. Dado que los encuestados podían seleccionar más de una alternativa de

gestión, la información se analizó como una variable de respuesta múltiple. Los resultados se presentan en la Figura 2.

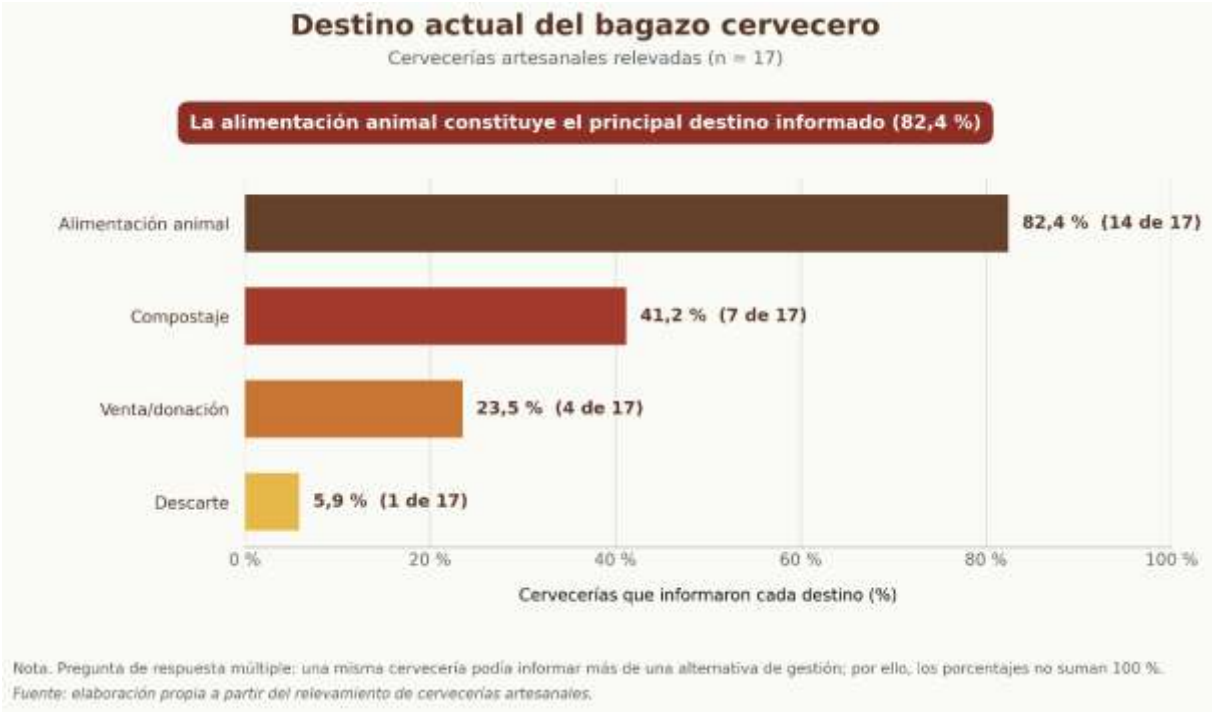


Figura 2. Destino actual del bagazo cervecero generado por las cervecerías artesanales relevadas.

Los resultados evidencian que la alimentación animal constituye el principal destino del bagazo generado por las cervecerías artesanales relevadas. En menor medida se identificaron prácticas de compostaje y de venta o donación, mientras que el descarte directo fue poco frecuente. Si bien estas alternativas representan formas de aprovechamiento del subproducto, corresponden mayoritariamente a usos de bajo valor agregado y dependen, en gran medida, de la disponibilidad de terceros para su retiro.

Desde el punto de vista operativo, se observó que el 82,4 % de las cervecerías no afronta costos directos asociados a la disposición del bagazo, ya que el retiro es realizado gratuitamente por terceros. No obstante, el 58,8 % de los establecimientos manifestó que esta modalidad depende de la demanda estacional de los productores ganaderos, generando una elevada vulnerabilidad operativa. En ausencia de un retiro oportuno, el bagazo permanece almacenado en planta, favoreciendo su descomposición y la generación de olores.
Si bien el destino del bagazo hacia alimentación animal evita costos directos de disposición para la mayoría de las cervecerías, esta alternativa no constituye un sistema de gestión estable. La dependencia de la demanda externa y la ausencia de esquemas logísticos o acuerdos formales convierten a esta modalidad en un factor de vulnerabilidad para las PyMEs cerveceras, especialmente frente a variaciones estacionales o cambios en la actividad ganadera regional.

- Oportunidades de valorización y barreras para la economía circular.

Estos resultados evidencian un interés por avanzar desde prácticas tradicionales de reutilización hacia estrategias de valorización con mayor agregado de valor dentro de la cadena alimentaria. La totalidad de los establecimientos encuestados (100 %) consideró que el bagazo podría ser aprovechado mediante alternativas diferentes de las prácticas actuales, mientras que el 64,3 % manifestó interés simultáneo en participar en iniciativas vinculadas con la producción de harina de bagazo, el desarrollo de alimentos con valor agregado y proyectos de investigación y transferencia tecnológica con universidades. A pesar de la elevada predisposición observada, se identificaron diversas barreras que actualmente limitan la implementación de estrategias de valorización del bagazo cervecero:

- Limitaciones de tiempo y capacidad operativa: la estructura organizacional de las PyMEs obliga al personal a concentrarse prioritariamente en las actividades de producción y comercialización, relegando la gestión de subproductos.
- Disponibilidad limitada de tecnologías de secado y procesamiento: el elevado contenido de humedad del bagazo reduce significativamente su vida útil, y la ausencia de tecnologías accesibles para pequeñas empresas dificulta su estabilización y posterior utilización.
- Insuficiente conocimiento técnico y regulatorio: persisten incertidumbres respecto de los requisitos establecidos por el Código Alimentario Argentino para la utilización del bagazo cervecero seco como ingrediente alimentario.

En este contexto, la articulación entre las cervecerías artesanales, las universidades y los organismos públicos de ciencia, tecnología e innovación, como el Instituto Chaqueño de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICCTI), adquiere un papel estratégico. El desarrollo de proyectos de investigación aplicada, asistencia técnica y transferencia tecnológica podría generar soluciones adaptadas a las necesidades de las PyMEs, facilitar la incorporación de tecnologías para el procesamiento del bagazo, promover el desarrollo de productos con mayor valor agregado y favorecer la implementación de modelos de economía circular en la provincia.

En conjunto, estos resultados ponen de manifiesto que las principales limitaciones para la valorización del bagazo no responden a la falta de interés del sector productivo, sino principalmente a restricciones técnicas, operativas y de acceso a conocimiento especializado.

DISCUSIÓN

El predominio de la alimentación animal como destino del bagazo, mencionado por el 82,4 % de las cervecerías chaqueñas, coincide con otros relevamientos de cervecerías artesanales. Kerby y Vriesekoop (2017) identificaron esta práctica como el principal destino en establecimientos británicos urbanos y rurales, mientras que Sananikone (2022) registró porcentajes de entre el 75 % y el 100 % en cervecerías de

Carolina del Norte, según su escala y localización. Estas coincidencias muestran que la entrega a productores ganaderos constituye una alternativa extendida, posiblemente porque requiere poco procesamiento y permite retirar rápidamente el material húmedo.

En cambio, el porcentaje destinado al compostaje en las cervecerías chaqueñas (41,2 %) fue superior al registrado por Sananikone (2022), donde representó entre el 0 % y el 10 %. Esta diferencia debe interpretarse con cautela, ya que en el presente estudio los participantes podían seleccionar más de un destino. Por ello, el compostaje puede funcionar como una práctica complementaria cuando no se concreta el retiro para alimentación animal, más que como una alternativa que lo sustituya.

La ausencia de costos directos de disposición en el 82,4 % de los establecimientos también coincide con Sananikone (2022), quien encontró que entre el 80 % y el 100 % de las cervecerías no afrontaban costos por el retiro. Sin embargo, el 58,8 % de las cervecerías chaqueñas señaló que esta modalidad depende de la demanda estacional de los productores ganaderos. Por lo tanto, aunque no genere costos directos, la dependencia de terceros puede provocar interrupciones en el retiro y la acumulación del bagazo. En concordancia, Kerby y Vriesekoop (2017) observaron que la localización y la proximidad con productores agropecuarios condicionan las posibilidades de gestión.

Las principales barreras identificadas: rápida degradación, generación de olores y ausencia de tecnologías accesibles de secado, se relacionan con el elevado contenido de humedad del bagazo, que limita su almacenamiento y transporte (Chetrariu y Dabija, 2020). En el ámbito nacional, Martínez (2020) analizó la obtención de harina de bagazo en una cervecería artesanal de Córdoba mediante prensado, secado, molienda y tamizado. Los requerimientos técnicos observados en ese estudio coinciden con las dificultades manifestadas por las cervecerías chaqueñas. Sin embargo, mientras Martínez (2020) evaluó la alternativa en un establecimiento específico, el presente relevamiento solo identificó el interés del sector y no determinó su factibilidad experimental o económica.

La bibliografía describe otras posibilidades, como el uso del bagazo en alimentos, procesos biotecnológicos y sistemas de biorrefinería (Chetrariu y Dabija, 2020; Agrawal et al., 2023). No obstante, los resultados obtenidos no permiten determinar directamente la factibilidad composicional, tecnológica, económica o ambiental de estas alternativas. La magnitud del recurso disponible y el interés de los productores justifican avanzar en su evaluación, considerando los costos de estabilización, la logística, las exigencias regulatorias y las capacidades operativas de las cervecerías chaqueñas.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió caracterizar la generación y las prácticas actuales de gestión del bagazo cervecero en cervecerías artesanales de la provincia del Chaco. Los resultados evidenciaron que, si bien la alimentación animal constituye el principal destino del subproducto, esta alternativa depende de factores externos y representa, en términos generales, una estrategia de aprovechamiento con limitado valor agregado.

La estimación de aproximadamente 10,1 toneladas mensuales de bagazo generadas por las cervecerías relevadas pone de manifiesto la magnitud del recurso disponible y sustenta la necesidad de evaluar alternativas de valorización en el marco de estrategias de economía circular. Asimismo, la elevada predisposición de los productores a participar en iniciativas de innovación contrasta con las principales barreras identificadas, vinculadas fundamentalmente con limitaciones tecnológicas y operativas y con el acceso a conocimiento especializado, más que con una falta de interés por parte del sector.

En este contexto, la transformación del bagazo cervecero seco en ingredientes alimentarios podría constituir una alternativa para incrementar el valor agregado del subproducto. No obstante, su implementación requiere evaluaciones composicionales, tecnológicas, económicas y ambientales específicas. Finalmente, los resultados ponen de manifiesto la importancia de fortalecer la articulación entre las PyMEs cerveceras, las universidades y los organismos públicos de ciencia, tecnología e innovación, como el ICCTI, mediante el desarrollo de proyectos de investigación aplicada, asistencia técnica y transferencia tecnológica. Estas acciones podrían contribuir a superar las barreras identificadas y favorecer la implementación de estrategias de economía circular adaptadas a las características y necesidades del sector cervecero artesanal de la provincia del Chaco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argentina. Secretaría de Calidad en Salud & Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2023). Resolución Conjunta 29/2023. Incorporación del artículo 1083 bis al Código Alimentario Argentino (Bagazo Cervecero Seco). Boletín Oficial de la República Argentina.

Agrawal, D., Gopaliya, D., Willoughby, N., Khare, S. K., y Kumar, V. (2023). Recycling potential of brewer's spent grains for circular biorefineries. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 40, 100748. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100748

Brewers Association. (2024). Craft brewer definition. Brewers Association. https://www.brewersassociation.org/statistics-and-data/craft-brewer-definition/

Chetrariu, A., y Dabija, A. (2020). Brewer's spent grains: Possibilities of valorization, a review. Applied Sciences, 10(16), 5619. https://doi.org/10.3390/app10165619

Instituto Chaqueño de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICCTI). (s. f.). Programas de promoción de la ciencia, la tecnología y la innovación en la provincia del Chaco. Gobierno del Chaco. https://iccti.chaco.gob.ar/

Kerby, C., y Vriesekoop, F. (2017). An overview of the utilisation of brewery by-products as generated by British craft breweries. Beverages, 3(2), 24. https://doi.org/10.3390/beverages3020024

Lynch, K. M., Steffen, E. J., And Arendt, E. K. (2016) Brewers' Spent Grain: A review with an emphasis on food and health. J. Inst. Brew., 122: 553–568. DOI: 10.1002/JIB.363.

Martínez, J. (2020). Producción de harina de bagazo a partir de un residuo de la industria cervecera [Trabajo final integrador, Universidad Nacional de Córdoba]. Repositorio Digital Universitario. https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/17114

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (s. f.). Bagazo de cerveza: un subproducto con múltiples aplicaciones. Presidencia de la Nación.

Mussatto, S. I. (2014). Brewer's spent grain: A valuable feedstock for industrial applications. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94(7), 1264–1275. https://doi.org/10.1002/jsfa.6486
Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2021). Economía circular y desarrollo industrial sostenible: oportunidades para América Latina y el Caribe.
Sananikone, J. (2022). The utilization of brewery by-products generated by North Carolina craft breweries. Master's project, North Carolina State University.
Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo. (2024). Categorías MiPyME. Ministerio de Economía de la República Argentina.

ECONOMÍA CIRCULAR Y REGENERACIÓN SOCIAL: DESARROLLO DE BIOTEXTILES Y REFORESTACIÓN A NIVEL FEDERAL

Casasola, L.; Giovanetti, M.
Espíritu Sostenible - Vonk Bio Diseño
Salta - Mendoza
casasolarse@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo de investigación y desarrollo expone un modelo integral de economía circular y regeneración social, centrado en la transformación de pasivos ambientales e industriales en biotextiles y bioproductos de alto rendimiento. Llevado a cabo por Vonk Bio Diseño y Espíritu Sostenible, el proyecto se consolidó en el norte argentino mediante la articulación directa con comunidades de los pueblos Wichí, Coya y Diaguita Kallchaquí. Destacan la alianza con las comunidades indígenas en la revalorización de orujos vitivinícolas y plantas medicinales; el aprovechamiento de descartes del tejido tradicional del chaguar; y en territorios altoandinos compartidos con la industria minera, trabajando con especies emblemáticas como la queñoa y medicinas locales. El modelo basa su gobernanza en las directrices de la ISO 26000 y respeta el Convenio 169 de la OIT sobre derechos de los pueblos indígenas, garantizando el consentimiento, la autodeterminación y la distribución justa de beneficios. Asimismo, esta red biocultural impulsa el turismo comunitario sostenible en cada territorio, ofreciendo experiencias inmersivas centradas en la forestación/reforestación y los saberes ancestrales. Expandido a nivel federal el proyecto genera bioproductos aptos para la moda, la arquitectura y el sector vitivinícola. Galardonado a nivel nacional, alinea sus métricas con los ODS y los estándares de la Global Reporting Initiative (GRI).

INTRODUCCIÓN

La transición hacia modelos empresariales regenerativos exige abordar los pasivos ambientales y los descartes agroindustriales no como desecho, sino como recursos estratégicos dotados de valor bioeconómico, cultural y social. Nacido de la urgente necesidad de dar respuesta a la vulnerabilidad ambiental en el Norte Grande Argentino, el proyecto de Vonk Bio Diseño y Espíritu Sostenible ha escalado hacia una red federal de innovación sostenible.

La columna vertebral de este modelo radica en el diálogo de saberes entre la biotecnología moderna, la investigación académica y los conocimientos ancestrales de los pueblos originarios, estructurado bajo un riguroso marco de responsabilidad social (ISO 26000) y con apego estricto al Convenio 169 de la OIT sobre Pueblos

Indígenas y Tribales. Este enfoque garantiza el respeto a la autodeterminación territorial, la consulta previa, libre e informada, y la equidad en las cadenas de valor:

- Comunidades Diaguita Kallchaquíes: Integran la economía circular de la industria vitivinícola del NOA al transformar el orujo y residuos de la elaboración de vino y plantas medicinales emblemáticas, en matrices biotextiles con propiedades únicas y con especial énfasis en el acervo e identidad cultural.
- Comunidades Wichí: Revalorizan los residuos de la biomasa derivados de la recolección y desfibrado del chaguar —fibra silvestre emblemática del Gran Chaco— evitando la descomposición y reinsertándolos en cadenas de valor artesanal indígena.
- Comunidades Coya: En la Puna altoandina comparten territorio y presiones socioambientales con la actividad minera, liderando el desarrollo de biomateriales basados en especies autóctonas emblemáticas como la queñoa (*Polylepis*) y la vegetación medicinal andina, constituyendo una alternativa de soberanía socioecológica y diversificación productiva.

La presencia de estas iniciativas en los diferentes territorios actúa como catalizador para el turismo comunitario sostenible. Los talleres de desarrollo de biotextiles, las rutas de la biodiversidad nativa y los proyectos de forestación se convierten en senderos interpretativos y experiencias vivenciales gestionadas por las propias comunidades, diversificando los ingresos locales y preservando la memoria biocultural.

Asimismo, la estrategia se alinea con la Agenda 2030 (ODS 12: Producción y Consumo Responsables; ODS 13: Acción por el Clima; ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres) y reporta bajo estándares GRI para brindar trazabilidad socioambiental a los reportes de sustentabilidad corporativa de las empresas e industrias aliadas.

OBJETIVOS

- Transformar pasivos ambientales orgánicos e industriales (orujo vitivinícola, descartes de chaguar, cáscara de maní, biomasa de queñoa y flora medicinal) en biotextiles y bioproductos de alto valor agregado.
- Garantizar un modelo de gobernanza participativa y ética enmarcado en las directrices de la ISO 26000 y el cumplimiento del Convenio 169 de la OIT, promoviendo el desarrollo socioeconómico justo de las comunidades Diaguita Kallchaquí, Wichí y Coya del NOA.
- Potenciar los circuitos de turismo comunitario sostenible en Salta y Jujuy, utilizando la economía circular y la forestación y reforestación con flora nativa como atractivos culturales y pedagógicos autogestionados.
- Impulsar la regeneración ecológica y la justicia socioambiental a través de especies nativas sostenidas por la comercialización de bioproductos, ofreciendo alternativas sustentables en zonas tensionadas por la minería o monocultivos.
- Validar las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y térmicas de los materiales para su inserción comercial en sectores clave (bodegas, arquitectura interior,

moda) de San Juan, Buenos Aires, Córdoba y Mendoza, bajo trazabilidad GRI.

DESARROLLO/RESULTADOS

El proyecto abarca la cadena de valor completa: desde la recolección territorial sustentable del pasivo ambiental hasta la comercialización del bioproducto y la creación de experiencias turísticas asociadas:

Eje Norte / Valles Calchaquíes, Puna y Chaco-Salteño:

- Matriz Diaguita Kallchaquí: Procesamiento conjunto de orujo de uva (tinta y blanca/Torrontés) de bodegas locales y de plantas medicinales, logrando biotextiles con propiedades compostables e ignífugas naturales. Se integra con la *Ruta del Vino y del Biotextil Ancestral*, potenciando el turismo comunitario en los Valles.



Fotografía N° 1 Pasivos ambientales y orujo, descarte de bodegas.

- Matriz Wichí: Aprovechamiento de sobrantes y fibras cortas no hilables del chaguar generadas durante la recolección tradicional, aportando cohesión mecánica y textura a los biomateriales y con el acompañamiento territorial de la Fundación Alianza Wichi.



Fotografía N° 2 Recolección de Chaguar en el Chaco Salteño.

- Matriz Coya (Puna y zona minera): Utilización de biomasa de descartes de queñoa y flora medicinal andina, ofreciendo una alternativa productiva y turística sustentable (talleres de botánica andina y forestación) frente al avance del impacto extractivo minero.



Fotografía N° 3 Corteza de Queñoa, insumo para el biomaterial.



Fotografía N° 4 Biomaterial de queñoa a intervenir por el grupo de mujeres defensoras del ambiente.

Eje Centro y Cuyo: Valorización de la cáscara de maní en Córdoba, residuos citrus en el Nordeste y pasivos de grandes bodegas en la provincia de Mendoza. (Fig. 2)
La solidez técnica e institucional de este ecosistema ha sido distinguida con el Premio de Argentina Economía Circular y el Premio a la Sustentabilidad de la FUNC (Fundación Universidad Nacional de Cuyo).

En materia de manufactura, el proceso utiliza maquinaria eléctrica de bajo consumo (molinillos y mezcladoras hidrodinámicas) y una estabilización mediante secado por evaporación pasiva, dando como resultado biotextiles 100% biodegradables, compostables e ignífugos naturales.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que evidencia las ventajas ambientales y productivas de los biotextiles desarrollados, frente a los materiales convencionales, destacando especialmente la reducción drástica en el consumo de recursos hídricos y energéticos.

Parámetro / Dimensión	Industria Tradicional / Sintética	Modelo Regenerativo (Vonk Bio Diseño)
Origen de la Materia Prima (GRI 301)	Derivados del petróleo o agricultura e industria intensiva.	Pasivos orgánicos: orujo vitivinícola, descartes de chaguar, biomasa de queñoa y plantas medicinales.
Consumo Energético e Hídrico (GRI 302/303)	Extremadamente alto (curtiembre, teñidos y hornos industriales).	Mínimo consumo de agua y energía (maquinaria simple y secado por evaporación pasiva).
Derechos de los Pueblos Indígenas (OIT 169 / ISO 26000)	Inexistente o extractivista; escasa consulta e integración comunitaria.	Cumplimiento pleno: Consulta previa, libre e informada; cogestión del territorio, salvaguarda de saberes ancestrales.
Desarrollo Comunitario y Turismo Sostenible	Enclave cerrado sin derrames económicos en la economía local.	Turismo Comunitario: Rutas pedagógicas, talleres de biomateriales y voluntariado en forestación nativa administrados localmente.
Fin de Vida Útil (GRI 306)	Microplásticos y residuos de larga permanencia en vertederos.	100% Biodegradables y Compostables; retornan a la tierra como nutriente.
Seguridad y Respuesta Térmica	Materiales inflamables o dependientes de aditivos químicos tóxicos	Ignífugo natural (validado mediante análisis de resistencias en laboratorio)



Fotografía N°5 Biotextiles elaborados por evaporación pasiva y maquinaria de bajo consumo energético.

Como resultado comercial, la versatilidad y calidad de los biotextiles han permitido una exitosa inserción en el mercado nacional. Actualmente, se envían productos finales e insumos a clientes en San Juan, Buenos Aires, Salta, Jujuy y Córdoba, fortaleciendo aplicaciones que van desde bioproductos funcionales para bodegas hasta soluciones para el diseño de interiores y la moda.



Fotografía N° **¡Error! Solo el documento principal.** Aplicación de biotextiles en bioproductos de diseño sustentable distribuidos a nivel nacional. Realizado con descarte de vino Torrontés



Fotografía N° **¡Error! Solo el documento principal.** Aplicación de biotextiles en bioproductos. Realizado con descarte de vino tinto.

CONCLUSIONES

El modelo desarrollado por Vonk Bio Diseño y Espíritu Sostenible demuestra que la economía circular alcanza su máximo potencial cuando enlaza la tecnología de materiales con la justicia social, los marcos normativos internacionales y el desarrollo territorial.

Al estructurar la gobernanza bajo los lineamientos de la ISO 26000 y respetar los principios del Convenio 169 de la OIT, se garantiza que las comunidades originarias Diaguita Kallchaquí, Wichí y Coya participen no como meros proveedores de insumos, sino como socios estratégicos y guardianes del patrimonio biocultural. La valorización de pasivos como el orujo, el chaguar y la queñoa no solo mitiga la huella ambiental e

industrial, sino que diversifica las economías locales abriendo paso al turismo comunitario sostenible y a la forestación/reforestación activa.

Respaldado por el Premio Argentina Economía Circular, el Premio FUNC e indicadores de trazabilidad GRI, este proyecto se consolida como una estrategia integral, replicable y escalable de regeneración ambiental y equidad social en la República Argentina.

DE RESIDUOS ORGÁNICOS LOCALES A BIOMATERIALES: VALORIZACIÓN BIOTECNOLÓGICA PARA LA PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA

Nisenbaum, M.; Agustinelli, S.; Intas, L.; Murialdo, S.; Ruiz, D.
Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Ambiente - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Mar del Plata - CONICET
Buenos Aires
melinan@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Las actividades productivas, comerciales y gastronómicas generan residuos orgánicos que conservan componentes potencialmente aprovechables. Sin embargo, una parte importante de estos subproductos se destina a usos de bajo valor, permanece temporalmente almacenada o requiere alternativas de gestión. Su transformación en materias primas para nuevos procesos representa una oportunidad para vincular sustentabilidad, innovación y desarrollo territorial.

Este trabajo presenta una línea de investigación orientada a valorizar residuos orgánicos generados por actividades locales mediante su incorporación en procesos biotecnológicos para producir celulosa bacteriana. Este biopolímero es sintetizado por determinados microorganismos en forma de una membrana fibrosa y puede utilizarse como plataforma para desarrollar biomateriales destinados a diferentes sectores.

Se estudiaron residuos orgánicos provenientes principalmente de la elaboración y el consumo de alimentos y bebidas: borra de café, polvo de yerba mate, residuos botánicos de gin y bagazo cervecero. En los sistemas evaluados fue posible obtener membranas recuperables de celulosa bacteriana, aunque cada residuo presentó características particulares y diferentes requerimientos de preparación. Los resultados muestran que estos residuos pueden considerarse materias primas potenciales, pero también que su aprovechamiento requiere evaluar su composición, variabilidad, disponibilidad y acondicionamiento.

La propuesta no se limita a encontrar un destino alternativo para un residuo. Busca establecer un modelo de articulación entre empresas generadoras, capacidades científico-tecnológicas y organizaciones interesadas en aplicar biomateriales. Diversas empresas pueden participar aportando residuos orgánicos para su evaluación. Asimismo, empresas de diseño de materiales, formulaciones biobasadas, biotextiles y otros sectores pueden intervenir en la validación de aplicaciones.

La experiencia desarrollada demuestra que los residuos orgánicos locales pueden integrarse en nuevas cadenas de valor. Su aprovechamiento mediante procesos biotecnológicos representa una oportunidad para impulsar esquemas regionales de

economía circular, promover la vinculación entre universidad y sector productivo y avanzar hacia materiales obtenidos a partir de recursos renovables.



Figura 1. Esquema conceptual de valorización biotecnológica de residuos orgánicos locales. Corrientes provenientes de actividades alimentarias y de bebidas —borra de café, yerba mate, botánicos de gin y bagazo cervecero— son seleccionadas y acondicionadas antes de su incorporación a procesos fermentativos con microorganismos productores de celulosa. La celulosa bacteriana obtenida constituye una materia prima biobasada, renovable y compostable, con potencial aplicación en envases, biotextiles, formulaciones biobasadas y otros productos. El enfoque integra capacidades científico-tecnológicas con empresas generadoras y usuarias, promoviendo estrategias territoriales de economía circular.

INTRODUCCIÓN

La transición hacia sistemas productivos más sustentables requiere revisar la manera en que se utilizan los recursos y se gestionan los residuos. Dentro de un modelo lineal, las materias primas ingresan al sistema productivo, se transforman en productos y originan residuos y subproductos que frecuentemente quedan fuera del circuito económico. La economía circular propone conservar el valor de materiales y recursos durante más tiempo, facilitando su reutilización, transformación o incorporación en nuevos procesos.

Los residuos orgánicos generados por la industria de alimentos y bebidas presentan un interés particular. Muchos conservan carbohidratos, fibras, proteínas, minerales,

compuestos solubles y otros componentes que pueden ser aprovechados por procesos biológicos. No obstante, su composición es variable y depende de la materia prima original, el proceso industrial, las condiciones de almacenamiento y los tratamientos previamente aplicados.

Mar del Plata reúne una amplia diversidad de actividades vinculadas con la producción de alimentos, la gastronomía y la elaboración de bebidas. Estas actividades generan residuos orgánicos que podrían ser estudiadas como recursos para nuevos desarrollos tecnológicos.

Una de las alternativas de valorización es su utilización como componentes de medios destinados a la producción de celulosa bacteriana. Este material es sintetizado por bacterias capaces de organizar cadenas de celulosa en una red tridimensional de fibras muy finas. A diferencia de la celulosa vegetal, puede obtenerse con elevada pureza y sin lignina ni hemicelulosa. También se caracteriza por su capacidad para retener agua, su adaptabilidad y sus posibilidades de transformación y funcionalización [1,2].

La celulosa producida por cultivos de kombucha ha despertado interés para aplicaciones alimentarias y no alimentarias. Se han estudiado materiales para envases, películas, componentes textiles, productos de diseño, soportes funcionales y artículos descartables. Sin embargo, todavía existen desafíos relacionados con la reproducibilidad, la producción a mayor escala, la estandarización de sus propiedades y la adaptación del material a cada aplicación [1,3].

La producción convencional de celulosa bacteriana utiliza medios formulados con fuentes de carbono y nutrientes definidos. La sustitución parcial o total de estos insumos por residuos agroindustriales ha sido propuesta como una estrategia para aprovechar recursos renovables y mejorar la circularidad del proceso. Distintos estudios han demostrado que residuos vegetales, subproductos frutícolas, residuos de vinagre, bagazos y otras biomasas pueden utilizarse para producir celulosa bacteriana luego de tratamientos adecuados [2,4–6].

En este contexto, el Grupo de Ingeniería en Bioprocesos de la Universidad Nacional de Mar del Plata desarrolla una línea de investigación destinada a evaluar residuos orgánicos regionales, producir celulosa bacteriana y estudiar su transformación en biomateriales. La propuesta combina investigación, formación de recursos humanos y vinculación tecnológica con actores productivos locales.

OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo fue evaluar el potencial de residuos orgánicos generados por actividades locales como materias primas para procesos biotecnológicos de producción de celulosa bacteriana y desarrollo de biomateriales.

Los objetivos específicos fueron:

- Identificar residuos locales con potencial de valorización.

- Evaluar su compatibilidad con fermentaciones productoras de celulosa bacteriana.
- Obtener membranas de biocelulosa recuperables.
- Reconocer las particularidades y necesidades de acondicionamiento de cada residuo.
- Analizar posibilidades de articulación con empresas generadoras de residuos.
- Promover la interacción con organizaciones interesadas en validar aplicaciones del biomaterial.
- Establecer una base tecnológica para futuros ensayos de optimización, caracterización y escalado.

DESARROLLO/RESULTADOS

La investigación se inició a partir de la necesidad de un emprendimiento local de producir celulosa bacteriana como materia prima para la generación de biotextiles, en un marco de economía circular. Para ello se planteó necesidad de relevar la existencia de residuos vegetales generados por empresas locales y desarrollar alternativas que permitieran reutilizarlos para generar celulosa bacteriana, un producto de alto valor agregado. El proyecto se planteó desde su origen para evaluar residuos diversos y no como una solución restringida a una única industria. Entre los residuos considerados se incluyeron materiales derivados de la elaboración de bebidas, café, yerba mate, frutas, papa y otros productos vegetales.

Durante la primera etapa se estudiaron borra de café, polvo de yerba mate y residuos botánicos procedentes de la elaboración de gin. Estos residuos fueron seleccionados por su disponibilidad regional, su origen vegetal y su vinculación con actividades productivas y gastronómicas presentes en Mar del Plata.

En los tres casos fue posible obtener membranas recuperables de celulosa bacteriana. Este resultado permitió confirmar que los residuos evaluados eran compatibles con el sistema biológico empleado y que podían incorporarse a una estrategia de valorización. La borra de café y la yerba mate presentaron comportamientos comparables en cuanto a la cantidad final de biomasa húmeda obtenida. Los residuos botánicos de gin también permitieron producir celulosa, aunque presentaron una mayor variabilidad asociada al residuo. Esta observación es especialmente relevante ya que este tipo de residuo no constituye necesariamente una materia prima uniforme. Su composición puede variar entre productores, recetas y lotes. Por lo tanto, su aprovechamiento requiere trabajar junto con la empresa generadora para conocer su composición.

Posteriormente se incorporó el bagazo cervecero, uno de los principales subproductos sólidos de la elaboración de cerveza. Los ensayos demostraron que también puede incorporarse en sistemas productores de celulosa bacteriana. El desempeño dependió de la forma en que el residuo fue preparado, lo que confirmó que el acondicionamiento constituye una etapa central para transformar un residuo industrial variable en una materia prima biotecnológica.

La celulosa obtenida con bagazo presentó, además, una capacidad de retención de agua superior a la del material producido en el medio de referencia. Este resultado sugiere que el residuo utilizado puede influir no solamente en la cantidad de material producido, sino también en algunas de sus características. No obstante, la determinación de sus posibles aplicaciones requiere estudios posteriores de estructura, composición, comportamiento mecánico, estabilidad y desempeño después del secado.

Los resultados obtenidos no deben interpretarse como un orden definitivo de residuos mejores o peores. Los residuos fueron estudiados en diferentes etapas del proyecto y poseen composiciones y funciones distintas dentro del proceso. El principal resultado es la demostración de que residuos generados por varios sectores locales pueden ser incorporados en una plataforma común de valorización.

Esta plataforma comprende varias etapas:

1. identificación del tipo de residuo como sustrato fermentativo;
2. registro de su origen y disponibilidad;
3. acondicionamiento y conservación;
4. evaluación de su compatibilidad con el proceso;
5. producción y recuperación de la celulosa;
6. caracterización del material;
7. selección de aplicaciones;
8. validación junto con empresas usuarias.

La bibliografía científica respalda este enfoque. Se ha informado la producción de celulosa bacteriana a partir de residuos frutícolas, residuos de cocina, bagazo de caña, marlo de maíz, residuos de vinagre y otras biomasas. Estos antecedentes muestran que no existe una materia prima residual universal: el resultado depende de la composición del residuo y de los tratamientos necesarios para que sus componentes puedan ser aprovechados por los microorganismos [2,4–7].

A partir de la experiencia desarrollada pueden reconocerse dos grupos principales de empresas con posibilidades de vinculación.

El primero está integrado por empresas generadoras de residuos orgánicos. Dentro de este grupo se encuentran cafeterías, tostaderos, cervecerías, destilerías, productores de bebidas fermentadas, elaboradores de yerba e infusiones y procesadores de alimentos. Estas organizaciones pueden aportar residuos orgánicos generados, información sobre sus procesos y conocimiento acerca de la disponibilidad y variabilidad de los materiales.

El segundo grupo está formado por potenciales usuarios de la celulosa bacteriana y de los biomateriales derivados. Incluye empresas que puedan utilizar este material como insumo y reemplazo en sus formulaciones para obtener materiales con mayor porcentaje de biobasado, entre ellas empresas de envases, textiles, de materiales compuestos o formulaciones biobasadas, entre otras.

La articulación puede comenzar con la entrega y caracterización de un residuo orgánico. A partir de esa instancia puede determinarse si el material es compatible

con el proceso, si requiere tratamientos y si existe disponibilidad suficiente para continuar su estudio. Una evaluación positiva no implica que el residuo pueda transferirse inmediatamente a escala productiva, pero permite identificar oportunidades y definir un plan de validación.

Las empresas interesadas en aplicar el material pueden participar desde etapas tempranas, señalando requerimientos relacionados con formato, espesor, flexibilidad, apariencia, resistencia o terminación. Esta interacción es necesaria porque las características deseables dependen del producto final. Un material destinado a envases no requiere necesariamente las mismas propiedades que uno utilizado en construcción o textil.

De este modo, la propuesta conecta tres capacidades complementarias: las empresas conocen el origen y la gestión de sus residuos; el sistema científico-tecnológico aporta métodos para evaluarlos y transformarlos; y los potenciales usuarios contribuyen a definir las prestaciones que debe alcanzar el biomaterial.

La línea de trabajo cuenta actualmente con una base experimental a escala de laboratorio y con proyectos de continuidad orientados a formular medios basados en residuos, estandarizar protocolos, caracterizar la celulosa, avanzar en el escalado y validar aplicaciones. También se encuentra articulada con el desarrollo de biomateriales y biotextiles, lo que permite evaluar la transferencia de los resultados hacia usos concretos.

Tabla 1. Síntesis de los residuos orgánicos locales evaluados para la producción de celulosa bacteriana, los sectores potencialmente generadores, los principales resultados observados y los aspectos críticos a considerar para su valorización y vinculación tecnológica.

Residuo evaluado	Sector generador potencial	Resultado general observado	Aspectos a considerar para su valorización	Oportunidad de vinculación
Borra de café	Cafeterías, tostaderos, hoteles, establecimientos gastronómicos y empresas elaboradoras de café	Permitió obtener membranas recuperables de celulosa bacteriana y presentó un comportamiento productivo comparable al residuo de polvo de yerba mate	Humedad, frecuencia de generación, almacenamiento y posible variabilidad entre tipos de café o procesos de extracción	Evaluación de residuos periódicas de borra y desarrollo de protocolos de recolección y conservación
Polvo de yerba mate	Productores de infusiones, establecimientos gastronómicos y empresas procesadoras de yerba	Permitió obtener membranas recuperables de celulosa bacteriana, con resultados comparables a los obtenidos con borra de café	Estado del residuo, contenido de humedad, granulometría y estabilidad durante el almacenamiento	Aprovechamiento de descartes o residuos de proceso como componentes de medios biotecnológicos
Residuos botánicos de gin	Destilerías y productores de bebidas alcohólicas	Permitieron producir celulosa bacteriana, aunque mostraron mayor variabilidad entre ensayos	Composición heterogénea de hierbas, frutos, semillas y especias; variación entre	Caracterización conjunta de los residuos de cada destilería y desarrollo de estrategias específicas de acondicionamiento

			recetas, productores y lotes	
Bagazo cervecero	Cervecerías artesanales e industriales	Permitió producir celulosa bacteriana; el desempeño dependió del acondicionamiento previo. El material obtenido presentó elevada retención de agua	Alta humedad, rápida degradación, necesidad de estabilización y efecto del tratamiento previo	Desarrollo de protocolos de conservación, pretratamiento y utilización del bagazo como materia prima biotecnológica
Otros residuos vegetales locales	Industrias alimentarias, procesadores de frutas y hortalizas y establecimientos gastronómicos	Aún no evaluados dentro de los resultados presentados en este trabajo	Composición, volumen disponible, estacionalidad, inocuidad y facilidad de almacenamiento	Incorporación de nuevas empresas interesadas en evaluar experimentalmente sus corrientes residuales

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que diferentes residuos orgánicos generados por actividades locales pueden incorporarse en procesos biotecnológicos destinados a producir celulosa bacteriana.

La borra de café, la yerba mate, los residuos botánicos de gin y el bagazo cervecero permitieron obtener membranas de celulosa recuperables. Cada residuo presentó características particulares, lo que confirma que su valorización requiere una evaluación específica y no puede resolverse mediante un procedimiento único.

El principal aporte del trabajo es el desarrollo de una plataforma adaptable a distintos sectores productivos. Esta plataforma permite recibir un subproducto industrial, estudiar sus características, evaluar su incorporación al proceso y determinar las posibilidades de continuar hacia etapas de caracterización, escalado y aplicación.

La propuesta abre oportunidades de vinculación con empresas locales en dos direcciones. Por una parte, permite trabajar con organizaciones que generan residuos orgánicos y buscan alternativas para su aprovechamiento. Por otra, facilita la interacción con empresas interesadas en explorar biomateriales para sus productos.

La valorización biotecnológica no debe entenderse únicamente como una estrategia de gestión de residuos. Su objetivo es convertir residuos subutilizados en recursos para nuevas cadenas de valor, generar conocimiento, desarrollar capacidades regionales y promover innovaciones basadas en recursos renovables.

Los próximos pasos incluyen ampliar la diversidad de residuos evaluados, estudiar la variabilidad entre lotes, optimizar los tratamientos de preparación, caracterizar las propiedades de los materiales obtenidos y avanzar en ensayos a mayor escala. Estas actividades requieren una participación activa de empresas generadoras, potenciales adoptantes e instituciones científico-tecnológicas.

La experiencia desarrollada muestra que Mar del Plata dispone tanto de residuos orgánicos diversas como de capacidades científicas, productivas y creativas para

transformarlas. La articulación entre estos actores puede contribuir a consolidar un modelo territorial de economía circular orientado al desarrollo de biomateriales.

REFERENCIAS

Gagliardi, T. R.; Nascimento, A. F.; Valencia, G. A. Kombucha bacterial cellulose: A promising biopolymer for advanced food and nonfood applications. *Foods*, 2025, 14, 738. https://doi.org/10.3390/foods14050738.

Belkozhayev, A. M. et al. Microbial valorization of agricultural and agro-industrial waste into bacterial cellulose: Innovations for circular bioeconomy integration. *Microorganisms*, 2025, 13, 2686. https://doi.org/10.3390/microorganisms13122686.

Laavanya, D.; Shirkole, S.; Balasubramanian, P. Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of kombucha fermentation. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 295, 126454. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126454.

Cruz, R. S. et al. Bacterial cellulose powder from tropical fruit byproducts: Characterization and application in smoothies. *Food Technology and Biotechnology*, 2026, 64, 149–161. https://doi.org/10.17113/ftb.64.02.26.8999.

Liu, Z. et al. Preparation and characterization of bacterial cellulose synthesized by kombucha from vinegar residue. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 258, 128939. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128939.

Esa, F.; Tasirin, S. M.; Rahman, N. A. Bacterial cellulose production from agricultural residues by two *Komagataeibacter* sp. strains. *BioResources*, 2022.

Li, Z. et al. Bio-conversion of kitchen waste into bacterial cellulose using a new multiple carbon-utilizing *Komagataeibacter rhaeticus*: Fermentation profiles and genome-wide analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 191, 211–221. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.077.

Liu, Z. et al. Comparison of bacterial cellulose production by various biomass wastes as culture media. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2025, 143091. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143091.

EJE INVESTIGACIONES AMBIENTALES E INNOVACIONES EN DESARROLLO

DIAGNÓSTICO LOCAL DE UNA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL GLOBAL: BASES PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO POSCONSUMO EN COMODORO RIVADAVIA

Acosta, M. L.; Cabane, M. D.
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Chubut
cabanedaniela@gmail.com

RESUMEN

El poliestireno expandido (PEE), conocido comercialmente como “telgopor”, constituye uno de los polímeros sintéticos de mayor producción y consumo a nivel mundial. Derivado del petróleo, un recurso no renovable, este material es ampliamente utilizado en los sectores del envasado, la industria alimentaria, la construcción, la acuicultura y la protección de bienes, debido a su baja densidad, adecuada resistencia mecánica y excelentes propiedades de aislamiento térmico y eléctrico (Chelomin, 2023).

No obstante, una vez finalizada su vida útil, el PEE representa un importante desafío para la gestión ambiental. Sus características físicas y químicas dificultan su recolección, transporte y reciclaje, por lo que una gran proporción termina siendo dispuesta en rellenos sanitarios o dispersándose en el ambiente. En consecuencia, su tasa de recuperación es baja, en comparación con la registrada para otros materiales reciclables, como el papel y el vidrio (Arandes et al., 2004). Esta situación favorece la acumulación del PEE en los ecosistemas, donde su persistencia y fragmentación contribuyen a la generación de microplásticos y a la contaminación de ambientes terrestres y acuáticos.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar la gestión del PEE posconsumo en la ciudad de Comodoro Rivadavia, identificando las principales limitaciones para su recuperación y valorización con el propósito de generar evidencia que contribuya al diseño de estrategias orientadas a una gestión más sostenible del material.

Los resultados obtenidos constituyen un insumo para el diseño de estrategias de gestión ambiental del PEE posconsumo basadas en los principios de la economía circular.

OBJETIVOS

Caracterizar la gestión del PEE posconsumo en la ciudad de Comodoro Rivadavia, identificando las principales limitaciones para su recuperación y valorización, con el fin de generar evidencia que contribuya al diseño de estrategias de gestión ambiental sostenible.

DESARROLLO

El PEE constituye uno de los residuos plásticos de un solo uso que presenta importantes desafíos ambientales debido a su elevada persistencia, amplia dispersión y creciente acumulación en distintos ecosistemas. Su alta estabilidad química dificulta su biodegradación, mientras que su baja densidad y elevado volumen limitan su recolección, transporte y reciclaje, favoreciendo su dispersión en el ambiente (Pérez-Mora, 2019; IAP, 2009). Como consecuencia, el PEE contribuye significativamente a la generación de microplásticos y representa una amenaza para los ecosistemas acuáticos y terrestres, al ser ingerido por diversas especies y acumularse incluso en regiones remotas (Chelomin, 2023; Thaysen, 2018).

Asimismo, los procesos de fotodegradación favorecen su fragmentación y la posible formación de subproductos potencialmente tóxicos, cuyos mecanismos de generación y efectos ambientales aún no han sido completamente caracterizados (Lee, 2022). Aunque existen alternativas para la valorización del PEE, como el reciclaje mecánico, físico, químico y la valorización energética, estas presentan limitaciones técnicas, económicas o ambientales que restringen su implementación (Pérez-Mora, 2019). En este contexto, resulta necesario generar información que permita diseñar estrategias para la gestión y valorización del PEE posconsumo, orientadas a reducir su persistencia, minimizar la generación de microplásticos y favorecer una gestión integral de este residuo.

Desde la perspectiva de la economía circular, el PEE posconsumo constituye un recurso potencial cuya valorización depende de la implementación de sistemas eficientes de recuperación y de la articulación entre los distintos actores involucrados. En este contexto, el conocimiento de las condiciones locales de generación, disposición y aprovechamiento del material resulta indispensable para diseñar estrategias ambientales acordes con las características y necesidades de la ciudad.

Ante la ausencia de información específica sobre esta problemática en el contexto local, se desarrolló una línea de investigación basada en el relevamiento y análisis de información en la ciudad de Comodoro Rivadavia, orientada a caracterizar las prácticas locales de generación, y gestión del PEE posconsumo, identificar los principales actores involucrados y generar evidencia para fundamentar futuras estrategias de intervención.

Se realizó un relevamiento de información primaria mediante encuesta anónima dirigida a la población de Comodoro Rivadavia. La encuesta titulada "¿Qué hacemos con el telgopor?" fue aplicada a una muestra de 105 personas. Por otra parte, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas a actores comerciales y responsables de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos.

Entre la información recabada en la encuesta se pudo determinar la siguiente práctica habitual de disposición del producto posconsumo

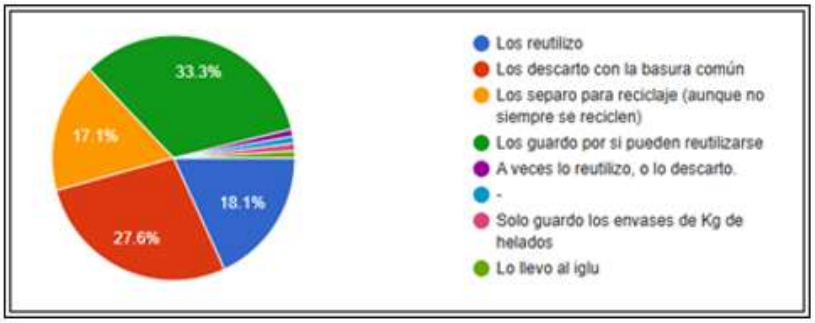


Gráfico de torta: Distribución de las prácticas habituales de disposición del PEE posconsumo. Fuente: Propia - encuesta titulada "¿Qué hacemos con el telgopor?

Las respuestas obtenidas evidenciaron interés y creatividad por parte de la comunidad para proponer alternativas de gestión del PEE, entre ellas la reducción del consumo, la reutilización en aplicaciones domésticas y constructivas, la implementación de campañas de concientización y la utilización de materiales alternativos. Sin embargo, también se observó incertidumbre respecto de las opciones disponibles para su adecuada valorización y disposición final.

Por otra parte, las entrevistas semiestructuradas y las consultas realizadas a distintos actores locales, entre ellos farmacias, heladerías, establecimientos gastronómicos y comercios dedicados a la venta de electrodomésticos, permitieron identificar que el PEE es utilizado de manera habitual en sus actividades comerciales. Mediante este relevamiento se observó una limitada disponibilidad de información. Aproximadamente el 50 % de los comercios contactados respondió sin proporcionar datos cuantificables sobre el consumo o la generación de residuos, mientras que el resto manifestó desconocimiento respecto de esta información.

Asimismo, se constató que una parte importante del PEE abandona los establecimientos comerciales junto con el producto adquirido por el consumidor, lo que provoca la pérdida de trazabilidad del material y dificulta la cuantificación de los residuos generados.

A su vez, las entrevistas realizadas a los responsables de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos evidenciaron que el PEE no forma parte de los procesos locales de reciclaje, reutilización ni valorización, siendo destinado a disposición final.

Los resultados ponen de manifiesto que para avanzar hacia un esquema de valorización del PEE posconsumo en Comodoro Rivadavia no radica únicamente en la ausencia de tecnologías de reciclado, sino, en la falta de información sistemática, trazabilidad del material y articulación entre los actores involucrados en su gestión.

CONCLUSIONES

Los hallazgos obtenidos evidencian la necesidad de abordar la gestión del PEE posconsumo desde una perspectiva integral, articulando dimensiones ambientales, tecnológicas y de gestión. En este sentido, se identifican como acciones prioritarias el fortalecimiento de la infraestructura para el acopio, clasificación y valorización del material, el desarrollo de programas de educación ambiental y la promoción de estrategias de participación comunitaria.

Asimismo, los resultados permiten definir una agenda de investigación orientada al desarrollo de sistemas de recolección diferenciada, clasificación y logística inversa que mejoren la trazabilidad del PEE, así como al estudio de alternativas de valorización en aplicaciones de ingeniería y construcción, la incorporación de esquemas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y la evaluación de tecnologías de reciclado.

El diagnóstico realizado aporta evidencia para orientar futuras investigaciones y fundamentar estrategias de gestión ambiental basadas en los principios de la economía circular, adaptadas a las particularidades del contexto local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arandes, José; Bilbao, Javier; López, Danilo (2004). Reciclado de Residuos Plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros, 5(1), 28-45.

Chelomin, N. D. (2023). Expanded Polystyrene-Debris- Induced Genotoxic Effect in Littoral Organisms. Toxics.

IAP, Industry Alliance Packaging (2009). Expanded Polystyrene Packaging Environmental Profile Analysis. Recuperado de: https://www.fishboxes.info/downloads/eps-toolkit-environmental-profile.pdf

Lee, M. A. (2022). Inditification and Toxicity Ecaluation of Water- Soluble Chemicals Generated by the Photooxidative Degradation of Expanded Polystyrene. Froniers in Environmental Science.

Pérez-Mora, A.-L. y. (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. Colombia: Informador Técnico .

Thaysen, K. S. (2018). Leachate from Expanded Polystyrene Cups is toxic to Aquatc Invertebrates (Ceriodaphnia dubia). Frontiers in Marine Science.

TRATAMIENTO DE LA LEVADURA RESIDUAL DE DESCARTE PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL Y SU POSIBLE REVALORIZACIÓN NUTRICIONAL

Alcover, J.; Bergamaschi, M.; Ferreyra, L.; Leombruno, M.; Módica, C.; Lucenti, N.; Luisetti, J.; Ravagnan, A.; Rudolf, L.; Martinet, R.; Stoppani, F.
Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos, UTN FRRo Santa Fe
julialuisetti88@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación, aborda la problemática de los residuos generados en la industria cervecera, específicamente la levadura descartada que no cumple con los estándares de viabilidad (<85%) para su reutilización en proceso. En este contexto, se evaluaron dos tratamientos de secado —por vacío y por convección forzada— aplicados al residuo de levadura cervecera. Previamente, a las muestras se les determinó la viabilidad celular y, en función de este parámetro, aquellas no aptas para reutilización fueron destinadas a tratamiento. Se concluyó que el método asistido por vacío no es viable debido a los tiempos operativos empleados.

INTRODUCCIÓN

La levadura residual es el segundo subproducto en volumen después del bagazo, estimándose una generación de entre 1,5 a 4 kg por cada hectolitro de cerveza producida (Avrămia et al., 2026; Santa Cruz-Salas et al., 2023). Este residuo posee una elevada carga orgánica, con valores de DBO que superan los 100.000 mg/L, lo que prohíbe su vertido directo (Garzón et al., 2025; Santa Cruz-Salas et al., 2023). Sin embargo, su composición rica en proteínas, vitaminas del complejo B y minerales la posiciona como un material de alto valor biológico (Guerrero et al., 2025). En este contexto, el secado representa una etapa clave para la valorización, permitiendo reducir el contenido de humedad y mejorando la estabilidad microbiológica (Vorländer et al., 2023). Se ensayaron dos métodos: secado convectivo y asistido por vacío. Se trabajó con levadura residual no viable, por lo que se focalizó en maximizar la eficiencia de remoción de humedad y garantizar la estabilidad del producto final, priorizando la conservación de proteínas. En función de ello, se seleccionó para el secado convectivo una temperatura de 70 °C, minimizando los tiempos de secado y mejorando la estabilidad microbiológica, sin comprometer la recuperación de compuestos de interés como proteínas y polisacáridos estructurales (Ramachandran et al., 2024, Faustino et al., 2023). Existen escasos estudios específicos sobre el secado al vacío aplicado a levadura cervecera residual, sin embargo, algunos trabajos han demostrado que la aplicación de vacío en matrices biológicas minimiza la

degradación térmica de compuestos sensibles (Ramachandran et al. 2024). En este marco, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar y comparar dos tratamientos de secado —convección forzada y vacío— aplicados al residuo de levadura cervecera de baja viabilidad, con el fin de analizar su potencial de estabilización y valorización en el contexto de la economía circular.

OBJETIVOS

Se propone el tratamiento de la levadura residual de descarte para disminuir el impacto ambiental y su posible revalorización nutricional.

DESARROLLO

Materia prima

Las muestras se obtuvieron de una cervecería artesanal de Rosario (Kalber). Las levaduras fueron tomadas de la primera fracción de purga y de la última fracción de cosecha del lote —ambas consideradas de baja viabilidad—.

Recuento de levaduras

El recuento de las levaduras se realizó a través del método de tinción con azul de metileno (Dalmasso et al, 2020). Se prepararon suspensiones de 1 g/ml de crema de levadura, que se diluyeron 1:10, 1:100 y 1:1000 según necesidad. Para el recuento en microscopio, se utilizó una cámara Neubauer espejada. Se tomaron imágenes fotográficas, con cámara digital acoplada al microscopio según método simplificado de recuento. Éste se realizó manualmente. A posteriori se determinó la viabilidad de las levaduras recuperadas según la Ec. (1).

$$Viabilidad\ (\%) = \frac{Cantidad\ \ total\ de\ células - Cantidad\ \ de\ células\ muertas}{Cantidad\ total\ de\ células} * 100 \quad (1)$$

Secado convectivo y asistido por vacío

Para el secado convectivo, se empleó una estufa de convección forzada (Tecno Dalvo, Modelo CHC/F/I, Argentina). Para los ensayos de secado asistido por vacío, se empleó un sistema conformado por una bomba de vacío conectada a un desecador hermético. El desecador se dispuso sobre una balanza, lo que posibilitó el seguimiento continuo de la cinética de secado bajo una presión operativa de 1 atmósfera negativa a temperatura ambiente. En ambos casos, la muestra se dispuso en una bandeja circular de aluminio y se distribuyó una capa uniforme de 5 mm de espesor. Se utilizó una balanza digital (Scout Pro SP2001, NJ USA) con precisión de ± 0,1 miligramo. El secado continuó hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Los tratamientos fueron realizados por triplicado, expresando los resultados como el valor promedio ± desviación estándar en base seca.

RESULTADOS

Recuento de levaduras

Los resultados mostraron que la viabilidad promedio fue inferior al 70 % (Figura 1). Estas se definieron como residuales agotadas, adecuadas para su estudio en procesos de valorización.

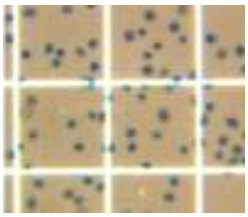
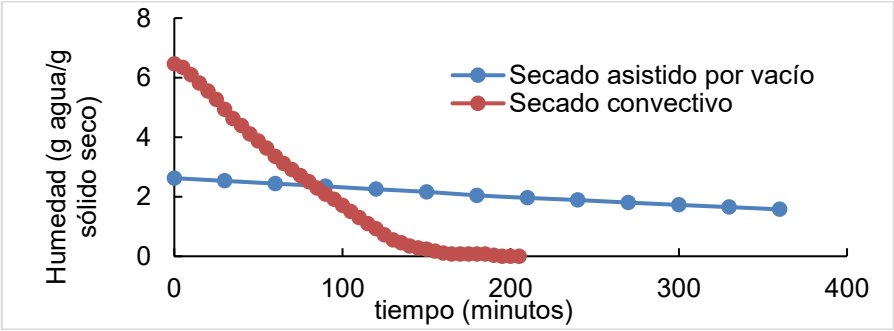


Figura 1. Imagen obtenida mediante cámara digital acoplada al microscopio

Curvas de secado convectivo y asistido por vacío

En la Gráfica 1, se observan ambas curvas de secado. Se representaron las humedades en g agua/g sólido seco en función del tiempo.



Gráfica 1. Curvas de secado convectivo (70ºC) y asistida por vacío (temperatura ambiente)

El método de secado asistido por vacío presentó un tiempo de secado elevado (360 minutos), sin mostrar un valor de humedad crítica: lo que vuelve al método inviable operativa y económicamente. Por otra parte, en el secado convectivo, se evidencia una humedad crítica al existir una variación en la velocidad de secado -de constante a decreciente-. Para obtener su valor, se realizó la aproximación de la curva a una función polinómica de tercer grado donde el coeficiente de determinación R^2 fue 0,999. De la derivada del polinomio se obtuvo una humedad crítica de 4,621 g agua/g sólido seco y un tiempo crítico de 35 minutos.

Se realizó una primera aproximación del perfil nutricional del residuo antes y después del secado, los resultados, en base seca, antes y luego del tratamiento fueron: Humedad 86% ± 1 % / 7,3 ± 0,5 %; Cenizas 5,4% ± 0,4 % /5.9% ± 0,2 %; Proteínas 36,2%± 0,6% / 38,4% ± 0,1 %; Lípidos 5,3% ± 0,4 % / 5,6 ± 0,1 % e Hidratos de carbono 52,3% ± 0,1 % / 50,1 ± 0,0 %.

CONCLUSIONES

El secado convectivo a 70 °C presentó una cinética de secado más eficiente que el secado asistido por vacío para estas muestras. La rápida reducción del contenido de humedad permitió alcanzar condiciones de mayor estabilidad en menores tiempos de

proceso, favoreciendo la valorización sustentable de este subproducto dentro de estrategias de economía circular. El perfil nutricional obtenido evidencia la potencial aplicación del mismo como suplemento o ingrediente alimentario. Como trabajo futuro, se propone variar las condiciones operativas del secado convectivo y realizar el estudio del costo operativo del mismo.

CITAS

Avrămia, I., Dabija, A., Oroian, M., Caisin, L., Agapii, V., Rotaru, A., Chetrariu, A. (2026). Yeast as a By-Product from Wine and Beer Production: Comparative Evaluation of Physico-Chemical Composition. *Molecules*, 31(2): 280. https://10.3390/molecules31020280

Dalmasso, L. P., Gallace, M. E., Cenizo, V. J., Caramutti V. E., & Ruíz Espínola, M. (2020). Microbiología cervecera: manual teórico práctico. Universidad Nacional de La Pampa. https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/7356

Garzón, A. G., Pavón, Y., Aquino, M. E. y Drago, S. R. (2026). Valorización de los subproductos de la elaboración de cerveza: obtención de compuestos antioxidantes y que mejoran el sabor a partir de levadura usada. *Sustainable Food Technol*, 4: 1728-1737. https://doi.org/10.1039/D5FB00499C

Guerrero, E. M., Juliarena, M, Guinirgo, F. A., Verellén, M. C., Conti, J. P., Monteavaro, C. (2025). Economía circular y residuos cerveceros. Estrategias de valoración de levaduras en Tandil, Argentina. *Revista Estudios Ambientales*, 13(1): 2347-0941

Faustino, M., Pereira, C. F., Durão, J., Oliveira, A. S., Pereir,a J. O., Ferreira, C., Pintado, M. E., Carvalho, A. P. (2023). Effect of drying technology in Saccharomyces cerevisiae mannans: Structural, physicochemical, and functional properties, *Food Chemistry*, 412, 135545, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135545

Ramachandran, R. P., Nadimi, M., Cenkowski, S. Paliwal, J. (2024). Avances e innovaciones en el secado de biofármacos, nutracéuticos y alimentos funcionales. *Food Eng Rev* 16, 540–566. https://doi.org/10.1007/s12393-024-09381-7

Santa Cruz-Salas, A. P., Pereira Antunes, M. L., Gómex Herrera, S., Velez-Lozano, J. A., Donnini Mancini, S. (2023). Sostenibilidad en la industria cervecera: una revisión crítica de los residuos generados y su gestión, *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2): 161-177. https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.1610

Vorländer, K., Bahlmann, L., Kwade, A., Finke, J. H. y Kampen, I. (2023). Efecto de los parámetros de proceso, los protectores y los materiales de soporte en la supervivencia de las células de levadura durante la granulación en lecho fluidizado para la formación de comprimidos. *Pharmaceutics*, 15 (3): 884. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15030884

NEUQUÉN BAJO LA LUPA: LO QUE 600 VIVIENDAS RELEVADAS REVELAN SOBRE EL DERROCHE DE AGUA, GAS Y ELECTRICIDAD

Araoz, M.; Di Yacovo, M.; Simone, D.
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue
Neuquén
daniel.simone@fain.uncoma.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo se enmarca en el Programa de Cuidados y Consumos Eficientes "Chau Derroche", implementado por el Ministerio de Infraestructura de Neuquén y el grupo de investigación en Eficiencia Energética. Mediante un diagnóstico técnico-participativo, este programa relevó, a través de encuestas domiciliarias, el uso de agua, gas y electricidad en los hogares neuquinos durante el año 2025.

Como novedad metodológica, la investigación incorporó la participación de 30 estudiantes de segundo a quinto año de las distintas carreras de la Facultad de Ingeniería, quienes integraron los equipos de relevamiento y fueron previamente capacitados en el uso de un software de carga y sistematización de datos desarrollado por el Gobierno de la Provincia del Neuquén. A estas encuestas se sumaron jornadas realizadas en centros comunitarios de los barrios visitados, las cuales funcionaron como espacios de formación y de diálogo directo con los vecinos en torno al uso eficiente de los recursos. Se presentan en el Congreso Argentino de Sustentabilidad 2026 los resultados de las primeras 600 viviendas relevadas (300 en Neuquén Capital y 300 en Picún Leufú), en el marco de una prueba piloto que próximamente incorporará 300 viviendas en Aluminé y que proyecta escalar a 100.000 hogares en toda la provincia.

INTRODUCCIÓN

El uso eficiente del agua y de la energía es un paso fundamental para fortalecer la economía social y familiar a mediano plazo. Asimismo, resulta crucial para la sostenibilidad ambiental del conjunto social, el ahorro energético y el rendimiento de las obras de infraestructura, lo que permite optimizar o postergar inversiones, revisar la planificación del desarrollo futuro, contribuir al desarrollo integral provincial y dar respuesta al cambio climático global.

En este escenario, cobran especial relevancia factores como la climatización —principal consumo energético en el hogar, ya sea eléctrico o de gas— y la prevención de incendios accidentales por deficiencias de infraestructura, los cuales

históricamente han provocado pérdidas de vidas humanas y animales, así como la destrucción de hogares, escuelas y otros edificios públicos y privados.

La conciencia sobre el medio ambiente, su cuidado y el impacto de las acciones humanas ha comenzado a penetrar en todos los estamentos sociales. Si bien existe una percepción generalizada de que el calentamiento global es una responsabilidad colectiva y que la calefacción residencial es uno de sus principales componentes, esta relación no siempre es incorporada por el vecino como algo fundamental. De hecho, no siempre se comprende cómo afectan la climatización y el nivel de aislamiento de los hogares al entorno donde vivimos. En este marco, se torna imprescindible optimizar la comunicación con la ciudadanía para promover la reducción y la eficiencia en los consumos de agua, gas y energía eléctrica.

OBJETIVOS

El propósito central de esta investigación consiste en evaluar y optimizar las condiciones de consumo energético y habitacional en la región. Para ello, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Promover el uso eficiente de los recursos: Realizar un relevamiento de eficiencia energética en viviendas unifamiliares de tres localidades de la provincia de Neuquén, abarcando el consumo de agua, energía eléctrica, gas y otras fuentes energéticas.
- Ejecutar acciones de concientización directa: Desarrollar campañas territoriales de sensibilización social sobre el consumo responsable y seguro de agua, electricidad, gas y leña en el ámbito hogareño.
- Sistematizar la información técnica: Relevar datos *in situ* mediante visitas domiciliarias para identificar áreas de mejora y consolidar la información en una base de datos de acceso estructurado, seguro y estandarizado.
- Transferir conocimientos con anclaje territorial: Capacitar de forma directa a los vecinos para transformar las campañas abstractas en un compromiso práctico, permitiendo que las familias identifiquen problemas y soluciones en su propio entorno, con especial énfasis en la prevención de incendios.

DESARROLLO

El desarrollo de la investigación se estructuró a partir de abordajes territoriales directos, bajo el siguiente esquema de trabajo:

- Abordaje territorial y sensibilización: Se realizaron visitas domiciliarias en las que se distribuyó material pedagógico sobre el cuidado de recursos y se brindaron charlas breves explicativas sobre los alcances de la campaña.
- Relevamiento técnico e inspección: Se ejecutaron entrevistas a los usuarios y verificaciones presenciales de las instalaciones mediante una lista de verificación (*checklist*) digitalizada para estandarizar el diagnóstico de cada vivienda. Para ello, se desarrolló una aplicación móvil destinada a recolectar los datos y centralizarlos en una base de datos web.

Aporte innovador y potencial de réplica:

- Metodología escalable: Diseño de un modelo de diagnóstico energético domiciliario a gran escala, con capacidad operativa para ser replicado en otras provincias argentinas.
- Insumos para la gestión pública: Generación de estadísticas de base propias, fundamentales para el diseño y la planificación de políticas públicas orientadas a la eficiencia energética residencial.
- Sinergia interinstitucional: Consolidación de un espacio de articulación activa entre el Estado provincial, la Universidad y la comunidad, promoviendo la participación formativa de estudiantes de grado en territorio.

RESULTADOS

Los datos analizados provienen de entrevistas domiciliarias y observaciones visuales estructuradas. En todos los casos, la información fue provista por el integrante que se identificó como el principal responsable del hogar y que consintió recibir al equipo de relevamiento. Durante la ejecución del programa, se evidenciaron limitaciones vinculadas a la estrategia inicial de convocatoria. La planificación original contemplaba la inscripción voluntaria de los participantes; sin embargo, el registro en línea resultó escaso. Ante este escenario, se articuló una red de trabajo junto con comisiones vecinales y referentes barriales para confeccionar listados de contacto alternativos.

Aun con esta gestión, al momento de efectuar las visitas operativas, un número significativo de las personas registradas no se encontraba en su vivienda o desistió de participar. Esto obligó al equipo técnico a reconfigurar el enfoque metodológico hacia un barrido territorial directo (casa por casa), solicitando el consentimiento presencial de cada vecino. Esta experiencia demostró que factores como la desconfianza hacia personal externo y la falta de información previa institucionalizada disminuyen la tasa de respuesta inicial, lo que pone de manifiesto la necesidad de revisar las estrategias de vinculación comunitaria para las próximas etapas del programa. Pese a estas barreras, el 25 % de apertura total y la participación del resto de la comunidad en los accesos proveyeron un volumen de información de alto valor diagnóstico.

Los hallazgos preliminares revelan un panorama heterogéneo respecto al uso de los recursos y la seguridad en el hogar:

- Equipamiento residencial: Se constató una alta penetración de electrodomésticos y servicios básicos (heladeras, lavarropas y sistemas de calefacción a gas). No obstante, es escasa la presencia de artefactos tecnológicos modernos dotados de etiquetado de eficiencia energética superior (Clase A o superior).
- Hábitos de consumo: Predominan prácticas poco eficientes en el uso diario de los recursos y una gestión inadecuada de los sistemas de climatización artificial. Asimismo, se detectó un marcado nivel de desatención en lo que respecta al consumo medido y cuidado del agua potable.
- Riesgos y seguridad edilicia: Se identificaron conductas críticas de riesgo residencial, tales como el uso persistente del horno de la cocina como fuente

secundaria de calefacción y la obstrucción o ausencia de rejillas de ventilación permanente.

- Prevención de accidentes: Aunque los usuarios manifestaron un óptimo nivel de conocimiento teórico sobre los peligros del monóxido de carbono, existe una severa brecha de acceso a herramientas preventivas de seguridad, registrándose mínimos niveles de adopción de extintores y detectores de gas normalizados.

CONCLUSIONES

El programa Chau Derroche ha logrado desarrollar una experiencia territorial inédita en materia de diagnóstico domiciliario en eficiencia energética, alcanzando resultados muy valiosos y generando valiosos aprendizajes. El desafío para las próximas etapas será fortalecer el vínculo con los vecinos y mejorar las estrategias de llegada, garantizando mayor representatividad, confianza y alcance.

CITAS

http://www.argentinagbc.org.ar/
https://climateactiontracker.org/countries/argentina/
https://www.irena.org
https://eficienciaenergetica.net.ar/
https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

GENERAL LAVALLE SOSTENIBLE: ESTRATEGIAS PARA EL EQUILIBRIO AMBIENTAL Y SOCIO- ECONÓMICO

Barone, E.; Chait, E.; Civeira, G.; Mansilla, R.; Pintos, M.; Santachita, S.; Vasarhelsy, S.
Universidad de Morón
Buenos aires
sbsanta@live.com.ar

RESUMEN

El proyecto de investigación busca analizar los desafíos ambientales, sociales y productivos del Partido de General Lavalle, considerando su estrecha vinculación territorial con el Partido de La Costa. Parte de la hipótesis de que la falta de un diagnóstico integral limita la planificación estratégica y la implementación de políticas de desarrollo sostenible. La investigación evaluará las dinámicas ambientales, económicas y sociales del territorio, con especial atención al impacto de los residuos sólidos urbanos provenientes de La Costa y a las oportunidades que estos representan para impulsar iniciativas de economía circular, valorización de residuos y generación de empleo local. La metodología contempla el análisis de información estadística y documental, relevamientos de campo, estudios ambientales, talleres participativos y consultas con actores locales, para luego elaborar escenarios de intervención y alternativas de aprovechamiento de residuos. Entre las propuestas se analizará la reutilización de residuos plásticos, especialmente PVC, para la fabricación de componentes destinados a infraestructura adaptada a humedales y áreas costeras. La viabilidad de estas iniciativas será evaluada desde perspectivas técnicas, económicas, ambientales, sociales e institucionales. Se espera obtener un diagnóstico territorial integral y recomendaciones que contribuyan a fortalecer la gobernanza ambiental, la resiliencia climática y el desarrollo sostenible de General Lavalle, promoviendo el aprovechamiento responsable de los recursos y el desarrollo local.

INTRODUCCIÓN

El Partido de General Lavalle constituye un territorio de singular relevancia ambiental dentro de la región costera de la provincia de Buenos Aires. Sus humedales, bañados, rías y ecosistemas asociados conforman un patrimonio natural estratégico que presta importantes servicios ambientales y contribuye a la identidad productiva y paisajística local. Al mismo tiempo, su estrecha vinculación funcional con el Partido de La Costa genera dinámicas territoriales complejas que requieren abordajes integrales para garantizar procesos de desarrollo sostenible. En las últimas décadas, los cambios en los patrones de ocupación territorial, las transformaciones productivas, las presiones

ambientales y los efectos del cambio climático han planteado nuevos desafíos para la gestión local. Entre ellos, se destaca la necesidad de contar con herramientas de planificación basadas en evidencia que permitan compatibilizar la conservación de los recursos naturales con el fortalecimiento de las actividades económicas y la mejora de la calidad de vida de la población. En este marco, se propone desarrollar una investigación orientada a generar un diagnóstico integral de las condiciones ambientales, sociales, económicas y productivas de General Lavalle, identificando oportunidades para impulsar estrategias de desarrollo territorial sostenible y fortalecer las capacidades de gestión municipal.

DESARROLLO

La hipótesis de trabajo sostiene que la ausencia de un diagnóstico territorial integral limita la capacidad de planificación estratégica del municipio y dificulta la formulación de políticas públicas capaces de articular la protección ambiental con el desarrollo económico y social. Particularmente, la investigación abordará la problemática asociada a la disposición y gestión de residuos sólidos urbanos provenientes del Partido de La Costa, cuyos impactos ambientales se manifiestan sobre el territorio de General Lavalle. Lejos de considerar esta situación únicamente como una externalidad negativa, el proyecto propone analizar su potencial transformación en un recurso para el desarrollo local mediante estrategias de economía circular. Para ello se estudiarán las características ambientales del territorio, la estructura productiva local, las dinámicas demográficas y sociales, los marcos regulatorios vigentes y las capacidades institucionales existentes. Asimismo, se identificarán actores clave, redes de cooperación y oportunidades para la generación de nuevos emprendimientos vinculados al aprovechamiento de materiales recuperables. La metodología combinará enfoques cuantitativos y cualitativos. Se desarrollará inicialmente un diagnóstico territorial a partir del análisis de información secundaria, incluyendo datos censales, indicadores socioeconómicos, información geoespacial, antecedentes normativos y estudios ambientales previos. Posteriormente se realizarán relevamientos de campo destinados a caracterizar ecosistemas, actividades productivas, infraestructuras existentes y problemáticas ambientales relevantes. En una tercera etapa se implementarán entrevistas semiestructuradas, talleres participativos y mesas de trabajo con representantes gubernamentales, organizaciones sociales, productores, instituciones educativas y especialistas. Esta instancia permitirá incorporar saberes locales y construir una visión compartida sobre las principales problemáticas y potencialidades del territorio. Finalmente, se elaborarán escenarios prospectivos de desarrollo mediante herramientas de evaluación multicriterio, considerando dimensiones ambientales, económicas, sociales e institucionales. Entre las alternativas de intervención se analizará la factibilidad de crear emprendimientos comunitarios dedicados a la reutilización de residuos plásticos, especialmente PVC y otros polímeros recuperados, para la fabricación de componentes destinados a infraestructura liviana, pasarelas peatonales, rampas accesibles, equipamiento urbano y elementos constructivos adaptados a ambientes costeros y humedales. La evaluación de estas iniciativas contemplará aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales e institucionales,

con el propósito de determinar su viabilidad y su capacidad para generar empleo, promover la inclusión social y reducir los impactos ambientales asociados a la disposición final de residuos.

CONCLUSIONES

Se espera obtener un diagnóstico territorial integral que permita comprender las interrelaciones entre ambiente, producción, sociedad e instituciones en General Lavalle. Asimismo, el proyecto generará lineamientos estratégicos y recomendaciones para la formulación de políticas públicas orientadas a fortalecer la sostenibilidad territorial, la resiliencia climática y la gobernanza ambiental. Los resultados contribuirán a identificar oportunidades concretas de economía circular y valorización de residuos, promoviendo modelos de desarrollo local capaces de combinar innovación, inclusión social y conservación ambiental. De este modo, la investigación aspira a constituirse en una herramienta para la toma de decisiones y la construcción de un futuro territorial más sostenible para General Lavalle y su región de influencia.

CITAS

Botana, María Inés, (2019). Valorización turística de la Costa Atlántica Bonaerense. Análisis de las transformaciones del espacio costero. Universidad Nacional de La Plata.

Esparza Jesica, (2024). Diagnostico Urbano Ambiental en las Distintas Escalas Espaciales de la Ciudad Su aplicación en la ciudad de La Plata Autora: Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata.

INDEC, Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda (2022). Resultados definitivos a nivel de País, Provincia, Municipio.

Leonel Vega Mora, (2013). Dimensión Ambiental, Desarrollo Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo en 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.

Naciones Unidas (s.f) Objetivo 11, (2024): Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Recuperado el 20-06-24 de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/

CÁMARAS DE CULTIVO VEGETAL SUSTENTABLES A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS: DESARROLLO, ADAPTABILIDAD Y VALIDACIÓN EN INVESTIGACIÓN

Bayerque, J. I.; Suárez, P. A.
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC) - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad Nacional de Mar del Plata - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Buenos Aires
juanbayerque@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo y la caracterización de cámaras de cultivo vegetal construidas a partir de materiales recuperados de origen tecnológico e industrial, destinadas a su utilización en investigación científica. La propuesta se enmarca en los principios de la economía circular y se basa en la reutilización de carcazas de heladeras en desuso, fuentes de alimentación provenientes de computadoras, componentes eléctricos recuperados y materiales descartados de la industria del acrílico, entre otros elementos.

Las cámaras fueron concebidas como plataformas experimentales de bajo consumo, alimentadas a 12 V y diseñadas para permitir la adaptación de sus componentes y condiciones de funcionamiento a los requerimientos de diferentes ensayos experimentales.

El sistema permite controlar variables ambientales relevantes para el crecimiento vegetal, incluyendo temperatura, humedad relativa, iluminación, fotoperíodo y riego. La iluminación puede ajustarse mediante mediciones de radiación fotosintéticamente activa (PAR), permitiendo adaptar las condiciones lumínicas a los requerimientos de las especies estudiadas. La caracterización del sistema contempla especialmente su adaptabilidad, condiciones ambientales alcanzadas y su validación a partir de ensayos realizados en el laboratorio de diversidad vegetal del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC).

Desde el 2023, las cámaras han sido utilizadas en condiciones experimentales reales en el IIMyC, incluyendo ensayos vinculados al banco de semillas de especies nativas del sudeste bonaerense. Esta utilización permitió evaluar su funcionalidad como equipamiento científico adaptable a diferentes configuraciones experimentales.

El sistema no se plantea como sustituto directo de una cámara comercial convencional, sino como una alternativa de equipamiento científico desarrollada bajo criterios de economía circular, reutilización de materiales, alimentación de bajo voltaje, posibilidad de adaptación y reparación, y adecuación a necesidades experimentales específicas. Los resultados obtenidos permiten evaluar su desempeño técnico y su aplicabilidad en investigación vegetal, destacando el potencial de reutilización de materiales descartados para la generación de equipamiento científico funcional.

INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), junto con los residuos derivados de procesos industriales, constituye una problemática ambiental asociada tanto a la generación de desechos como a la pérdida de materiales y componentes potencialmente reutilizables (Baldé *et al*., 2017). En este contexto, las estrategias de economía circular promueven la recuperación, reutilización y reintegración de materiales en nuevos sistemas productivos, extendiendo su vida útil y disminuyendo la necesidad de incorporar materias primas vírgenes (Bocken *et al*., 2016).

La aplicación de estos principios al desarrollo de equipamiento científico representa una oportunidad para transformar materiales descartados en sistemas funcionales destinados a investigación. La reutilización de estructuras, componentes eléctricos y materiales industriales permite, además de reducir residuos, desarrollar soluciones tecnológicas que pueden ser reparadas, modificadas y adaptadas de acuerdo con las necesidades de cada laboratorio.

Por otra parte, los sistemas de cultivo vegetal en ambientes controlados constituyen herramientas de importancia para investigaciones fisiológicas, ecológicas, agronómicas y de conservación vegetal. La posibilidad de controlar variables como temperatura, humedad, iluminación, fotoperíodo y disponibilidad de agua permite establecer condiciones experimentales reproducibles y estudiar respuestas de las plantas bajo diferentes escenarios ambientales (Katagiri *et al*. 2015).

Sin embargo, las necesidades experimentales no son necesariamente uniformes. Diferentes especies y diseños experimentales pueden requerir modificaciones en la intensidad y distribución de la iluminación, fotoperíodo, régimen de riego, ventilación, disposición de los estantes o incorporación de nuevos sensores. Por este motivo, además de las prestaciones ambientales, la capacidad de adaptación y modificación del equipamiento constituye una característica de interés para su utilización en investigación.

En este marco, se desarrollaron en el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC) cámaras de cultivo vegetal construidas principalmente a partir de materiales recuperados de residuos tecnológicos e industriales. El sistema fue concebido bajo criterios de economía circular, bajo voltaje y adaptabilidad, utilizando carcazas de heladeras en desuso, fuentes de alimentación recuperadas de computadoras,

componentes eléctricos provenientes de RAEE y materiales descartados de la industria del acrílico.

A diferencia de una cámara comercial convencional, cuyo diseño y configuración están determinados por las características del producto adquirido, las cámaras desarrolladas fueron creadas como plataformas experimentales modificables. Esta característica permite adaptar componentes y condiciones de funcionamiento a distintos ensayos y facilita las tareas de mantenimiento, reparación y actualización tecnológica dentro del propio ámbito institucional.

Desde el 2023, las cámaras han sido utilizadas en ensayos experimentales desarrollados en el IIMyC, incluyendo investigaciones vinculadas al banco de semillas de especies nativas del sudeste bonaerense. Esta experiencia de utilización constituye la base para la caracterización de su desempeño técnico y para evaluar su capacidad como equipamiento científico destinado a investigación vegetal.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar y caracterizar cámaras de cultivo vegetal sustentables construidas a partir de materiales recuperados de origen tecnológico e industrial, evaluando su capacidad para generar condiciones ambientales controladas y adaptables a diferentes ensayos de investigación vegetal.

Objetivos específicos

- Reutilizar carcazas de heladeras en desuso como estructura principal de las cámaras.
- Reutilizar fuentes de alimentación y componentes eléctricos provenientes de equipos descartados.
- Incorporar materiales recuperados o descartados de procesos industriales en componentes estructurales.
- Desarrollar un sistema de iluminación LED adaptable a los requerimientos de diferentes especies y ensayos.
- Implementar sistemas de control de temperatura, humedad relativa, riego y fotoperíodo.
- Determinar el consumo energético del sistema
- Evaluar la capacidad de adaptación de la configuración de la cámara a diferentes requerimientos experimentales.
- Caracterizar su utilización en condiciones experimentales reales en el laboratorio de diversidad vegetal del IIMyC.

Criterios de diseño y adaptabilidad

El desarrollo de las cámaras se basó en un conjunto de criterios orientados a generar un equipamiento científico funcional a partir de materiales recuperados y, simultáneamente, a facilitar su adaptación a diferentes requerimientos experimentales.

Los principales criterios considerados fueron:
Reutilización de materiales: Se priorizó la utilización de componentes provenientes de equipos en desuso, RAEE y materiales descartados de procesos industriales, procurando extender su vida útil mediante su incorporación a un nuevo sistema funcional.
Alimentación de bajo voltaje: La arquitectura eléctrica fue desarrollada para operar principalmente a 12 V, permitiendo utilizar componentes disponibles y facilitar las tareas de modificación y mantenimiento.
Adaptabilidad experimental: Los componentes internos, sistemas de iluminación, disposición de estantes, ventilación y sistemas de riego fueron concebidos de manera que puedan modificarse de acuerdo con las necesidades de cada ensayo.
Modularidad: La configuración permite incorporar, retirar o reemplazar componentes sin necesidad de reconstruir completamente la estructura.
Mantenibilidad: Se priorizó el acceso sencillo a los componentes para facilitar las tareas de reparación, reemplazo y actualización tecnológica.
Control ambiental: Se incorporaron sistemas destinados a regular las principales variables ambientales requeridas para los ensayos experimentales.
Seguridad operativa: El empleo de sistemas de bajo voltaje en los componentes internos constituye un criterio de diseño orientado a reducir los riesgos durante la manipulación experimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estructura de las cámaras se desarrolló a partir de carcazas de heladeras en desuso. Sobre estas estructuras se realizaron modificaciones destinadas a posibilitar la incorporación de diferentes componentes y sistemas auxiliares. Se efectuaron perforaciones para la instalación de ventiladores y se incorporaron soportes destinados a permitir la instalación de estantes móviles, rejillas de iluminación, soportes para mangueras y puntos de suministro de riego, sensores y humidificador.

En la parte superior de la estructura se incorporó una carcasa proveniente de otro equipo reciclado, destinada a alojar los controladores digitales, incluyendo termostato, temporizador e higrostato, así como las fuentes de alimentación de 12 V.

El sistema eléctrico se organizó en dos circuitos independientes, cada uno alimentado mediante una fuente de alimentación tipo ATX recuperada de computadoras. En uno de los circuitos se conectaron el temporizador y el sistema de iluminación correspondiente a cada estante. El segundo circuito alimenta el termostato, el higrostato, los ventiladores y el humidificador. Esta configuración permite separar funcionalmente los sistemas de iluminación de aquellos destinados al control ambiental y circulación de aire.

El sistema de iluminación se construyó mediante tramos de tiras LED COB instalados sobre rejillas recuperadas de la industria manufacturera del acrílico. El número de tiras y sus características espectrales, como el color o la porción del espectro emitida, determinan las características de la iluminación obtenida dentro de la cámara. Esta configuración permite modificar la radiación fotosintéticamente activa (PAR)

disponible para las plantas mediante cambios en la cantidad y/o características de los módulos LED instalados.

El sistema de riego fue construido mediante mangueras instaladas sobre rejillas de acrílico, utilizando picos para goteo marca Tecflow, con un caudal nominal de hasta 70 L/h, y una bomba sumergible Daza de 12 V, 70 W y 30 L/min. La bomba se instaló dentro de un tanque de agua recuperado de un dispensador utilizado para consumo en oficinas. El tanque se ubicó en la parte inferior de la cámara. El sistema incorpora un interruptor accionado mediante un flotante, destinado a proteger la bomba sumergible mediante el corte del circuito eléctrico ante la ausencia de agua en el tanque. El accionamiento de la bomba se realiza mediante un temporizador digital programable, permitiendo establecer la duración y frecuencia de los ciclos de riego.

Con respecto a la adaptabilidad de la configuración los estantes son removibles y pueden instalarse a diferentes alturas o retirarse cuando se requiere disponer de un espacio interno de mayor altura para el alojamiento de macetas de mayores dimensiones. Asimismo, las rejillas de iluminación pueden retirarse con facilidad, permitiendo unificar los espacios internos cuando las características del ensayo así lo requieren. El circuito de riego también puede modificarse de acuerdo con las necesidades experimentales, permitiendo variar la disposición de las mangueras, el número de puntos de suministro y su caudal, así como retirar el sistema cuando no resulta necesario.

Por otro lado, en referencia al consumo energético y la eficiencia del sistema, el consumo energético básico del prototipo, excluyendo los subsistemas de regulación térmica activa, fue de 774,4 Wh/día (0,774 kWh/día), alcanzando 777,73 Wh/día (23,34 kWh/mes) al integrar el régimen de riego automatizado. La demanda de potencia máxima continua se situó en 70,4 W (0,32 A). El rendimiento fotónico del módulo LED COB alcanzó una eficiencia de 1,95 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}/W$ a máxima intensidad, correspondiente a 120 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Comparación con cámaras comerciales
No se realizó una comparación directa de desempeño con una cámara comercial debido a que el sistema desarrollado y los equipos comerciales convencionales responden a criterios de diseño y objetivos tecnológicos diferentes.

Equipamiento comercial	Cámara desarrollada
Producto cerrado	Plataforma modificable
Componentes definidos	Componentes reemplazables
Diseño industrial	Economía circular
Adquisición	Recuperación + fabricación + reparación institucional

En este sentido, pueden establecerse las siguientes diferencias conceptuales:

Ejemplo de Validación en el laboratorio de diversidad vegetal mediante aplicación experimental
Lugar de utilización: Laboratorio de Diversidad Vegetal – IIMyC
Tipo de experimento: Bioensayo.
Condiciones programadas

- Temperatura: 22–25 °C.
- Humedad relativa: 60–65 %.
- Fotoperíodo: 16 h luz: 8 h oscuridad.
- PPFD: 75 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Tiempo de utilización: 7 y 15 días.
Resultado de la utilización: Validación del experimento según ensayo experimental de Lourido *et al.* 2026.

CONCLUSIONES

El desarrollo de cámaras de cultivo vegetal a partir de materiales recuperados constituye una aplicación concreta de los principios de economía circular al desarrollo de equipamiento científico.

La utilización de carcazas de heladeras en desuso, componentes provenientes de RAEE, fuentes de alimentación recuperadas y materiales descartados de procesos industriales permitió construir sistemas funcionales destinados a investigación vegetal, reduciendo la necesidad de incorporar materiales nuevos y prolongando la vida útil de componentes originalmente destinados al descarte.

La arquitectura de bajo voltaje y la posibilidad de modificar los componentes internos permiten adaptar las cámaras a diferentes requerimientos experimentales. Esta característica constituye una de las principales ventajas del sistema, ya que posibilita modificar la iluminación, disposición interna, ventilación, riego y sistemas de monitoreo de acuerdo con las necesidades de cada ensayo.

Reutilización de materiales, bajo voltaje, adaptabilidad y mantenimiento local. Su principal aporte reside en la posibilidad de transformar materiales descartados en plataformas experimentales funcionales y modificables de acuerdo con las necesidades de investigación.

Los resultados obtenidos respaldan el potencial de este tipo de desarrollo para generar equipamiento científico adaptable mediante estrategias de reutilización y valorización de residuos, particularmente en instituciones donde la posibilidad de modificar y mantener localmente los sistemas constituye una ventaja para el desarrollo de nuevas configuraciones experimentales.

La utilización de las cámaras en el laboratorio de diversidad vegetal del IIMyC desde 2023, incluyendo su aplicación en estudios vinculados al banco de semillas de

especies nativas del sudeste bonaerense, demuestra su capacidad de utilización en condiciones experimentales reales. El sistema no se plantea como una sustitución directa de equipamiento comercial, sino como una alternativa tecnológica desarrollada bajo criterios de economía circular.

REFERENCIAS

Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., y Stegmann, P. (2017). The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows and Resources. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., y van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering, 33(5), 308-320.

Katagiri F, Canelon-Suarez D, Griffin K, Petersen J, Meyer RK, et al. (2015) Design and Construction of an Inexpensive Homemade Plant Growth Chamber. PLOS ONE 10(5): e0126826. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126826

Lourido, M. A.; Suárez, P. A.; Bayerque, J. I.; Mac Loughlin, T. M.; Esquius, S. K.; Miglioranza, K. S. A.; Marino, D. J. G. & Ondarza, P. M. A. (2026). Acumulación, translocación y efectos del antiparasitario ivermectina en plantas de rúcula (Eruca sativa). X Congreso SETAC Argentina, Centro Convenciones Karakachoff (UNLP). La Plata. Argentina

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE BAJO COSTO Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA MEDIANTE MEDICIONES IN SITU DE TEMPERATURA SUPERFICIAL. CASO DE ESTUDIO: CAMPUS UBP, CÓRDOBA, ARGENTINA

Beltramone, G.; Cueto, C.; Davies, A.; Domínguez, G.; Gil, F.; Pons, D.; Vanoli Faustinelli; L.; Venencia, V.
Instituto de Investigación en Desarrollo Sostenible (IDI-DS) - Universidad Blas Pascal
Córdoba
lucas.vanoli@gmail.com

RESUMEN

Frente al impacto creciente de las temperaturas extremas en las ciudades, la búsqueda de estrategias de mitigación económicamente viables y compatibles con la escala urbana constituye una urgencia en la agenda climática latinoamericana. En esta línea, el presente trabajo evalúa la efectividad de dos tipos de intervención sobre la isla de calor urbana en el campus de la Universidad Blas Pascal (UBP), Córdoba, Argentina: la modificación del albedo superficial mediante pintura reflectante de bajo costo, y el aumento de la densidad vegetal mediante soluciones basadas en la naturaleza con vegetación nativa. Durante el verano austral 2025-2026 se realizaron mediciones periódicas de temperatura superficial con termómetro infrarrojo en cinco sitios diferenciados por su cobertura y características de reflectancia, insolación y evapotranspiración. Los resultados muestran que el estacionamiento sin intervención alcanzó un máximo de 62,0 °C, mientras que la pintura reflectante del estacionamiento intervenido redujo la temperatura en 15,5 °C en promedio, el pergolado en 6,8 °C y el sombreado de arbolado en 19,1 °C.

Palabras clave: isla de calor urbana, albedo, temperatura superficial, soluciones basadas en la naturaleza, soluciones de bajo costo, resiliencia urbana.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la isla de calor urbana (ICU) se caracteriza por temperaturas más elevadas en las áreas urbanas respecto de su entorno rural, como consecuencia del reemplazo de superficies naturales por materiales impermeables de alta capacidad calorífica, la pérdida de cobertura vegetal y el calor antropogénico (Oke, 1982; Gaur et al., 2018). En el contexto del cambio climático, la intensificación de las olas de calor

amplifica los impactos de la ICU sobre la salud pública, el confort térmico y la demanda energética (Tuholske et al., 2021).

La ciudad de Córdoba, Argentina, registra diferencias de temperatura superficial entre el área urbana y su periferia del orden de 5,5 °C en promedio (Ferral et al., 2021), con tendencias crecientes de temperatura documentadas a lo largo de las últimas dos décadas (Sangermano et al., 2025). Frente a este escenario se destacan dos estrategias de mitigación complementarias: las intervenciones de bajo costo sobre la infraestructura urbana (modificación del albedo mediante pinturas reflectantes y generación de sombra artificial) y las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), que reducen la carga térmica mediante la sombra y la evapotranspiración del arbolado urbano (EPA, 2008).

Sin embargo, la evidencia empírica sobre la efectividad de estas estrategias a escala de microclima urbano y bajo condiciones climáticas como las de Córdoba es aún limitada.

OBJETIVOS

El objetivo general fue evaluar la efectividad de estrategias de bajo costo y de SbN para la mitigación de la isla de calor urbana, basadas en la modificación del albedo superficial y SbN, mediante mediciones periódicas y sistemáticas de temperatura superficial en diferentes sectores (intervenidos y no intervenidos) del campus de la UBP a partir de junio de 2025 a mayo de 2026.

DESARROLLO/RESULTADOS

Área de estudio y sitios de medición

El estudio se llevó a cabo en el Campus UBP de la ciudad de Córdoba, donde se delimitaron cinco sitios de medición con características térmicas contrastantes: (1) estacionamiento sin intervención, de asfalto (superficie de referencia); (2) estacionamiento intervenido con pintura reflectante de color blanco; (3) sector descubierto del área de cantina, de baldosa calcarea; (4) sector del área de cantina cubierto por una pérgola, mismo material; y (5) residencia, sector de asfalto con sombra de arbolado, denominado así por su localización dentro del campus. Todos los sitios se ubican dentro del predio del campus, de aproximadamente 1 km de perímetro, lo que minimiza la variabilidad meteorológica entre puntos.

Protocolo de medición

Las campañas de medición se realizaron con frecuencia aproximadamente quincenal entre junio de 2025 y mayo de 2026. En cada una se registró la temperatura superficial en los cinco sitios mediante termómetro infrarrojo, en la franja horaria de mayor radiación solar (11 a 13 hs, aproximadamente). Se descartaron las fechas con lluvia o nubosidad persistente, dado que en esas condiciones las diferencias térmicas entre superficies se atenúan.

Los días y horarios se definieron a fin de que también fueran útiles como referencia de imágenes satelitales térmicas, otra línea de investigación del equipo. Además, como parte de un protocolo ampliado, se relevaron datos de confort térmico, temperatura de aire y velocidad del viento, junto con fotografías térmicas de campo. Esta información se usó como referencia comparativa de las mediciones y quedó sistematizada para futuros estudios.

Resultados preliminares

La serie de temperatura superficial analizada comprende ocho campañas realizadas entre diciembre de 2025 y marzo de 2026, período de mayor estrés térmico. La Tabla 1 resume los valores promedio y máximo por sitio de medición.

Tabla 1. Temperatura superficial promedio y máxima por sitio de medición, registrada con termómetro infrarrojo — período diciembre 2025 a marzo 2026.

Sitio de medición	T.ª superficial promedio (°C)	T.ª superficial máxima (°C)
(1) Estacionamiento sin intervención	48,3	62,0
(2) Estacionamiento intervenido	32,8	40,8
(3) Sector descubierto del área de cantina	36,4	44,5
(4) Sector del área de cantina cubierto por una pérgola	29,6	38,0
(5) Sector de asfalto cubierto con sombra de arbolado	29,1	36,5

Fuente: elaboración propia.

El sitio 1 registró las temperaturas más elevadas (promedio 48,3 °C; máximo de 62,0 °C el 21 de diciembre de 2025 a las 13 hs), mientras que los sitios 4 y 5 se mantuvieron por debajo de 30 °C. La pintura reflectante redujo la temperatura en 15,5 °C en promedio respecto del asfalto sin intervención (entre 11,3 y 21,2 °C según la fecha, más marcada en días de mayor radiación); el sombreado artificial (sitio 3 frente a 4) la redujo 6,8 °C, con picos de 12,9 °C en días despejados; y la sombra de arbolado mostró el mayor efecto, con 19,1 °C de reducción media respecto del sitio 1 y hasta 25,5 °C de diferencia máxima. En términos relativos, la superficie pintada bajó su temperatura en torno a un 32 % respecto de la referencia, y las superficies sombreadas se mantuvieron por debajo de 40 °C incluso cuando el asfalto expuesto superó los 55 °C.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que tanto la modificación del albedo superficial como la generación de sombra producen reducciones significativas y medibles de la temperatura en un entorno urbano real. La sombra de arbolado, como solución basada

en la naturaleza, mostró el mayor potencial de enfriamiento, seguida por la pintura reflectante y la pérgola. De replicarse a escala barrial, estas intervenciones de bajo costo podrían mejorar sustancialmente las condiciones térmicas de los espacios públicos de la ciudad, mediante un protocolo de monitoreo replicable y de bajo costo. Como limitación, los sitios evaluados corresponden a un campus universitario de superficie acotada, lo que restringe la generalización directa de los resultados a otros contextos urbanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EPA (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. United States Environmental Protection Agency.

Ferral, A., Gili, A., Andreo, V., German, A., Beltramone, G., Bonansea, M., Paná, S., & Scavuzzo, C. M. (2021). Calculation of surface urban heat index from LANDSAT-8 TIRS data and its relation with land cover. 2021 XIX Workshop on Information Processing and Control (RPIC), pp. 1–6. IEEE.

Gaur, A., Eichenbaum, M. K., & Simonovic, S. P. (2018). Analysis and modelling of surface Urban Heat Island in 20 Canadian cities under climate and land-cover change. Journal of Environmental Management, 206, 145–157. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108(455), 1–24.

Sangermano, F., Asar, M. L., Visintin, A. M., Benítez, E., Ludueña-Almeida, F. F., & Estallo, E. L. (2025). Temporal and spatial dynamics of urban heat in the City of Córdoba, Argentina. The Journal of Climate Change and Health, 26, 100599.

Tuholske, C., Caylor, K., Funk, C., Verdin, A., Sweeney, S., Grace, K., Peterson, P., & Evans, T. (2021). Global urban population exposure to extreme heat. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(41), e2024792118.

ECONOMÍA CIRCULAR Y SUSTENTABILIDAD: EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE CÁSCARAS DE MAMÓN (CARICA PAPAYA L.)

Bertola, N.; Castro, J.; Romero, C.; Sosa-Goy, M.; Osuna, M.
Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS)
Chaco
jessicacastro@uncaus.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la extracción de pectina a partir de cáscara verde de mamón (*Carica papaya*) comparando el método convencional de hidrólisis ácida con métodos no convencionales asistidos por microondas (MO) y ultrasonido (US). Para los métodos no convencionales, se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) con un Diseño Compuesto Central (CCD) para optimizar el rendimiento (%R) y el grado de esterificación (GE). La pectina obtenida por el método óptimo (MO) se utilizó para formular películas simples biodegradables en dos concentraciones (F1: 1,5 % y F2: 3%) con 30% de glicerol como plastificante. Los resultados indicaron que el método asistido por MO presentó el mayor rendimiento (19,70%). En las películas, la formulación F2 (3%) mostró mayor espesor (97,96 µm) y permeabilidad al vapor de agua (WVP), mientras que F1 (1,5%) exhibió mayor solubilidad acuosa y propiedades mecánicas superiores en términos de esfuerzo a la rotura y módulo de Young, evidenciando una red polimérica más rígida y homogénea.

INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido de residuos agroindustriales ha impulsado el desarrollo de estrategias orientadas a transformar subproductos en materias primas de alto valor agregado, promoviendo sistemas productivos más sostenibles. En este contexto, los subproductos de la industria frutihortícola de la región del Chaco, como la cáscara de mamón (*Carica papaya*), constituyen una fuente promisoria para la obtención de biopolímeros con elevado potencial de aplicación industrial. La pectina es un polisacárido estructural con amplia aplicación en la industria alimentaria debido a su capacidad de gelificación y formación de películas. Tradicionalmente, la extracción se realiza mediante hidrólisis ácida convencional prolongada, lo que puede provocar la degradación térmica del polímero. Las tecnologías emergentes, como la extracción asistida por microondas (MO) y ultrasonido (US), se presentan como alternativas eficientes debido al calentamiento volumétrico rápido y al efecto de cavitación

acústica, respectivamente, disminuyendo los tiempos de proceso y mejorando el rendimiento y las características estructurales del producto.

OBJETIVOS

- Comparar la eficiencia de la extracción convencional de pectina frente a los métodos asistidos por microondas y ultrasonido a partir de cáscara verde de mamón.
- Optimizar los parámetros operacionales de los métodos no convencionales mediante Metodología de Superficie de Respuesta (RSM).
- Desarrollar y caracterizar películas simples biodegradables a base de la pectina extraída bajo condiciones óptimas, evaluando el efecto de la concentración del polímero sobre sus propiedades fisicoquímicas, de barrera y mecánicas.

DESARROLLO Y RESULTADOS

Optimización de la Extracción por Ultrasonido (US) y microondas (MO)

Para el método de extracción asistida por ultrasonido (US), se empleó un diseño compuesto central (CCD) con dos factores y cuatro repeticiones en el punto central, totalizando 12 corridas experimentales. Se evaluó el efecto de la temperatura (70–80 °C) y del tiempo de extracción (30–50 min) sobre el rendimiento de extracción y el grado de esterificación (GE). De manera similar, para la extracción asistida por microondas (MO) se aplicó un diseño CCD de 12 corridas para analizar la influencia de la potencia (540–900 W) y del tiempo de extracción (120–240 s) sobre las mismas variables de respuesta. Los niveles codificados de cada factor y los resultados experimentales obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental CCD y respuestas para la extracción asistida por ultrasonido y microondas

Corridas	Ultrasonido (US)		Microondas (MO)		Respuestas US		Respuestas MO	
	Factores							
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Potencia (W)	Tiempo (seg.)	R (%)	GE (%)	R (%)	GE (%)
1	80	30	900	240	13,57	73,5	13,63	77
2	75	40	720	180	15,53	74,5	19,3	66,67
3	80	40	900	180	14,3	73,41	22,68	74,36
4	70	30	540	120	14,46	76,90	14,17	62,96
5	70	50	540	240	18,175	73,62	20,88	66,67
6	80	50	900	240	14,191	73,28	18,4	69,56
7	70	40	540	180	17,05	75,0	19	63,64
8	75	50	720	240	17,53	73,3	18,22	68
9	75	40	720	180	16,61	74,15	21,2	66,67
10	75	40	720	180	16,58	74,59	21,87	68,42
11	75	30	720	120	15,94	76,5	17,03	65,91
12	75	40	720	180	16,66	74,46	18,6	66,67

%R = rendimiento, GE = grado de esterificación

La calidad de los modelos ajustados mediante RSM se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen del análisis ANOVA de los modelos obtenidos mediante Metodología de Superficie de Respuesta para los métodos de ultrasonido y microondas.

Método	Respuesta	Modelo	F	p	R^2	Lack of Fit (p)	Factores significativos
US	Rendimiento	Cuadrático	16,11	0,0020	0,9307	0,5435	A, B, AB, A^2
	GE	2FI	27,20	0,0002	0,9107	0,0705	A, B, AB
MO	Rendimiento	Cuadrático	3,06	0,1032	0,7180	0,2438	B, B^2
	GE	2FI	20,21	0,0004	0,8834	0,1119	A, AB

US= ultrasonido, MO= microondas

Para la extracción asistida por ultrasonido, el modelo cuadrático fue el seleccionado para describir tanto el rendimiento como el grado de esterificación, presentando coeficientes de determinación de $R^2 = 0,9307$ y $R^2 = 0,9107$, respectivamente, sin evidencia de falta de ajuste significativa ($p > 0,05$). Para el rendimiento, la temperatura y el tiempo presentaron efectos lineales significativos ($p < 0,05$), además de una interacción significativa entre ambos factores y un efecto cuadrático de la temperatura, evidenciando una respuesta con curvatura. En el caso del grado de esterificación, la temperatura, el tiempo y su interacción resultaron significativos ($p < 0,05$), mientras que los términos cuadráticos no mostraron efecto significativo, indicando un comportamiento predominantemente lineal dentro del intervalo experimental.

Para la extracción asistida por microondas, Design-Expert seleccionó un modelo cuadrático para describir el rendimiento ($R^2 = 0,7180$), mientras que para el grado de esterificación el modelo de interacción de dos factores (2FI) presentó el mejor ajuste ($R^2 = 0,8834$). En ambos casos no se detectó falta de ajuste significativa ($p > 0,05$). Sin embargo, el modelo global ajustado para el rendimiento no resultó estadísticamente significativo ($p = 0,1032$), indicando una capacidad predictiva limitada. A pesar de ello, el tiempo y su efecto cuadrático influyeron significativamente sobre esta respuesta ($p < 0,05$), evidenciando una relación no lineal con el rendimiento de extracción. Para el grado de esterificación, la potencia y la interacción entre potencia y tiempo presentaron efectos significativos ($p < 0,05$), mientras que el efecto lineal del tiempo no fue significativo, indicando un comportamiento predominantemente lineal dentro del intervalo experimental.

Las superficies de respuesta y curvas de contorno obtenidas mediante RSM (Figura 1) permitieron visualizar el efecto combinado de las variables de proceso sobre el rendimiento, el grado de esterificación y la función de deseabilidad.

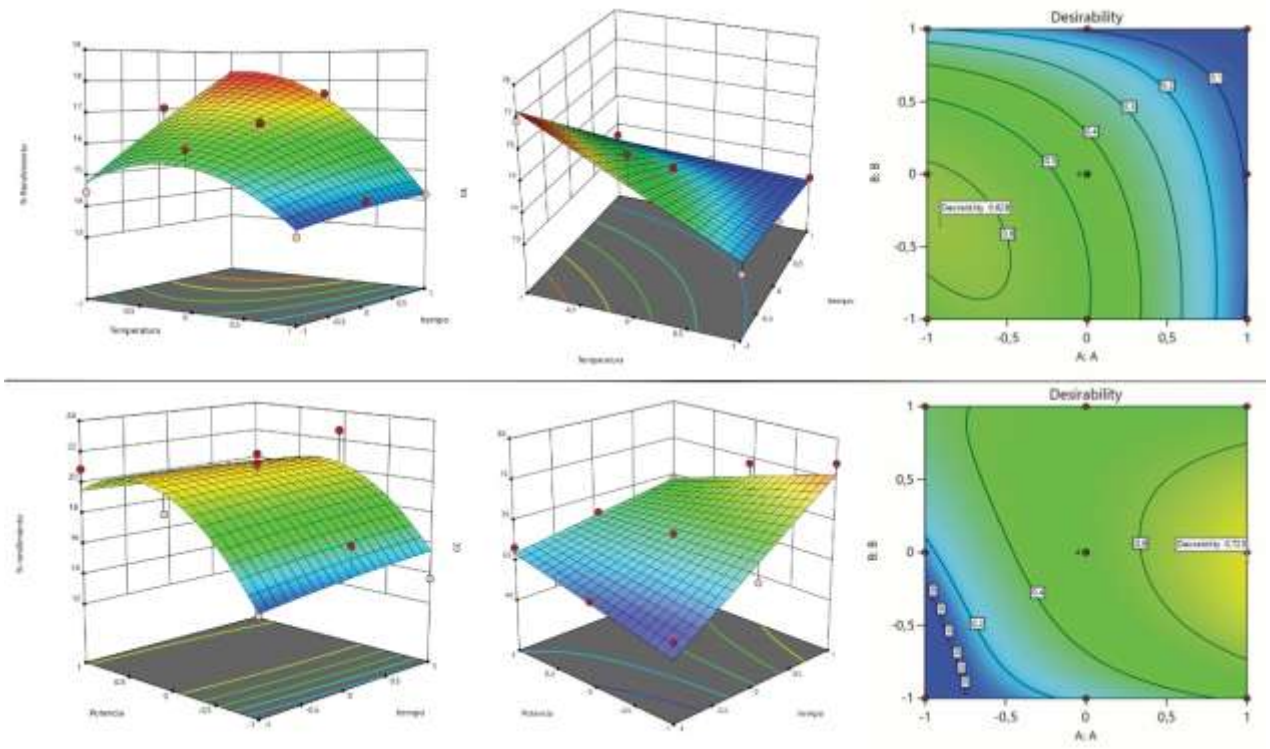


Figura 1. Curvas de contorno generadas mediante la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) para el rendimiento de extracción (%), el grado de esterificación (GE) y la función de deseabilidad de la pectina obtenida a partir de cáscara verde de mamón (*Carica papaya*). (arriba) Extracción asistida por ultrasonido (US); (debajo) Extracción asistida por microondas (MO)

En la extracción asistida por microondas se observó una región relativamente amplia con elevados valores de rendimiento y grado de esterificación, indicando que pequeñas variaciones en la potencia y el tiempo producen cambios poco significativos en las respuestas. En contraste, las superficies correspondientes al método US presentaron regiones óptimas más localizadas, lo que evidencia una mayor dependencia del rendimiento y del grado de esterificación respecto de la combinación de temperatura y tiempo de extracción.

La optimización simultánea mediante la función de deseabilidad mostró un mejor desempeño para la extracción asistida por microondas (deseabilidad = 0,72) en comparación con el ultrasonido (deseabilidad = 0,62). Para MO, las condiciones óptimas correspondieron a una potencia de 900 W y un tiempo de 175,95 s, alcanzando un rendimiento predicho de 20,34 % y un grado de esterificación de 72,85 %. En el caso de US, la optimización indicó como condiciones óptimas una temperatura de 70,41 °C y un tiempo de 36,48 min, con un rendimiento predicho de 16,09 % y un grado de esterificación de 75,89 %.

La amplia región de alta deseabilidad observada para MO sugiere un proceso más robusto y menos sensible a pequeñas variaciones de las condiciones de operación, mientras que la región óptima más restringida obtenida para US indica una ventana

operacional más estrecha, requiriendo un control más preciso de la temperatura y del tiempo para maximizar simultáneamente el rendimiento y el grado de esterificación. Asimismo, los resultados evidenciaron un comportamiento parcialmente antagonista entre ambas respuestas en el método US, ya que el incremento de la temperatura favoreció la solubilización de la pectina y el rendimiento de extracción, pero tendió a disminuir el grado de esterificación debido a procesos de desesterificación.

Si bien la extracción asistida por US permitió obtener una pectina con un grado de esterificación ligeramente superior, ambos métodos produjeron pectinas con GE superior al 65 %, clasificadas como pectinas de alto metoxilo y, por lo tanto, adecuadas para aplicaciones filmógenas. En este contexto, la selección de la extracción asistida por microondas respondió principalmente a su mayor rendimiento de extracción, al mayor valor de la función de deseabilidad y a la mayor robustez del proceso.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Maran y Prakash (2015), quienes demostraron que la aplicación de RSM constituye una herramienta eficaz para optimizar las condiciones de extracción de pectina y mejorar el desempeño del proceso. De manera consistente, investigaciones más recientes destacan que la extracción asistida por MO permite incrementar la eficiencia del proceso, mejorar el rendimiento de extracción y preservar las propiedades fisicoquímicas de la pectina cuando las variables operativas son adecuadamente optimizadas (Spinei y Oroian, 2022; Ling et al., 2023). En consecuencia, este método de extracción no convencional fue seleccionada para la obtención de la pectina empleada en la elaboración de las películas biodegradables.

Comparación del Potencial Funcional de los Métodos de Extracción
La comparación de las propiedades fisicoquímicas de la pectina obtenida por los tres métodos reveló diferencias significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de los tres métodos de extracción de la cáscara verde

Propiedades	**Métodos de extracción con cáscara verde**		
	Convencional	**Microondas**	**Ultrasonido**
%R	15,00	19,70	17,10
%ME	6,43	7,50	7,02
GE (%)	66,44	66,92	71,25
PE (g/eq)	96,91	69,58	132,42

%R = rendimiento, %ME = porcentaje de metoxilo, GE = grado de esterificación y PE = peso equivalente

La extracción asistida por MO presentó el mayor rendimiento, mientras que el US conservó un mayor grado de esterificación y peso equivalente. Estos resultados concuerdan con Karbuz y Tugrul (2021), quienes señalaron que el calentamiento volumétrico por MO favorece la liberación de pectina, mientras que la cavitación ultrasónica reduce la degradación estructural del polímero, preservando mejor sus

características funcionales. En la misma línea, Spinei y Oroian (2022) reportaron que la extracción asistida por MO incrementa significativamente el rendimiento de extracción, mientras que Lasunon y Sengkhamparn (2022) observaron que el US permite conservar mejor algunas propiedades fisicoquímicas de la pectina en comparación con tratamientos más intensos, dependiendo de las condiciones de extracción.

Caracterización de las Películas Biodegradables

Las películas simples formuladas con pectina-MO (F1 y F2) mostraron variaciones estructurales ligadas de forma directa a la concentración del biopolímero (Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las películas simples

Propiedades	Formulaciones	
	F1 (1,5%)	F2 (3%)
Espesor (um)	75,5 ± 2,99 [a]	97,96 ± 3,71 [b]
Humedad (%)	26,56 ± 2,26 [a]	26,65 ± 1,98 [a]
Solubilidad (%)	58,02 ± 1,31 [b]	54,74 ± 1,18 [a]
Índice de hinchamiento (%)	370,26 ± 56,91 [a]	374,26 ± 46,91 [a]
WVP x E10 (g/s.m.Pa)	4,52 ± 0,26	6,63 ± 0,24
Esfuerzo a la Rotura (MPa)	13,37 ± 2,54 [b]	8,88 ± 0,73 [a]
Elongacion (%)	21,62 ± 5,2 [a]	22,25 ± 3,44 [a]
Modulo de Young (MPa)	2,55 ± 0,6 [b]	1,32 ± 0,24 [a]

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La concentración de pectina modificó las propiedades fisicoquímicas de las películas (Tabla 4). La formulación F2 (3 %) presentó un mayor espesor y una mayor permeabilidad al vapor de agua, mientras que F1 (1,5 %) mostró una mayor solubilidad, sin observarse diferencias significativas en el contenido de humedad ni en el índice de hinchamiento. Estos resultados coinciden con lo informado por Xiang et al. (2024), quienes señalaron que la concentración del biopolímero influye directamente sobre la organización de la matriz polimérica y, en consecuencia, sobre las propiedades físicas y de barrera de las películas. De manera consistente, Roy et al. (2023) indicaron que las variaciones en la concentración de pectina modifican la estructura de la red polimérica y las interacciones con el agua, repercutiendo en el espesor, la permeabilidad y la solubilidad de las películas.

El análisis de las propiedades mecánicas demostró que la disminución de la concentración del biopolímero al 1,5% (F1) promovió un aumento marcado en el esfuerzo a la rotura ($\approx 13{,}5$ MPa frente a ≈ 9 MPa de F2) y en el módulo de Young ($\approx 2{,}5$ MPa frente a $\approx 1{,}3$ MPa de F2), manteniendo una elongación a la rotura similar ($\approx 22\%$).

El análisis de las propiedades mecánicas mostró que la formulación F1 (1,5 %) presentó un mayor esfuerzo a la rotura y un mayor módulo de Young, sin diferencias

significativas en la elongación respecto de F2. Este comportamiento sugiere que una menor concentración de pectina favoreció la formación de una matriz más compacta y homogénea, posiblemente debido a una distribución más uniforme del glicerol dentro de la red polimérica. Este resultado es consistente con lo reportado por Osuna et al. (2024), quienes señalaron que la organización estructural de la matriz de pectina influye directamente sobre la resistencia mecánica de las películas. Asimismo, Roy et al. (2023) destacaron que las propiedades mecánicas de las películas de pectina dependen no solo de la concentración del biopolímero, sino también del equilibrio entre la matriz polimérica y el plastificante, el cual determina las interacciones intermoleculares responsables de la resistencia y rigidez del material.

CONCLUSIONES

La extracción asistida por microondas permitió obtener pectina con mayor rendimiento y de calidad adecuada para la elaboración de películas biodegradables. La formulación con 1,5% de pectina presentó las mejores propiedades funcionales, destacándose como una alternativa prometedora para aplicaciones en envases biodegradables para alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Karbuz, P., & Tugrul, N. (2021). Microwave and ultrasound-assisted extraction of pectin from various fruit peels: A review. Journal of Food Science and Technology, 58(2), 641–650. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04578-0.

Lasunon, P., & Sengkhamparn, N. (2022). Effect of ultrasound-assisted, microwave-assisted and ultrasound-microwave-assisted extraction on pectin extraction from industrial tomato waste. Molecules, 27(4), 1157. https://doi.org/10.3390/molecules27041157.

Ling, B., Ramaswamy, H. S., Lyng, J. G., Gao, J., & Wang, S. (2023). Roles of physical fields in the extraction of pectin from plant food wastes and by-products: A systematic review. Food Research International, 164, 112343. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112343.

Maran, J. P., & Prakash, K. A. (2015). Process variables influence on microwave-assisted extraction of pectin from waste Carica papaya L. peel. International Journal of Biological Macromolecules, 73, 202–206. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.008.

Osuna, M. B., Romero, C. A., Rivas, F. P., Judis, M. A., & Bertola, N. C. (2024). Apple pectin-based films with Apis mellifera honey and/or propolis extract as sources of active compounds. Food and Bioprocess Technology.

Roy, S., Priyadarshi, R., Łopusiewicz, Ł., Biswas, D., Chandel, V., & Rhim, J.-W. (2023). Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 239, 124248. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124248.

Spinei, M., & Oroian, M. (2022). Microwave-assisted extraction of pectin from grape pomace. Scientific Reports, 12, 12722. https://doi.org/10.1038/s41598-022-16858-0.

Xiang, T., Yang, R., Li, L., Lin, H., & Kai, G. (2024). Research progress and application of pectin: A review. Journal of Food Science, 89(11), 6985–7007.

INFRAESTRUCTURA VERDE PARA CIUDADES RESILIENTES: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

Blázquez, P.; Escobar, Y.; Montero, M. C.; Poggio, J.
Facultad Regional Bahía Blanca - Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires
monteromc@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo expone los resultados de una investigación desarrollada en el laboratorio de ingeniería civil de la UTN-FRBB, orientada al diseño y evaluación experimental de mezclas asfálticas drenantes elaborada con materiales regionales. Se analizaron sus propiedades volumétricas, mecánicas e hidráulicas mediante ensayos normalizados. Los resultados mostraron un contenido promedio de vacíos de 11,7 %, una estabilidad Marshall de 437,7 kg, una fluencia de 2,8 mm y una capacidad de infiltración cercana a 62 l/m²·min. Si bien la resistencia mecánica obtenida resulta inferior a la requerida para pavimentos sometidos a tránsito intenso, el comportamiento hidráulico evidencia un elevado potencial para aplicaciones urbanas de baja solicitación, donde la infiltración del agua constituye el objetivo principal.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las ciudades argentinas han experimentado un crecimiento sostenido de las superficies impermeables producto de la expansión urbana, la pavimentación y el aumento de la densidad constructiva. Como consecuencia, una proporción cada vez mayor del agua de lluvia escurre superficialmente, incrementando los caudales que deben ser conducidos por redes pluviales cuya capacidad muchas veces resulta insuficiente frente a eventos meteorológicos extremos.

La ocurrencia de lluvias intensas asociadas al cambio climático ha puesto en evidencia la necesidad de incorporar nuevas estrategias de gestión del agua urbana que trasciendan el concepto tradicional de evacuación rápida hacia cursos receptores. En este contexto, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) proponen recuperar parcialmente el funcionamiento natural del ciclo hidrológico mediante soluciones que favorezcan la infiltración, el almacenamiento temporal y la regulación de caudales.

Los pavimentos permeables constituyen una alternativa atractiva porque permiten transformar superficies impermeables existentes en elementos activos del sistema de drenaje urbano. Las mezclas asfálticas drenantes presentan una estructura abierta que posibilita el paso del agua a través de los vacíos interconectados, disminuyendo la escorrentía superficial y contribuyendo a reducir el riesgo de anegamientos.
En la ciudad de Bahía Blanca, el evento hidrometeorológico del 7 de marzo de 2025 puso de manifiesto la vulnerabilidad de la infraestructura urbana frente a

precipitaciones extraordinarias, generando importantes impactos sociales, económicos y ambientales. Este escenario refuerza la necesidad de desarrollar investigaciones orientadas a soluciones constructivas adaptadas a las condiciones locales. Si bien la aplicación de mezclas drenantes posee amplio desarrollo internacional, en Argentina la información experimental continúa siendo limitada, particularmente respecto del empleo de materiales regionales. En este marco, la Universidad Tecnológica Nacional desarrolla una línea de investigación destinada a evaluar la factibilidad técnica de estos materiales como parte de estrategias de infraestructura verde.

OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo consiste en desarrollar y evaluar experimentalmente mezclas asfálticas drenantes elaboradas con materiales locales para analizar su potencial aplicación dentro de estrategias de drenaje urbano sostenible.

Como objetivos específicos se plantearon el diseño de mezclas de granulometrías discontinuas compatibles con pavimentos drenantes; la evaluación de propiedades volumétricas (contenido de vacíos); el análisis del comportamiento mecánico (Marshall); determinar su capacidad hidráulica mediante ensayos de infiltración; analizar su potencial contribución a la infraestructura urbana sostenible.

DESARROLLO Y RESULTADOS

Se emplearon agregados pétreos provenientes de canteras regionales y cemento asfáltico convencional CA-10, seleccionándose una granulometría abierta destinada a favorecer la generación de vacíos interconectados. El diseño de la mezcla se realizó mediante el método Marshall, siguiendo las recomendaciones de la Dirección Nacional de Vialidad y de la Comisión Permanente del Asfalto. Se confeccionaron seis probetas cilíndricas compactadas con 75 golpes por cara. Posteriormente se efectuaron ensayos de densidad, contenido de vacíos, estabilidad Marshall, fluencia y capacidad hidráulica mediante un procedimiento experimental de infiltración desarrollado para esta investigación.

El contenido promedio de vacíos obtenido fue de 11,7 %, valor que permite clasificar la mezcla dentro del rango correspondiente a mezclas drenantes. Esta estructura abierta favorece la infiltración del agua manteniendo un adecuado equilibrio entre permeabilidad y cohesión del material.

Respecto de las propiedades mecánicas, la estabilidad Marshall promedio alcanzó 437,7 kg, mientras que la fluencia promedio fue de 2,8 mm. Estos resultados indican que la mezcla posee una resistencia inferior a la requerida para pavimentos sometidos a tránsito pesado, aunque presenta un comportamiento deformacional adecuado para aplicaciones urbanas de baja solicitación.

La evaluación hidráulica constituyó el aspecto más destacado de la investigación. Los ensayos permitieron registrar una infiltración promedio cercana a 62 l/m²·min, valor

considerablemente superior a las intensidades correspondientes a lluvias de diseño utilizadas habitualmente en infraestructura urbana.

Desde la perspectiva ambiental, este comportamiento evidencia la capacidad de la mezcla para reducir significativamente la escorrentía superficial, disminuyendo la carga hidráulica sobre los sistemas pluviales convencionales y favoreciendo la recarga local del suelo. Los resultados obtenidos permiten afirmar que existe un amplio margen para optimizar el diseño de la mezcla, reduciendo parcialmente la permeabilidad con el objetivo de incrementar la estabilidad mecánica sin afectar significativamente su funcionalidad hidráulica.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que es posible desarrollar mezclas asfálticas drenantes utilizando materiales disponibles en la región, alcanzando un comportamiento hidráulico altamente satisfactorio para aplicaciones vinculadas a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. La capacidad de infiltración registrada confirma el potencial de estas mezclas para contribuir a la reducción de la escorrentía superficial y mejorar la resiliencia de las ciudades frente a eventos de precipitación extrema.

Si bien la estabilidad Marshall obtenida evidencia la necesidad de optimizar el diseño para aplicaciones estructurales, el comportamiento hidráulico observado permite considerar a estas mezclas como una alternativa técnicamente viable para estacionamientos, ciclovías, sendas peatonales y otras superficies de tránsito liviano.

Desde el punto de vista científico, el trabajo aporta información experimental generada con materiales regionales, contribuyendo al desarrollo de tecnologías de infraestructura verde adaptadas al contexto argentino. Como líneas futuras de investigación se propone optimizar la dosificación para lograr un equilibrio entre permeabilidad y resistencia mecánica, evaluar el comportamiento frente al colmatado, analizar su durabilidad en servicio y comparar su desempeño con otras soluciones permeables empleadas en drenaje urbano sostenible.

Esta investigación contribuye al ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) al promover infraestructura urbana resiliente y al ODS 13 (Acción por el clima) mediante soluciones que favorecen la adaptación frente a precipitaciones extremas. Además, fortalece la generación de conocimiento en una universidad pública argentina con potencial de transferencia al sector público y privado.

REFERENCIAS

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
CIRIA. (2015). The SuDS Manual (C753). London: Construction Industry Research and Information Association.
Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., et al. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, 12(7), 525–542.
Comisión Permanente del Asfalto. (2010). Manual del Asfalto. Buenos Aires: CPA.
Dirección Nacional de Vialidad. (s.f.). Normas de Ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad. Buenos Aires, Argentina. https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional

TECNOLOGÍAS APLICADAS AL USO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FACULTAD REGIONAL ORÁN: PRIMEROS PASOS

Castro, C. I.; Castro, D. I.; Mendoza, D.; Mendoza, P. A.; Moya, L.
Facultad Regional Orán - Universidad Nacional de Salta
Salta
dmendoza412@oran.unsa.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo corresponde a un proyecto de investigación que se realiza en la Facultad Regional Orán de la Universidad Nacional de Salta, ubicada en el norte del país. En base a trabajos previos, se conoce el consumo eléctrico anual de la facultad, las áreas de consumo y las preferencias de uso de la comunidad educativa. Desde este punto de partida, se estudian solamente dos áreas de consumo eléctrico: iluminación y climatización; se identifican situaciones de uso innecesario y se propone aplicar tecnologías emergentes (Iot, Cloud Computing, otras). Para ello se seleccionan tres espacios representativos: aula-taller, box docente y pasillo externo. En forma experimental, se desarrolla un sistema prototipo que gestiona la iluminación y climatización sustentables. A la fecha, el proyecto lleva un 70% de implementación; se deja planteado a futuro la incorporación de tecnologías para el procesamiento de los datos obtenidos (Data Science, IA) y de equipos fotovoltaicos en pos de la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el consumo de energía sigue siendo la principal causa del cambio climático, representando alrededor del 60% de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero (GEI); cerca del 80 % de la energía mundial proviene de los combustibles fósiles (ONU, 2026). Según el IPCC (2023), los edificios contribuyen aproximadamente con el 30% a nivel global en las emisiones de GEI.

En este contexto, resulta indispensable promover acciones para el uso sustentable de los recursos. La ONU (1987) define la sustentabilidad como la capacidad de una sociedad para hacer un uso consciente y responsable de sus recursos, permitiendo satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer los recursos y oportunidades de las generaciones futuras.

En relación al recurso de la energía eléctrica, el 66% de la generación eléctrica proviene de combustibles fósiles (ONU, 2026). Por lo tanto, es de vital importancia recurrir a fuentes renovables, aprovechando los recursos disponibles en cada región. También urge promover acciones para un uso sustentable, es decir que el consumo eléctrico sea óptimo, de tal manera que el impacto ambiental sea mínimo y se garantice su disponibilidad a las generaciones futuras. En este camino, las

instituciones educativas constituyen importantes promotores y protagonistas de acciones sustentables en beneficio de la sociedad actual y futura.

La Facultad Regional Orán (FRO) pertenece a la Universidad Nacional de Salta y se encuentra ubicada en la ciudad de Orán, en el norte de la provincia de Salta. La ciudad dista a 50 km de Bolivia, su latitud 23º 08' 10" S y longitud 64° 19' 20" O, a 336 msnm. De acuerdo a la zonificación bioclimática de la Argentina (Norma IRAM 11603), se encuentra en la zona IIb, con clima cálido-húmedo. Según información estadística del periodo 1991-2020 (SMN, 2026), Orán se caracteriza por tener periodos calurosos (octubre a marzo) con temperatura máxima media de 31,8 ºC y medios mensuales de humedad relativa entre 61% y 82%. Las temperaturas medias máximas para los periodos octubre/24-marzo/25 y octubre/25-marzo/26 fueron de 32,5 ºC y 32,9 ºC respectivamente, teniendo 78 y 63 días con máximas superiores a 35 ºC. Los valores estimados de radiación solar global acumulada anual sobre plano horizontal rondan entre 1700 y 1800 kWh/m^2 año con valores mensuales promedios de entre 2,31 kWh/m^2 para junio y 6,83 kWh/m^2 para diciembre (Sarmiento Barbieri N. et al, 2017).

En época estival, la zona céntrica de la ciudad se caracteriza por ser una isla de calor debido a las edificaciones y escasos espacios verdes, la acción antropogénica (alto tránsito vehicular, uso masivo de equipos de climatización, otros), la absorción de la radiación solar en las construcciones y su posterior emisión nocturna. El desarrollo de las actividades de la Facultad se realiza en este contexto, razón por la cual, al igual que otras instituciones, se recurre al uso masivo de equipos de aire acondicionado durante todo el día (07 a 22 hs). Según la ONU (2026), se espera que, en el año 2050, las emisiones de GEI por el uso del aire acondicionado y la refrigeración aumenten un 90% con respecto a los niveles de 2017.

Según un estudio previo (Mendoza, 2019), las 4 áreas principales de consumo eléctrico de la Facultad son: iluminación, climatización, piso tecnológico y equipamiento informático y multimedial, destinando el 28% del consumo eléctrico anual al área de climatización. Se estima que, en la actualidad, este valor es mayor debido a la incorporación de equipos de aire acondicionado.

De la observación in situ respecto al uso de la energía eléctrica por parte de la comunidad educativa se detectan algunos problemas puntuales. Con respecto a la iluminación se observa que:

- Todos los espacios (aulas, boxes docentes, oficinas, otros) son utilizados con iluminación artificial, debido a las características arquitectónicas y culturales (por ejemplo, las ventanas permanecen cerradas por seguridad)
- Por lo general, las aulas vacías suelen quedar con las luces encendidas

Con respecto a la climatización se observa que:

- Todos los espacios tienen equipos de aire acondicionado y son usados de forma intensiva en época estival
- en las aulas solamente se encienden los equipos para el dictado de clases; sin embargo, con frecuencia quedan en funcionamiento después de clases

- Por su ubicación en la estructura del edificio, existen aulas y boxes que tienen una prolongada exposición solar, por consiguiente, sus envolventes absorben la radiación y la transfieren al interior configurando ambientes muy calurosos.

A fin de contribuir al uso sustentable de la energía eléctrica en la Facultad, actualmente se implementa el proyecto 3075/0 (Res CCI 084/2024, aprobado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta) denominado "Desarrollo experimental de una red IoT en un edificio educativo".

OBJETIVOS

El propósito del proyecto es constituir una acción en favor de la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente. Así el objetivo principal es aplicar las tecnologías emergentes, a modo experimental, para el uso inteligente y sustentable de la energía eléctrica de una institución universitaria ubicada en una región del norte del país con características de clima cálido húmedo y extensos e intensos periodos estivales.

DESARROLLO/RESULTADOS

El proyecto incluye las siguientes etapas:

1) Estudio del uso de la energía eléctrica y su relación con las condiciones del uso de los diferentes espacios (aulas, boxes, oficinas)
2) Análisis y selección de los equipos y tecnologías más adecuadas al caso
3) Diseño e implementación de la plataforma de hardware y de software
4) Prueba y puesta en marcha

A modo experimental, se seleccionan tres espacios representativos (aula-taller, box docente y pasillo externo) de uso intensivo de 08 a 22 hs. De modo particular, en el interior del box docente se encuentra un pequeño jardín vertical (2 m^2) instalado en octubre del año 2023, y en el pasillo externo, 2 jardines verticales (8 m^2).

Se desarrolla el sistema FROSUS, a modo prototipo, cuya plataforma de hardware y software están basadas en las tecnologías IoT, Cloud Computing, Arduino, y otras. El sistema incluye las siguientes funciones:

- En cuanto a iluminación: apagado inteligente de las luminarias cuando no se detecte presencia, encendido y apagado "manos libres", encendido y apagado en forma remota (mediante una app para dispositivo móvil)
- En cuanto a la climatización: apagado inteligente de los equipos de aire acondicionado cuando no se detecte presencia, encendido y apagado en forma remota (mediante una app)
- En cuanto a la ventilación del ambiente: en época estival, refrescamiento natural inteligente cuando la temperatura interior supere a la exterior.

Además, se acopla a FROSUS el sistema de riego inteligente de los jardines verticales interior y exterior, cuya modalidad, dosificación y frecuencia responden al mes del año y el clima (por ejemplo, no riega los jardines exteriores cuando llueve).

FROSUS integra 4 subsistemas (Figura 1) y está compuesto por:

- dispositivos IoT para la iluminación, climatización, ventilación y riego
- notebook configurada como servidor local
- dispositivos móviles.

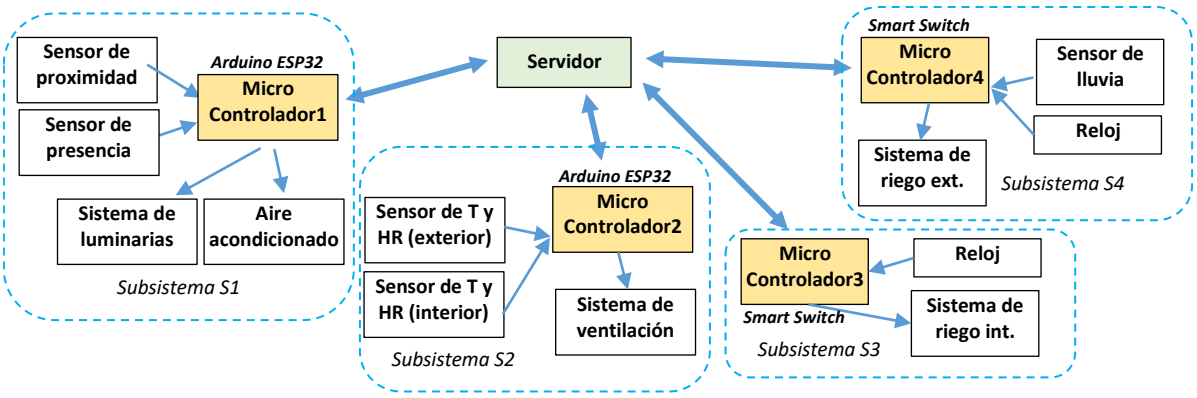


Figura 1 – Plataforma de hardware del sistema FROSUS.

La plataforma del software de FROSUS integra:

- Sistema ECO-FRO, en donde se configura el uso inteligente y sustentable
- Servidores SQL, APACHE+MySQL, Node-red
- Broker Mosquitto y protocolo MQTT
- Sketchs en entorno arduino para cada subsistema
- Mensajería con Telegram
- App para los dispositivos móviles
- Plataforma Tuya/SmartLife.

El avance actual de FROSUS es del 70%, y contempla el uso sustentable de la energía eléctrica para iluminación y climatización, y del agua para riego de los jardines verticales. Es la primera experiencia concreta a nivel ciudad e instituciones educativas.

CONCLUSIONES

El aporte principal de este proyecto es la aplicación de tecnologías emergentes para contribuir al uso sustentable de la energía eléctrica en espacios educativos con funcionamiento y horarios heterogéneos. Su replicación en otras instituciones es totalmente factible.

Se plantea a futuro la incorporación de Data Science e Inteligencia Artificial para procesar los datos almacenados en el servidor local, analizar tendencias y comportamientos y mejorar el sistema. Así también, se propone incorporar equipos fotovoltaicos para el área de iluminación y la plataforma de FROSUS.

CITAS Y REFERENCIAS

Mendoza, D. (2019). Acondicionamiento bioclimático de la Sede de la Universidad Nacional de Salta en la ciudad de Orán. Dirección URL: <https://riunsa.unsa.edu.ar/items/fc1b0d4d-6a2a-45df-96b2-468ad22a73fe>[consulta: 20 de julio de 2026]
IPCC (2023). Sexto informe. Dirección URL:
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter02.pdf>
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-6/#UNDESA--2018> [consulta: 25 de julio de 2026]
Sarmiento Barbieri N.; Belmonte S.; Dellicompagni P.; Franco J.; Escalante K. (2.017). Atlas de Radiación Solar de la Provincia de Salta. Sistema de Información Geográfico Digital. Grupo Planificación Energética y Gestión Territorial. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional. CONICET- U.N.Sa. Salta. Argentina.
SMN (2026). Servicio Meteorológico Nacional, Datos abiertos. Dirección URL: < https://www.smn.gob.ar/>. [consulta: 31 de julio de 2026]
ONU (2026). Datos y cifras. Dirección URL: https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures [consulta: 25 de julio de 2026]

CONSOLIDACIÓN DE CAPACIDADES DE INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EDILICIA MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA EXPERIMENTAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Cervera, C.; Mateo, F.
Laboratorio de Eficiencia Energética (LEFE) - Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE) - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) - Universidad Nacional de Rosario (UNR)
Santa Fe
ccervera@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

La creciente implementación de políticas públicas en Argentina orientadas a la eficiencia energética edilicia ha incrementado la necesidad de disponer de información experimental confiable sobre las propiedades térmicas de los materiales de construcción que conforman las envolventes térmicas de las edificaciones. En este contexto, la caracterización térmica mediante ensayos físicos constituye una herramienta fundamental para generar evidencia experimental que complemente las metodologías de evaluación y simulación energética.

A partir de la incorporación de un medidor de flujo de calor, adquirido mediante una convocatoria provincial de fortalecimiento de infraestructura científica, se inició una línea de investigación dedicada a la caracterización térmica experimental de materiales de construcción.

El presente trabajo expone los avances alcanzados durante esta primera etapa de desarrollo, poniendo el foco en la consolidación de la línea de investigación más que en la presentación de resultados específicos. En particular, se describen las actividades desarrolladas en investigación, la colaboración con otros grupos de trabajo, la vinculación con el sector productivo, la incorporación de las prácticas experimentales en la formación de grado y la generación de información experimental sobre materiales de construcción.

Los avances obtenidos evidencian que la disponibilidad de esta infraestructura permitió consolidar una línea de investigación con proyección de crecimiento, capaz de generar evidencia experimental para estudios sobre comportamiento térmico de materiales, contribuir a futuras investigaciones en eficiencia energética edilicia y fortalecer la articulación entre investigación, docencia y vinculación tecnológica.

INTRODUCCIÓN

La mejora del desempeño energético de los edificios constituye uno de los principales desafíos para avanzar hacia un modelo de construcción más sustentable. En este contexto, la investigación sobre el comportamiento térmico de los materiales de

construcción adquiere un papel estratégico, ya que las herramientas de evaluación y simulación energética requieren propiedades físicas confiables para representar adecuadamente el comportamiento de la envolvente edilicia. La determinación experimental de estas propiedades mediante ensayos físicos normalizados aporta evidencia objetiva sobre el comportamiento real de los materiales y constituye un complemento indispensable para el desarrollo de investigaciones en eficiencia energética.

En Argentina, el creciente impulso de políticas públicas orientadas a la eficiencia energética de edificios ha incrementado la necesidad de contar con información experimental representativa de los materiales y componentes constructivos utilizados en las edificaciones de la región. En este contexto, el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas (PRONEV) constituye una iniciativa orientada a establecer un sistema de evaluación y certificación del desempeño energético de viviendas a nivel nacional, que requiere una adecuada caracterización de la envolvente edilicia y sus componentes. En la ciudad de Rosario, la Ordenanza N.° 8757 Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética en las Construcciones, vigente desde 2011, incorpora criterios de eficiencia energética en las edificaciones. En 2019, la Provincia de Santa Fe avanzó con la Ley N.° 13.903 de Etiquetado de Eficiencia Energética de Inmuebles Destinados a Vivienda, consolidando un marco normativo provincial orientado a la evaluación del desempeño energético de las viviendas.

Frente a este escenario, el Laboratorio de Eficiencia Energética (LEFE) del Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), incorporó un medidor de flujo de calor de placa caliente FOX 801, adquirido mediante la convocatoria PEICE2022-022 del Programa de Equipamiento de Ciencia y Tecnología (PEICE), destinado al fortalecimiento de infraestructura científica. La disponibilidad de este equipamiento permitió formular un proyecto de investigación: “Caracterización térmica de materiales y componentes de la construcción y su impacto en la eficiencia energética de las edificaciones” (PID-UNR-SECYT 800-202207-00084-UR), dando origen a una línea de investigación dedicada a la generación de evidencia experimental sobre materiales utilizados en el contexto regional.



Figura 1. Medidor de Flujo de calor FOX 801. Fuente: Elaboración Propia.

Con este proyecto de investigación cuatrienal y a partir de esta infraestructura fue posible desarrollar protocolos de ensayo, conformar una base de datos experimental y participar en otros proyectos de investigación vinculados con el desempeño energético de materiales y componentes constructivos. Paralelamente, la infraestructura comenzó a ser utilizada en proyectos de vinculación tecnológica y actividades de formación de estudiantes, ampliando significativamente el alcance previsto inicialmente.

El presente trabajo expone los avances alcanzados durante esta primera etapa de desarrollo de la línea de investigación, poniendo el énfasis en las capacidades científicas generadas y en su potencial contribución a la investigación en eficiencia energética edilicia.

OBJETIVOS

Presentar los avances alcanzados en el desarrollo de una línea de investigación dedicada a la caracterización térmica experimental de materiales de construcción, surgida a partir de la incorporación de un medidor de flujo de calor, analizando las capacidades científicas desarrolladas, su articulación con proyectos de investigación, la vinculación tecnológica y su aporte experimental en la formación de estudiantes de grado de las carreras vinculadas a la construcción.

DESARROLLOS / RESULTADOS

La incorporación del medidor de flujo de calor FOX 801 permitió implementar, dentro del LEFE, una capacidad experimental destinada a la determinación de propiedades térmicas de materiales y componentes constructivos mediante ensayos físicos. Esta infraestructura posibilitó el desarrollo de protocolos experimentales, la capacitación de recursos humanos y la organización de procedimientos sistemáticos para la obtención y registro de información.

El proyecto de investigación que dio origen a esta línea de trabajo tuvo como propósito inicial caracterizar materiales de construcción utilizados en el ámbito regional, generando datos experimentales que contribuyeran al estudio del desempeño

energético de la envolvente edilicia. Sin embargo, la disponibilidad de esta infraestructura permitió ampliar progresivamente su alcance.

El laboratorio ha participado en proyectos de investigación relacionados con materiales tradicionales y también en nuevos materiales como los derivados de residuos de procesos industriales o los biomateriales, orientados a mejorar el comportamiento térmico de edificios. Paralelamente, distintos grupos de investigación comenzaron a incorporar el equipamiento disponible en sus propios proyectos, consolidando un espacio de trabajo compartido para la obtención de resultados experimentales.

La infraestructura también fue utilizada en actividades de vinculación tecnológica mediante la caracterización experimental de materiales y componentes desarrollados por empresas del sector productivo y por otras instituciones vinculadas al ámbito científico-tecnológico. Estas actividades permitieron fortalecer la interacción entre la universidad y el medio, aportando información experimental para procesos de investigación, desarrollo e innovación, preservando la confidencialidad de los desarrollos involucrados.

Otro aspecto positivo ha sido la incorporación de esta infraestructura a las actividades de formación de recursos humanos. Los ensayos experimentales comenzaron a formar parte de actividades de investigación desarrolladas por estudiantes en espacios curriculares electivos y en las prácticas de la asignatura Construcciones Bioclimáticas de la carrera de Ingeniería Civil (FCEIA-UNR), fortaleciendo la integración entre investigación y docencia.



Figura 2. Prácticas con estudiantes de la asignatura Construcciones Bioclimáticas Fuente: Elaboración Propia.

Las perspectivas de continuidad de esta línea de investigación incluyen la ampliación de la base de datos experimental de materiales de construcción disponibles en el

mercado nacional, el fortalecimiento de proyectos colaborativos con otras instituciones, la caracterización de nuevos materiales y componentes destinados a mejorar la eficiencia energética edilicia y la generación de información experimental que contribuya al desarrollo de futuras investigaciones relacionadas con la evaluación del desempeño energético de edificios.

Actividades de participación del LEFE, según el tipo de proyecto y sectores involucrados:

	TIPO DE ACTIVIDAD	AÑO	EMPRESA/INSTITUCION	ACTIVIDAD DESARROLLADA
(VINCULACIÓN TECNOLÓGICA	TECNOPYMES (Ministerio de Producción, Ciencia y Tecnología de Santa Fe)	2023	TODOPOR SRL	Caracterización térmica de una muestra de contrapiso de hormigón con capa de EPS (poliestireno expandido), a través de ensayo físico para la determinación de transmitancia térmica.
	TECNOINDUSTRIA (Ministerio de Desarrollo Productivo de la Provincia de Santa Fe)	2024	TODOPOR SRL	Asesoramiento en el diseño y medición de la transmitancia térmica de una muestra de contrapiso aislado para vivienda, que cumpla con los requerimientos exigidos por la Ordenanza Municipal de Rosario 8757 "Aspectos Higrotérmicos y Eficiencia Energética"
			PREMECOL SRL	Ensayo de medición de la conductividad térmica de nuevo producto: mortero para revoque con ligantes alternativos al cemento.
			MONDINO SRL	Ensayo de medición de la conductividad térmica de una muestra de un nuevo material aislante utilizado en la producción de exhibidores refrigerados para el almacenamiento de alimentos.
			ING. EN MORTEROS SRL	Ensayo de medición de la conductividad térmica de revoque termoaislante mediante equipo medidor de flujo de calor de placa caliente.
			CARTON GRIS SRL	Ensayo de medición de la conductividad térmica de una muestra de placa aislante fabricada a partir de residuos de un proceso de producción.
		2025	SINERGIA SERVICIOS SRL	Ensayo de medición de la conductividad térmica de panel de hormigón celular “Amazonia” mediante equipo medidor de flujo de calor de placa caliente
			CASA LISTA SRL	Ensayo de medición de conductividad térmica de una muestra de “panel exterior para vivienda modular”.
			CHAPAS OROÑO SRL	Ensayo de medición de la conductividad térmica de un panel isotérmico de chapa y poliestireno expandido (EPS) para cubierta de techo.
		2026	CORPORACION SCG 1887	Ensayo de Medición de la Transmitancia Térmica de un prototipo de panel de PVC alveolar estruído y láminas metálicas, para muro y cubierta de techo de viviendas.
			CONSTRUCCIONES SCG	Ensayo de medición de conductividad térmica de un nuevo biomaterial compuesto por raíces de avena, para aislación térmica en edificaciones.

			CARLOS PILI	Ensayo de Medición de la Transmitancia Térmica de un prototipo de panel aislante para edificaciones, compuesto de placas de OSB y fibra de celulosa.
	TRABAJOS CON EMPRESAS PRIVADAS	2023 2026	FABRICANTES DE MATERIALES	Ensayos de Medición de Conductividad Térmica a Empresas. No publicables por Contrato de confidencialidad.

Tabla 1. Actividades de vinculación tecnológica desarrolladas por el LEFE mediante ensayos de caracterización térmica. Fuente: Elaboración propia.

	DETALLE	AÑO	INSTITUCIÓN	TÍTULO
INVESTIGACIÓN	Proyecto de Investigación 80020220700084UR (RESOLUCIÓN C.S. N° 335/2023)	2023	UNR	Caracterización térmica de materiales y componentes de la construcción y su impacto en la eficiencia energética de las edificaciones
	Ejercicio Interlaboratorio	2025	Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI).	Participación en un ejercicio interlaboratorio de intercomparación de resultados de ensayos de conductividad térmica con laboratorios nacionales e internacionales.
PUBLICACIONES DE PRESENTACIONES EVENTOS CIENTIFICOS	XVII Jornadas de Ciencias, Tecnologías e Innovación de la Universidad Nacional de Rosario	2023	UNR	Medición de la conductividad térmica de materiales de la industria y la construcción
	Jornadas de Experiencias Innovadoras en Educación en la FCEIA		FCEIA - UNR	Interacción entre los ejes de docencia e investigación. Un aporte hacia el cumplimiento de los ODS en la carrera de Ingeniería Civil.
	Libro de Resúmenes XLV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente		FCEIA - UNR	Determinación experimental de conductividades térmica de materiales de la construcción. Primeros resultados.
	Libro de Resúmenes XLVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente	2024	Centro Experimental de la Producción -FADU-UBA. Escuela de Hábitat y Sostenibilidad - UNSAM. FCEIA - UNR	Capacidad aislante térmica de nuevos productos cementicios para la construcción basados en residuos: desafíos experimentales.
FORMACIÓN RECURSOS HUMANOS	Asignatura Electiva: Construcciones Bioclimáticas Espacio Curricular Electivo. Estudiantes de Carrera Ingeniería Civil: Patricio Sagarraga y Mateo Calvo	2023	FCEIA-UNR	Protocolo para ensayo de conductividad térmica de materiales con equipo medidor de flujo de calor Fox Lasercomp (FOX 801).

Tabla 2. Actividades de investigación, difusión científica y formación de recursos humanos vinculadas al desarrollo de la línea de caracterización térmica. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La incorporación del medidor de flujo de calor FOX 801 permitió desarrollar una capacidad experimental inédita en el ámbito de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, dando origen a una

línea de investigación dedicada a la caracterización térmica experimental de materiales de construcción.

Los avances alcanzados durante esta primera etapa muestran que la disponibilidad de infraestructura científica especializada constituye un elemento estratégico para la generación de evidencia experimental que respalde investigaciones sobre eficiencia energética edilicia. Asimismo, la utilización de esta infraestructura en proyectos de investigación, actividades de vinculación tecnológica y procesos de formación de recursos humanos evidencia su potencial como plataforma para el desarrollo de nuevas investigaciones.

En un contexto de creciente implementación de políticas públicas vinculadas a la eficiencia energética de edificios, la consolidación de capacidades experimentales para la caracterización de materiales representa una contribución significativa al fortalecimiento de la investigación aplicada y a la generación de conocimiento sobre el comportamiento térmico del ambiente construido.

REFERENCIAS

Secretaría de Energía. (2023). Resolución N.° 5/2023. Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas (PRONEV). Ministerio de Economía de la Nación, República Argentina.

Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2022). Programa de Equipamiento de Ciencia y Tecnología (PEICE). Convocatoria PEICE2022-022. Santa Fe, Argentina.

Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2019). Ley Provincial N.° 13.903: Etiquetado de Eficiencia Energética de Inmuebles Destinados a Vivienda. Santa Fe, Argentina.

Municipalidad de Rosario. (2011). Ordenanza N.° 8757: Aspectos Higrotérmicos y Demanda Energética en las Construcciones. Rosario, Argentina.

DE LA HUELLA DE CARBONO A LA ACCIÓN CLIMÁTICA: ESTRATEGIA INSTITUCIONAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES Y FORESTACIÓN PARTICIPATIVA EN LA UNIVERSIDAD DE FLORES

Faggi, A.; Figueira, A.; Iglesias, G. Y.
Universidad de Flores (UFLO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
gabriela.iglesias@uflouniversidad.edu.ar

RESUMEN

La huella de carbono organizacional permite reconocer de dónde provienen las emisiones de gases de efecto invernadero y convertir esa información en una herramienta para la toma de decisiones. El presente trabajo analiza la experiencia de la Universidad de Flores a partir de la elaboración de su inventario de gases de efecto invernadero correspondiente al año 2024. El estudio se realizó siguiendo los lineamientos de la norma IRAM-ISO 14064-1:2020 e incluyó cinco sedes: Pedernera, San Miguel, Neuquén Alto, Neuquén Bajo y Cipolletti. Se relevaron emisiones directas asociadas con el consumo de gas natural, el uso de diésel y las pérdidas de gases refrigerantes, así como emisiones indirectas vinculadas con la electricidad adquirida de la red. La huella calculada fue de 187 tCO_2e. El consumo de gas natural destinado a calefacción en las sedes patagónicas constituyó la principal fuente, con 101,45 tCO_2e, equivalentes al 54 % del total. A partir de este diagnóstico se diseñó una estrategia institucional que integra medidas de reducción, desarrollos tecnológicos y participación comunitaria. Entre las iniciativas propuestas se encuentra el Proyecto “Los 1000 Árboles de UFLO”, orientado a promover la plantación colectiva de ejemplares por diferentes actores sociales del país, con registro, apadrinamiento y seguimiento mediante una plataforma. El trabajo presenta los fundamentos de la iniciativa, sus actores y un esquema de monitoreo que permitirá evaluar la supervivencia de los árboles y estimar, de manera progresiva, las remociones de carbono. Se concluye que la medición de la huella permitió pasar de un diagnóstico ambiental a una agenda concreta de acción climática, aunque la reducción directa de emisiones debe conservarse como prioridad y las remociones futuras deben cuantificarse antes de afirmar una compensación efectiva.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático plantea un desafío que atraviesa a gobiernos, empresas, organizaciones sociales e instituciones educativas. Las universidades ocupan un lugar particular: además de formar profesionales y producir conocimiento, administran edificios, consumen energía, generan residuos y movilizan diariamente a sus comunidades. Por ese motivo, su compromiso climático no puede limitarse a los contenidos que enseñan; también debe reflejarse en la manera en que conocen y gestionan sus propios impactos.

La huella de carbono organizacional reúne y expresa en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) las emisiones de los distintos gases de efecto invernadero asociados con el funcionamiento de una organización. La norma ISO 14064-1 establece principios y requisitos para diseñar, desarrollar, gestionar y reportar inventarios organizacionales de emisiones y remociones [1]. En la misma línea, el GHG Protocol señala que el inventario debe ser útil para identificar fuentes relevantes, mejorar la consistencia de la información y orientar estrategias de gestión y reducción [2]. La medición, por lo tanto, no constituye un fin en sí mismo. Su verdadero valor aparece cuando permite establecer prioridades y sostener decisiones en el tiempo.

Las universidades han comenzado a incorporar metodologías de gestión ambiental basadas en inventarios de gases de efecto invernadero, eficiencia energética, economía circular y estrategias de adaptación climática. Sin embargo, diversos estudios coinciden en que la cuantificación de la huella de carbono representa únicamente la primera etapa de un proceso continuo de mejora. El verdadero desafío consiste en traducir la información obtenida en decisiones de gestión que permitan reducir emisiones, fortalecer la resiliencia institucional y generar beneficios ambientales verificables mediante indicadores de desempeño (UNEP, 2023; EAUC, 2021) [3,4].

Durante 2025, la Universidad de Flores consolidó los datos correspondientes a su huella de carbono institucional del año 2024. El relevamiento permitió conocer la magnitud de las emisiones incluidas dentro del límite definido para el inventario, comparar las fuentes y reconocer el peso que tiene el consumo energético de las sedes ubicadas en diferentes contextos climáticos. El resultado abrió una pregunta concreta dentro de la comunidad universitaria: ¿qué hacer con esa información?

La respuesta comenzó a construirse a partir de una lógica gradual. En primer lugar, evitar y reducir las emisiones sobre las que la institución posee capacidad de intervención. En segundo lugar, impulsar desarrollos que acerquen las energías renovables y la eficiencia a la vida cotidiana universitaria. Finalmente, promover una iniciativa colectiva de forestación que vincule a la Universidad con actores sociales de distintas regiones del país. Así surgió el Proyecto “Los 1000 Árboles de UFLO”, concebido no como una plantación aislada, sino como un programa de participación, apadrinamiento, registro y seguimiento.

El proyecto retoma el espíritu de iniciativas internacionales de movilización social en torno a la plantación, como la Campaña de los Mil Millones de Árboles impulsada originalmente por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [5], y experiencias nacionales de articulación ciudadana. Sin embargo, procura dar un paso adicional: que cada ejemplar tenga una identidad dentro de una plataforma y que su permanencia pueda comprobarse. Esta trazabilidad es indispensable porque plantar un árbol no equivale, por sí solo, a compensar una cantidad determinada de emisiones. En consecuencia, el presente trabajo propone un enfoque integrado en el cual la medición de la huella de carbono constituye el punto de partida para diseñar

una estrategia institucional de reducción de emisiones y contribución climática, complementada mediante una iniciativa de forestación participativa, monitoreo y vinculación con la comunidad.

OBJETIVOS

Analizar los resultados del inventario institucional de gases de efecto invernadero de la Universidad de Flores correspondiente al año 2024 y presentar, a partir de este diagnóstico, el diseño de una estrategia institucional de reducción de emisiones y contribución climática que incorpora el Programa 1000 Árboles de UFLO como iniciativa de forestación participativa, monitoreo y vinculación con la comunidad.

DESARROLLO/RESULTADOS

El presente trabajo se desarrolló como un estudio de caso descriptivo y aplicado, estructurado en dos fases metodológicas complementarias. La primera correspondió a la elaboración del inventario institucional de gases de efecto invernadero de la Universidad de Flores, mientras que la segunda consistió en el diseño de una estrategia institucional de acción climática basada en la reducción de emisiones y en la incorporación de Soluciones Basadas en la Naturaleza, materializadas a través del Programa "Los 1000 Árboles de UFLO".

En la Fase I, se elaboró el inventario institucional de gases de efecto invernadero correspondiente al período comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2024. Se siguieron los lineamientos de la norma IRAM-ISO 14064-1:2020, adopción nacional de la ISO 14064-1:2018, y se relevaron las sedes Pedernera y San Miguel, en el Área Metropolitana de Buenos Aires, y Neuquén Alto, Neuquén Bajo y Cipolletti, en la Patagonia.

Dentro del límite operativo establecido se consideraron dos categorías. La categoría 1 reunió las emisiones directas originadas en fuentes controladas por la Universidad: consumo de gas natural para calefacción, uso de diésel en vehículos institucionales y grupos electrógenos, y emisiones fugitivas de gases refrigerantes provenientes de equipos de aire acondicionado y refrigeración. La categoría 2 incluyó las emisiones indirectas asociadas con la electricidad adquirida de la red.

Para cada fuente se recopilaron datos de actividad, tales como metros cúbicos de gas natural, litros de combustible, kilovatios hora de electricidad y kilogramos de refrigerante repuesto. Las emisiones se calcularon multiplicando el dato de actividad por el factor de emisión correspondiente y, cuando resultó necesario, por el potencial de calentamiento global del gas. Los resultados se expresaron en tCO_2e. También se revisó la calidad de la información y la incertidumbre asociada con la disponibilidad de comprobantes, registros de consumo y estimaciones técnicas.

El valor obtenido representa las fuentes incluidas en las categorías 1 y 2 del límite definido. No incorpora todavía otras emisiones indirectas potencialmente relevantes, como los desplazamientos cotidianos de estudiantes y personal, los viajes laborales,

la adquisición de bienes y servicios o la gestión externa de residuos. Esta delimitación no invalida el diagnóstico, pero debe explicitar para evitar interpretar las 187 tCO_2e como la totalidad absoluta de los impactos climáticos de la Universidad. La ampliación gradual del inventario constituye una línea de mejora para futuras mediciones.

La Fase II consistió en el diseño de una estrategia institucional de reducción de emisiones y contribución climática derivada de los resultados obtenidos en el inventario. Como principal línea de acción se formuló el Programa "Los 1000 Árboles de UFLO", concebido como una Solución Basada en la Naturaleza destinada a complementar las acciones de reducción de emisiones mediante el fortalecimiento de la infraestructura verde urbana. El programa prevé la plantación progresiva de especies prioritariamente nativas, articulando la participación de la comunidad universitaria, organismos públicos, instituciones educativas, organizaciones sociales y actores privados comprometidos con la sustentabilidad.

Con el propósito de garantizar la transparencia y la evaluación continua del proyecto, se diseñó un sistema de trazabilidad sustentado en una plataforma digital para el registro georreferenciado de cada ejemplar, incorporando información sobre especie, localización, responsable de la plantación, estado sanitario y monitoreo periódico. Asimismo, el programa contempla instancias de capacitación técnica para voluntarios, jornadas de forestación y el desarrollo de indicadores que permitan evaluar la supervivencia de los ejemplares y estimar progresivamente la captura potencial de carbono, integrando la investigación científica con actividades de extensión universitaria y educación ambiental.

RESULTADOS DE LA HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono calculada para 2024 fue de 187 tCO_2e. La fuente de mayor contribución fue el consumo de gas natural utilizado para calefacción en las sedes patagónicas, con 101,45 tCO_2e, equivalente al 54 % del total institucional. Las restantes fuentes incluidas (energía eléctrica, combustibles líquidos, grupos electrógenos y gases refrigerantes) representaron en conjunto 85,55 tCO_2e, es decir, el 46 % restante.

El resultado evidencia que la localización y las condiciones climáticas de las sedes influyen de manera directa en el perfil de emisiones institucionales. La demanda de calefacción de Neuquén y Cipolletti no puede analizarse con los mismos criterios que la de las sedes del Área Metropolitana de Buenos Aires. Esta diferencia obliga a combinar una política común de gestión energética con soluciones adaptadas a cada edificio.

La identificación del gas natural como fuente prioritaria orienta las primeras acciones hacia el control de temperaturas, el mantenimiento de los sistemas de calefacción, la reducción de pérdidas térmicas, la mejora de aberturas y envolventes y, cuando resulte técnica y económicamente viable, la sustitución progresiva de equipos por alternativas más eficientes. La comparación anual de consumos deberá permitir

comprobar si estas intervenciones producen reducciones reales y no solamente mejoras percibidas.

Tabla 1. Síntesis de los resultados de la huella de carbono UFLO 2024.

Fuente	Emisiones (tCO_2e)	Participación
Gas natural para calefacción en sedes patagónicas	101,45	54 %
Restantes fuentes incluidas en el inventario	85,55	46 %
Total	187,00	100 %

DE LA MEDICIÓN A UNA ESTRATEGIA DE ACCIÓN

A partir del inventario se propuso organizar la acción institucional siguiendo una secuencia sencilla: medir, evitar, reducir, generar remociones y comunicar. Este orden es relevante. Las plantaciones no deben utilizarse para postergar medidas sobre consumos que la propia Universidad puede gestionar. Por el contrario, la forestación adquiere mayor legitimidad cuando complementa un programa verificable de reducción.

Entre las propuestas de infraestructura y sensibilización se encuentran acciones concretas de optimizar la infraestructura a partir del diseño de eficiencia energética y térmica, campañas de concientización sobre el uso racional de los recursos y el Proyecto “Los 1000 Árboles de UFLO”, el cual nace con la intención de articular a la comunidad UFLO con organizaciones, instituciones educativas, gobiernos locales y personas de diferentes puntos del país. La meta de los 1000 árboles funciona como motivador social, pero el resultado no se evaluará solamente por la cantidad de ejemplares plantados. Un árbol que no sobrevive, que se ubica en un sitio inadecuado o que carece de mantenimiento difícilmente pueda desarrollarse y actuar como removedor de dióxido de carbono, así como tantas otras funciones de servicios urbanos que ofrecen. Por esto, la iniciativa contempla tres grupos de actores. Los organizadores coordinan la convocatoria, establecen criterios técnicos y administran la plataforma. Los aportantes o donantes facilitan árboles, insumos, espacios o recursos para la plantación. Los padrinos que asumen el compromiso de acompañar cada ejemplar, informar su evolución y colaborar con su cuidado.

Dentro de la estrategia del proyecto, cada árbol deberá contar con un registro único que incluya, como mínimo, fecha de plantación, ubicación, especie, origen del ejemplar, actor responsable, fotografías y observaciones sobre su estado. Cuando sea posible, se incorporarán coordenadas geográficas, altura, diámetro del tronco y fecha de cada actualización. La selección de especies deberá priorizar ejemplares nativos o adecuados a las condiciones ecológicas locales, evitando decisiones homogéneas para territorios con climas, suelos y disponibilidad de agua diferentes.

La plataforma cumple una doble función. Por un lado, hace visible la participación colectiva y permite que cada persona reconozca el árbol que apadrina. Por otro, construye una base de datos para conocer la supervivencia, detectar necesidades de reposición y estimar el crecimiento. Esta segunda función es la que transforma una campaña de plantación en un programa con posibilidades reales de seguimiento.

La forestación y la reforestación son reconocidas como métodos biológicos de remoción de dióxido de carbono, pero su contribución depende de la acumulación y permanencia del carbono en la biomasa y en otros reservorios [6]. Las remociones ocurren a lo largo del tiempo y varían según la especie, la edad, el clima, el suelo, el manejo y la supervivencia. Por esta razón, no resulta técnicamente correcto dividir las 187 tCO_2e por 1000 árboles y considerar compensada la huella. Primero deberá consolidarse el registro y luego aplicarse una metodología de cuantificación coherente con los datos disponibles.

El Proyecto 1000 Árboles se propone como una contribución climática institucional y no como un programa formal de créditos de carbono. No se prevé comercializar reducciones ni adquirir unidades externas para declarar neutralidad.

SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

El sistema de evaluación del Programa fue diseñado para integrar indicadores ambientales, técnicos, educativos y de participación social. Además de registrar la supervivencia y reposición de los ejemplares, se relevarán variables asociadas a la diversidad de especies implantadas, cantidad de instituciones participantes, número de voluntarios capacitados, jornadas de plantación realizadas y cobertura territorial alcanzada. Estos indicadores permitirán evaluar no sólo el desempeño ecológico del Programa, sino también su contribución a las funciones de docencia, investigación y extensión universitaria.

En etapas posteriores, una vez que se disponga de series temporales suficientes sobre crecimiento de los ejemplares, se incorporarán modelos alométricos y factores de expansión de biomasa para estimar las remociones de carbono generadas por las plantaciones. Paralelamente, la plataforma permitirá publicar informes periódicos sobre el avance del Programa, integrando los resultados del inventario de gases de efecto invernadero, las acciones de mitigación implementadas, las actividades de capacitación, las alianzas institucionales desarrolladas y el estado de conservación de las plantaciones. Este enfoque fortalece la transparencia institucional y favorece la toma de decisiones basada en evidencia científica.

CONCLUSIONES

La medición de la huella de carbono institucional correspondiente al año 2024 permitió a la Universidad de Flores disponer de una primera referencia cuantitativa para orientar su estrategia de gestión climática. El resultado obtenido, de 187 tCO_2e, y la identificación del consumo de gas natural en las sedes patagónicas como principal fuente de emisiones (101,45 tCO_2e; 54 % del total), señalaron con claridad los

sectores donde deben concentrarse prioritariamente las acciones de reducción. Este diagnóstico constituye una base objetiva para la toma de decisiones, superando la implementación de acciones ambientales aisladas y permitiendo avanzar hacia una planificación institucional sustentada en evidencia.

El principal aporte de la experiencia no reside únicamente en la cuantificación de las emisiones, sino en la transformación de esa información en una estrategia integral de acción climática. En este sentido, el Programa " Los 1000 Árboles de UFLO" representa una instancia de transferencia de los resultados de la investigación hacia el territorio, integrando educación ambiental, participación comunitaria, extensión universitaria e innovación en la gestión institucional. Su diseño incorpora criterios de trazabilidad, monitoreo, capacitación, articulación con organizaciones sociales e instituciones educativas, promoviendo un modelo de gobernanza ambiental que trasciende la plantación de árboles y fortalece la construcción colectiva de soluciones frente al cambio climático.

Asimismo, el Programa genera oportunidades para consolidar redes de cooperación con organismos públicos, viveros, reservas naturales, empresas e instituciones educativas, favoreciendo el desarrollo de prácticas profesionales, actividades de investigación aplicada y acciones de sensibilización ambiental. Estas características posicionan al proyecto como una herramienta de vinculación territorial capaz de integrar la generación de conocimiento científico con la implementación de acciones concretas de reducción de emisiones, forestación participativa y contribución climática.

La compensación efectiva de la huella de carbono no puede afirmarse en esta etapa. Para ello será necesario demostrar la supervivencia, el crecimiento y la permanencia de los ejemplares implantados, así como cuantificar las remociones de carbono mediante metodologías científicas validadas, manteniendo claramente diferenciadas las reducciones directas de emisiones de las capturas biológicas. Reconocer estas limitaciones no debilita la propuesta; por el contrario, le otorga rigor metodológico y establece una hoja de ruta verificable para el seguimiento de sus resultados.

Finalmente, esta experiencia pone de manifiesto la importancia de que las instituciones de educación superior desarrollen estrategias integrales de gestión ambiental universitaria, capaces de articular investigación, docencia, extensión y gestión institucional bajo un enfoque de mejora continua. En el caso de la Universidad de Flores, esta estrategia se sustenta en una trayectoria consolidada en investigación ambiental, eficiencia energética ambiental y desarrollo de soluciones tecnológicas para la sostenibilidad. En este contexto, el Programa "Los 1000 Árboles de UFLO" constituye una herramienta que fortalece ese recorrido institucional, promoviendo un modelo de acción climática basado en evidencia científica, participación social y compromiso con el desarrollo sostenible, con potencial de ser replicado en otras instituciones de educación superior.

CITAS Y REFERENCIAS

[1] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2020). IRAM-ISO 14064-1:2020. Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Buenos Aires: IRAM.
[2] World Resources Institute y World Business Council for Sustainable Development. (2004). The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. Disponible en: https://ghgprotocol.org/corporate-standard
[3] United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). Emissions Gap Report 2023. Nairobi: UNEP.
[4] EAUC – Environmental Association for Universities and Colleges. (2021). The Climate Commission for UK Higher and Further Education. Bristol, UK.
[5] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). Planting trees has never been easier! Disponible en: https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/planting-trees-has-never-been-easier
[6] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/

LABORATORIO DE ECOLOGÍA URBANA Y HERBARIO ELISA NICORA: DESARROLLO INSTITUCIONAL PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN LA UNIVERSIDAD CAECE

Lami, M. V.; Fernández Pepi, M. G.; Ferrero Holtz, E. W.
Departamento de Ciencias Exactas, Naturales y Ambientales - Universidad CAECE
Buenos Aires
mlami@caece.edu.ar

RESUMEN

Desde el año 2019, la Universidad CAECE trabaja para potenciar sus dos espacios dedicados a la botánica: el Laboratorio de Ecología Urbana y el Herbario Elisa Nicora.

El objetivo de este trabajo es fortalecer ambos espacios como lugares de intercambio entre el ámbito académico y la sociedad.

El Laboratorio de Ecología Urbana se encuentra en constante crecimiento y se desarrollan actividades interdisciplinarias, visitas guiadas, talleres de extensión y proyectos de investigación. El plan de acción a futuro contempla la incorporación de nuevas especies vegetales nativas y módulos demostrativos con estructuras ecoeducativas y la realización de talleres educativos sobre otros temas.

En el Herbario Elisa Nicora se realizan anualmente tareas de montaje e introducción de nuevos ejemplares. Para el año 2024, se efectuó el primer análisis de biodiversidad de la colección y actualmente integra la Red de Herbarios de Argentina. El plan de acción futuro incluye la actualización taxonómica, la digitalización con fotografías y el desarrollo de una exposición permanente dentro de la institución.

Estos espacios y las tareas que se llevan a cabo en ellos, contribuyen a la conservación de la biodiversidad y promueven la vinculación entre la Universidad y la sociedad para un desarrollo sostenible.

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2019, la Universidad Centro Altos Estudios en Ciencias Exactas (CAECE) trabaja para potenciar los dos espacios dedicados a la botánica.

Uno de ellos es el Laboratorio de Ecología Urbana. Situado en la terraza verde del octavo piso del edificio de la institución, cuenta con un jardín botánico estructurado para brindar nuevas oportunidades de aprendizaje a los estudiantes y de interacción con el ámbito de investigación.

El otro es el Herbario Elisa Nicora, esta colección lleva su nombre en honor a la botánica y agrostóloga argentina cuyo legado de investigación y publicaciones han trascendido a nivel nacional e internacional. Cuenta con más de 2300 ejemplares en

su base de datos que además se encuentra en línea disponible para consulta. El material vegetal que lo compone, en su mayoría, corresponde a plantas recolectadas provenientes de trabajos realizados por estudiantes de las materias Biología de Plantas Vasculares y Botánica Sistemática y Biodiversidad dictadas en la Universidad; y también por donaciones realizadas por el Herbario del Museo Botánico de Córdoba (CORD). Gracias a esto, en la colección pueden encontrarse desde ejemplares de un año de antigüedad hasta algunos de más de cien años.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es fortalecer al Laboratorio de Ecología Urbana y al Herbario Elisa Nicora como espacios de intercambio entre el ámbito académico y la sociedad.

DESARROLLO

El Laboratorio de Ecología Urbana es un área en constante crecimiento y actualización que se está poblando con especies nativas y microhábitats artificiales que cumplen un rol importante en el dictado de varias materias y trabajos de seminario de tesistas que se desarrollan en la Universidad. Se encuentra zonificado en cinco canteros, cada uno con una composición vegetal específica (Eudicotyledoneae, Monocotyledoneae o colecciones especiales) y propio cartel con código QR con información relevante.



A lo largo de los años, se ha trabajo de manera interdisciplinaria con otros departamentos académicos realizando visitas guiadas con actividades, publicaciones,

tareas de difusión y talleres de extensión escolares sobre temas asociados al rol de las plantas nativas en la sostenibilidad ambiental de las ciudades.

El plan de trabajo futuro abarca la finalización de trabajos finales de seminario de estudiantes, el desarrollo de otros talleres de extensión y la inclusión de nuevas especies vegetales nativas y módulos demostrativos con uso de estructuras ecoeducativas.



El trabajo que se lleva a cabo en el Herbario Elisa Nicora incluye la revisión física de los especímenes herborizados, su determinación taxonómica y montado. Los ejemplares se encuentran guardados en pliegos de papeles junto con una etiqueta identificatoria dentro de un armario metálico ubicado en un salón del segundo piso de la Universidad.

A nivel digital, la base de datos cuenta con un filtro de búsqueda integrado construido con macros, se amplía en número de ejemplares transcritos anualmente a medida que los cursos avanzan y se revisa taxonómicamente.

En el año 2024, se realizó el primer análisis de biodiversidad para conocer la composición de la colección. Este arrojó como resultado que la división Angiospermae es la más abundante y, por consiguiente, la que cuenta con más riqueza de especies herborizadas. En segundo lugar, se encuentra la división Gymnospermae seguida por

Monilophyta que es la menos representada. Con este estudio se confirmó también, que la mayoría de ellos fueron recolectados en la provincia de Buenos Aires. Al ser una colección mayoritariamente compuesta por herbarios de estudiantes, este patrón de recolección se debe también a que la Universidad se encuentra ubicada en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Actualmente, está inscrito dentro de la Red de Herbarios de Argentina (RedHAr) organizada por la Sociedad Argentina de Botánica.



El plan de trabajo futuro incluye digitalizar los ejemplares con fotografías y crear dinamismo en la base de datos para establecer un trabajo más fluido con otras instituciones dedicadas a la conservación e investigación. En este sentido, se está trabajando para actualizar la taxonomía periódicamente y completar la información de identificación de ejemplares incompletos. Igualmente, junto a profesionales de otras unidades académicas, se redactaron los primeros lineamientos con el objetivo de realizar una eventual exposición permanente de algunos ejemplares dentro de la biblioteca de la Universidad. Estos esfuerzos buscan abrirlo a la comunidad y adecuarlo también a los lineamientos propuestos para que sea un herbario reconocido a nivel internacional.

CONCLUSIÓN

Estos espacios son fundamentales para el desarrollo de estrategias de conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental, porque en ellos se colecciona y resguarda el patrimonio y diversidad vegetal natural. Como recursos han permitido la realización de varios trabajos de seminario, charlas educativas y la participación en

jornadas y congresos de investigación. Desde la Universidad CAECE, trabajamos en la formación de recursos humanos comprometidos con el desarrollo sostenible y buscamos abrir fuentes de investigación que involucren a los estudiantes de distintas carreras y a la sociedad bajo una perspectiva interdisciplinaria.

¿LOS FACTORES DE EMISIÓN DESARROLLADOS LOCALMENTE GENERAN INVENTARIOS CON UNA MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL METANO ATMOSFÉRICO?

Marcellini, M. G.; Gere, J. I.
Universidad Nacional Raúl Scalabrini Ortiz
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
maximilianomarcellini@gmail.com

RESUMEN

La ganadería bovina constituye una de las principales fuentes antropogénicas de metano (CH_4), por lo que contar con estimaciones representativas resulta fundamental para mejorar los inventarios de gases de efecto invernadero. En este trabajo se compararon, para la provincia de Buenos Aires, las emisiones de metano entérico estimadas mediante factores de emisión del IPCC y factores desarrollados localmente, y se evaluó su relación con las anomalías de concentración atmosférica de CH_4 observadas por el instrumento TROPOMI (Sentinel-5P). Los factores regionales incrementaron las emisiones estimadas en aproximadamente un 7,5 %. Además, la intensidad de las emisiones presentó una asociación positiva con las anomalías de CH_4 ($r = 0,40$; $p = 0,039$), evidenciando el potencial de las observaciones satelitales como herramienta complementaria para la evaluación espacial de las emisiones ganaderas.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina constituye una de las principales fuentes de emisiones de metano (CH_4) de origen antropogénico, por lo que su adecuada cuantificación resulta fundamental para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y para el diseño de estrategias de mitigación. En la mayoría de los países, estas estimaciones se realizan siguiendo las Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006), que proponen factores de emisión por defecto (Tier 1) o metodologías más específicas basadas en información regional (Tier 2). Sin embargo, el uso de factores de emisión genéricos puede introducir incertidumbres cuando las condiciones de producción difieren de aquellas consideradas para su desarrollo.

En Argentina se han generado factores de emisión de CH_4 entérico a partir de mediciones realizadas en condiciones locales, utilizando una plataforma experimental que integra información sobre consumo, productividad y emisiones de diferentes categorías bovinas. La incorporación de estos factores podría mejorar la representatividad de las estimaciones provinciales de emisiones. Asimismo, el creciente acceso a observaciones satelitales de CH_4 atmosférico ofrece una

oportunidad para explorar la correspondencia entre las emisiones estimadas y los patrones espaciales de concentración de CH_4, aportando un enfoque complementario para evaluar la consistencia de los inventarios.

OBJETIVOS

El presente trabajo tuvo como objetivos: (i) comparar las emisiones de CH_4 entérico estimadas para la provincia de Buenos Aires utilizando los factores de emisión por defecto del IPCC y factores de emisión desarrollados localmente a partir de una plataforma experimental (Tier 2); y (ii) evaluar la correspondencia espacial entre las emisiones estimadas mediante ambos enfoques y las concentraciones atmosféricas de CH_4 obtenidas a partir de observaciones satelitales.

DESARROLLO / RESULTADOS

El estudio se realizó para la provincia de Buenos Aires, Argentina, utilizando las existencias bovinas por categoría productiva provenientes de la base de datos oficial del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA, 2021). Las emisiones de CH_4 se estimaron mediante dos enfoques: (i) empleando los factores de emisión propuestos por las Directrices del IPCC (Tier 1) y (ii) utilizando factores de emisión específicos (Tier 2) desarrollados a partir de una plataforma experimental propia, basada en mediciones *in vivo* de emisiones de metano y en la caracterización de sistemas de producción bovina representativos de Argentina (Gere et al., 2019; Gere et al., 2024; González et al., 2024; Ortiz-Chura et al., 2021).

Las emisiones obtenidas mediante ambos enfoques se expresaron en toneladas de CO_2 equivalente por año y se espacializaron a nivel de partido. Posteriormente, las emisiones estimadas mediante los factores regionales se expresaron como intensidad de emisión (t CO_2 eq/km^2) y se compararon con las anomalías de concentración atmosférica de CH_4 (valor medido – valor basal del conjunto de datos) obtenidas del producto satelital combinado TROPOMI+GOSAT (Balasus et al., 2023), que corrige mediante aprendizaje automático los sesgos del algoritmo de recuperación de TROPOMI (Sentinel-5P). Se utilizó la fracción molar promedio en columna seca de metano (XCH_4), considerando las observaciones correspondientes al período entre Mayo y Diciembre del año 2021. Para el análisis se aplicaron los filtros de calidad recomendados para el producto, excluyendo las observaciones con baja calidad de recuperación y aquellas afectadas por condiciones de nubosidad u otras condiciones que pudieran comprometer la estimación de XCH_4. Las observaciones válidas fueron procesadas y agregadas espacialmente a nivel de partido, asignando cada observación al polígono correspondiente y calculando el promedio por unidad, y posteriormente vinculadas espacialmente con los partidos analizados. Para cada unidad espacial se calculó el valor representativo de XCH_4 y su correspondiente anomalía respecto del valor basal del conjunto de datos. Asimismo, se excluyeron del análisis las unidades espaciales con baja carga ganadera, con el objetivo de reducir la influencia de áreas predominantemente urbanas y de otras fuentes de CH_4 no

asociadas a la actividad ganadera. También se excluyeron aquellas unidades con una elevada proporción de superficies ocupadas por lagunas, debido a su potencial contribución a las concentraciones atmosféricas de CH_4 y a la dificultad de atribuir dichas emisiones a la actividad ganadera. Finalmente, se evaluó la relación espacial entre la intensidad de las emisiones estimadas y las anomalías de XCH_4 observadas mediante el producto satelital.

Las emisiones de CH_4 entérico estimadas mediante factores desarrollados localmente mostraron una elevada concordancia con las obtenidas utilizando los factores del IPCC (r = 0,99996) (Fig. 1). Esta elevada concordancia refleja, en gran medida, la utilización de una distribución espacial de las existencias bovinas común a ambos enfoques, mientras que las diferencias entre las estimaciones responden principalmente a los factores de emisión aplicados. No obstante, el empleo de factores regionales produjo un incremento sistemático de aproximadamente el 7,5 % en la magnitud de las emisiones estimadas (diferencias entre partidos de +4 % a +20 %), manteniendo prácticamente inalterado el patrón espacial de distribución de las emisiones en la provincia de Buenos Aires.

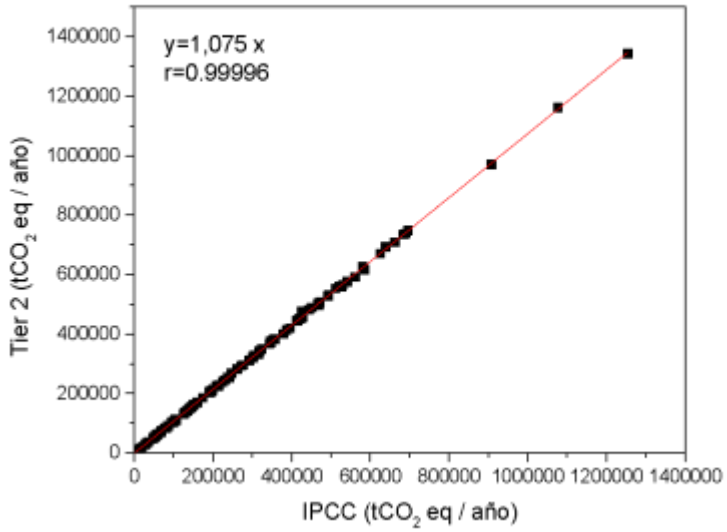


Figura 1. Comparación entre las emisiones anuales de metano entérico expresadas como CO_2 equivalente (t CO_2 eq /año) estimadas para los partidos de la provincia de Buenos Aires utilizando los factores de emisión por defecto del IPCC (2006; Tier 1) y factores de emisión desarrollados localmente (Tier 2). La línea roja representa el ajuste de la regresión lineal (y = 1,075x; r = 0,99996).

Al comparar la intensidad de las emisiones de metano entérico con las anomalías de concentración atmosférica de CH_4 obtenidas a partir de observaciones de TROPOMI, se observó una asociación positiva de baja magnitud (r = 0,40; p = 0,039) (Fig. 2). En general, los partidos con mayor intensidad de emisión tendieron a presentar menores anomalías de CH_4 atmosférico, aunque con una considerable dispersión de los datos.

Esta relación sugiere una posible asociación entre la distribución espacial de las emisiones estimadas y las variaciones observadas en el CH_4 atmosférico, aunque su interpretación debe considerar la contribución de otras fuentes de metano y los procesos de transporte y mezcla atmosférica.

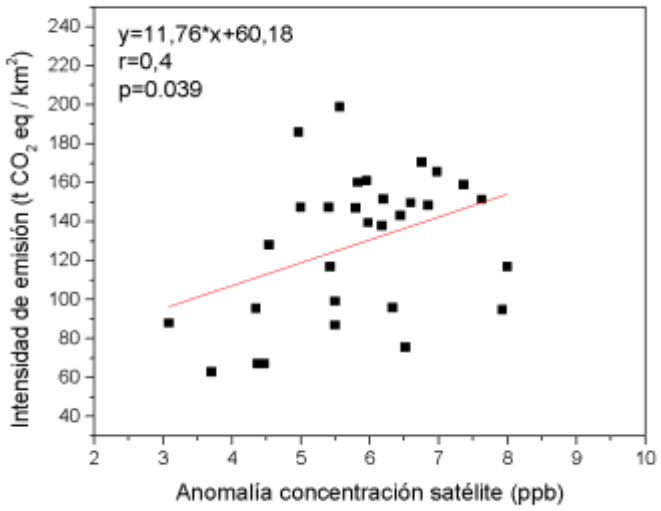


Figura 2. Relación entre la anomalía de concentración atmosférica de metano (X CH_4, ppb), obtenida a partir de observaciones del instrumento TROPOMI (Sentinel-5P), y la intensidad de las emisiones de CH_4 entérico (t CO_2 eq / km^2) estimadas para los partidos de la provincia de Buenos Aires mediante factores de emisión desarrollados localmente (Tier 2). La línea roja representa el ajuste de la regresión lineal (r = 0,40; p = 0,039).

La distribución espacial de la intensidad de emisión estimada mediante los factores desarrollados localmente (Tier 2) se presenta en la Figura 3. Los valores oscilaron entre 14 y aproximadamente 206 t CO2 eq / km2, con los registros más elevados concentrados en los partidos del centro y noreste de la provincia, y los más bajos en el área metropolitana de Buenos Aires y en el sector sudoeste. Este patrón resulta consistente con la localización de los sistemas de cría y recría bovina, y con la menor densidad de existencias en las zonas de predominio agrícola y urbano.

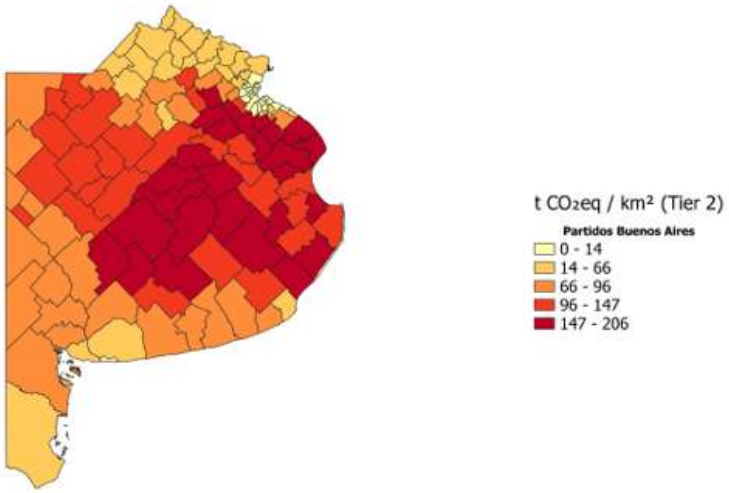


Figura 3. Distribución espacial de la intensidad de emisión de metano entérico (t CO_2 eq / km^2) estimada para los partidos de la provincia de Buenos Aires mediante factores de emisión desarrollados localmente (Tier 2). Los intervalos de la leyenda corresponden a cortes por quiebres naturales.

CONCLUSIONES

Los factores de emisión desarrollados localmente incrementaron en aproximadamente un 8 % las estimaciones de CH_4 entérico respecto de las obtenidas con los factores del IPCC. Asimismo, la asociación observada entre la intensidad de las emisiones y las anomalías de CH_4 derivadas de TROPOMI constituye un análisis exploratorio inicial que sugiere el potencial de las observaciones satelitales como herramienta complementaria para la evaluación espacial de las emisiones ganaderas. No obstante, estos resultados requieren mayores ajustes y precisiones metodológicas, particularmente en relación con la resolución espacial, la contribución de otras fuentes de CH_4 y la dinámica del transporte y mezcla atmosférica. En este sentido, futuros estudios deberían profundizar la validación de este enfoque y evaluar su aplicabilidad a escalas mayores.

REFERENCIAS

Balasus, N., Jacob, D. J., Lorente, A., Maasakkers, J. D., Parker, R. J., Boesch, H.,
Chen, Z., Kelp, M. M., Nesser, H. y Varon, D. J. (2023). A blended TROPOMI+GOSAT satellite data product for atmospheric methane using machine learning to correct retrieval biases. Atmospheric Measurement Techniques, 16, 3787–3807. https://doi.org/10.5194/amt-16-3787-2023

Gere, J. I., Restovich, S., Jmattera, J., Cattoni, M. I., Ortiz-Chura, A., Posse, G., & Cerón-Cucchi, M. (2024). Enteric methane emission from cattle grazing systems with cover crops and legume-grass pasture. Animals. https://doi.org/10.3390/ani14233535 González, F. A., Cosentino, V. R., Loza, C., Cerón-Cucchi, M. E., Williams, K. E., Bualó, R., & Gere, J. I. (2024). Inclusion of Lotus tenuis in beef cattle systems in the Argentinian flooding pampa as an enteric methane mitigation strategy. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1–12. https://doi.org/10.1080/00288233.2024.2333841

IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra. Capítulo 10: Emisiones de la ganadería y del manejo del estiércol (Cuadro 10.11). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japón.

Ortiz, A., Gere A., & Cerón-Cucchi, M. (2021). Dynamics of the microbial ecosystem, and inhibition of methanogenesis and propiogenesis in response to nitrate feeding to Holstein calves. Animal Nutrition. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.07.005 Gere,

J. I., Bualo, R., Perini, A., Arias, R., Ortega, F., Wullf, A., & Berra, G. (2019). Methane emission factors for beef cows in Argentina: Effect of diet quality. New Zealand Journal of Agricultural Research.
https://doi.org/10.1080/00288233.2019.1621355
SENASA (2021). Existencias bovinas por categoría. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Buenos Aires, Argentina. Consultado en abril de 2026.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/tabla_de_datos_de_existencias_bovin as_por_provincia_y_departamento_0.xlsx

CONTROL SOLAR Y PROPIEDADES ÓPTICAS EN EL DESEMPEÑO LUMÍNICO DE UNA VIVIENDA SOCIAL EN CLIMA ÁRIDO

Michaux, M. C.; Cano Jofré, A.C.
IRPHa-CONICET-UNSJ
San Juan
celinamichaux@faud.unsj.edu.ar

RESUMEN

La iluminación natural incide en la calidad ambiental interior y en el consumo energético de las viviendas, aunque su aprovechamiento requiere equilibrar la disponibilidad lumínica con el control de la radiación solar directa. El trabajo evalúa, mediante simulación, el desempeño de un estar-comedor de vivienda social en San Juan. La metodología se organiza en dos etapas. Primero, se comparan cinco estrategias de control solar mediante los indicadores sDA, UDI y ASE. Luego, sobre la alternativa seleccionada, se analizan ocho combinaciones de reflectancia interior, albedo exterior y transmitancia visible del vidrio. Los resultados muestran que el alero horizontal combinado con elementos verticales presenta el mejor equilibrio, con sDA de 52,6% y ASE de 4,8%. En la segunda etapa, los escenarios 6 y 8 alcanzan mayor sDA y UDI. Se concluye que la transmitancia visible constituye la propiedad óptica de mayor incidencia y que las decisiones proyectuales deben evaluarse conjuntamente.

INTRODUCCIÓN

La iluminación natural constituye una variable relevante en el diseño del sector residencial, debido a su incidencia sobre la calidad ambiental interior y el consumo energético asociado con la iluminación artificial. Su adecuada integración permite mejorar las condiciones visuales del espacio y reducir la demanda de electricidad destinada a iluminación durante las horas diurnas (Goudarzi y Mostafaeipour, 2023). El aprovechamiento adecuado de la iluminación natural puede disminuir el consumo asociado con la iluminación artificial; no obstante, su incorporación debe equilibrarse con el control del deslumbramiento y de las ganancias solares, dado que una mayor superficie vidriada o una entrada excesiva de radiación no garantizan por sí mismas un mejor desempeño ambiental (Zhang et al., 2024; Petrișor et al., 2024).

Por ello, el diseño de las aberturas y de los dispositivos de control solar requiere equilibrar la disponibilidad de luz natural con la protección frente a la radiación directa, especialmente en climas cálidos y áridos (Kamel et al., 2024; Kalaimathy et al., 2023). Esta problemática adquiere importancia en las viviendas, donde la disponibilidad lumínica varía según el clima, la orientación, la configuración del entorno, las características de las aberturas y las propiedades ópticas de los materiales. Investigaciones recientes en espacios residenciales muestran que indicadores estáticos o relaciones geométricas simples no siempre permiten representar estas

variaciones, por lo que resulta conveniente recurrir a evaluaciones dinámicas basadas en las condiciones climáticas y en el período anual de ocupación (Hong et al., 2024).

Entre las métricas dinámicas más utilizadas se encuentran la autonomía espacial de luz diurna, que expresa el porcentaje del área que alcanza un nivel mínimo de iluminancia durante una determinada proporción de las horas ocupadas; la iluminancia útil de luz diurna, que cuantifica el tiempo en que la iluminancia se mantiene dentro de un intervalo considerado aprovechable; y la exposición solar anual, que identifica la proporción del área sometida a niveles elevados de iluminación solar directa durante un número determinado de horas al año (García-Martín et al., 2025). Su análisis conjunto permite evitar interpretaciones parciales, dado que un espacio puede presentar una elevada disponibilidad de luz y, simultáneamente, condiciones de sobreexposición. Estas métricas se emplean actualmente en estudios de simulación para comparar alternativas de diseño, características del vidrio y sistemas de protección solar (Ershov et al., 2023; Kalaimathy et al., 2023).

En climas áridos, caracterizados por una elevada disponibilidad de radiación solar, el control de estos factores resulta especialmente necesario. En este marco, el presente trabajo analiza un estar-comedor de vivienda social ubicado en la ciudad de San Juan y plantea como pregunta de investigación, ¿cómo inciden las protecciones solares, la reflectancia de las superficies interiores, la transmitancia visible del vidrio y el albedo exterior en los indicadores sDA, UDI y ASE de un estar-comedor ubicado en clima árido?

OBJETIVO

Evaluar la incidencia de diferentes estrategias de control solar y configuraciones de propiedades ópticas sobre el desempeño lumínico anual de un estar-comedor de vivienda situado en la ciudad de San Juan.

METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo propuesto, se adopta una metodología cuantitativa, de carácter aplicado y basada en la simulación de un caso de estudio. Se analiza un espacio de uso residencial ubicado en San Juan, representativo de un clima árido con elevada disponibilidad de radiación solar. El procedimiento se organiza en dos etapas complementarias. En ambas se mantienen constantes la geometría del recinto, las dimensiones y orientación de la abertura, el archivo climático, el plano de trabajo, el período de ocupación y los umbrales establecidos para el cálculo de los indicadores lumínicos. Los aspectos modificados corresponden a las estrategias de control solar y a las propiedades ópticas de las superficies interiores, el entorno exterior y el cerramiento vidriado.

Etapa 1. Evaluación de estrategias de control solar. Aquí se estudian cinco configuraciones (Figura 1):

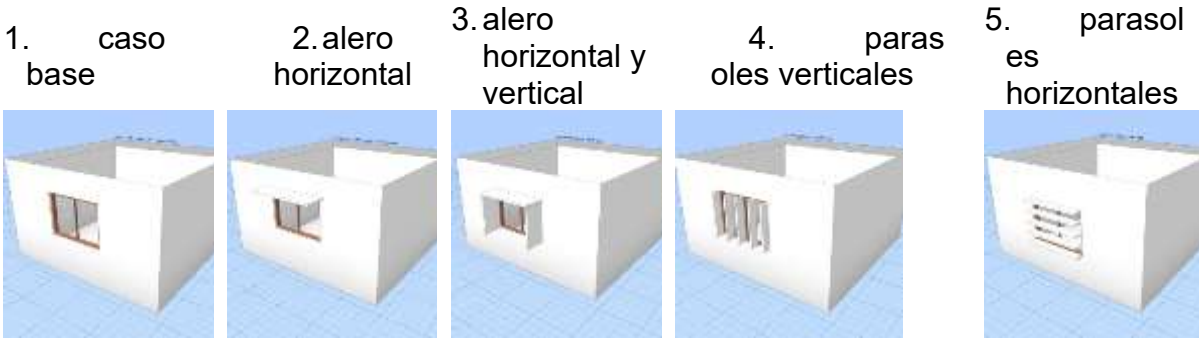


Figura 1. Configuraciones de análisis. Fuente: elaboración propia, 2026.

Las propiedades ópticas de las superficies, el vidrio y el entorno exterior permanecen constantes, con el propósito de aislar la incidencia de los dispositivos de control solar. Seguidamente, para cada escenario se analizan y comparan los resultados obtenidos mediante sus valores absolutos y variaciones porcentuales. Luego se selecciona la alternativa más equilibrada por su capacidad para mantener una proporción elevada del espacio dentro del rango útil de iluminancia y, simultáneamente, reducir la exposición solar directa.

Etapa 2. Evaluación de las propiedades ópticas. Sobre la alternativa elegida en la etapa anterior se analizan tres propiedades ópticas, cada una con dos niveles: reflectancia interior media y alta, albedo exterior medio y alto, y transmitancia visible del vidrio baja y media. La combinación de estos niveles genera ocho escenarios mediante un diseño factorial (Tabla 1).

Escenario	Reflectancia interior	Albedo exterior	Transmitancia visible
1	Media	medio	baja
2	Media	medio	media
3	Media	alto	baja
4	Media	alto	media
5	Alta	medio	baja
6	Alta	medio	media
7	Alta	alto	baja
8	Alta	alto	media

Tabla 1. Escenarios de análisis. Fuente: elaboración propia, 2026.

Los resultados permiten evaluar el efecto individual y combinado de las propiedades ópticas sobre la disponibilidad de iluminación natural, la permanencia dentro del rango útil y la exposición solar directa. La alternativa más favorable se determina mediante la lectura conjunta de los tres indicadores de análisis y no a partir de un único indicador.

Las simulaciones se realizaron con el software en línea y de libre acceso denominado Dynamic Daylighting, versión 2.0.0, desarrollado por Andrew Marsh. El programa ejecuta los cálculos mediante una implementación propia que combina el método de

flujo dividido para estimar las reflexiones interiores con trazado de rayos para evaluar los componentes directos del cielo, las reflexiones exteriores y las obstrucciones. Para el análisis anual se utilizó el modelo de cielo Perez All-Weather Sky, generado a partir de los datos horarios de radiación directa y difusa contenidos en el archivo climático EPW.

Caso de estudio

Como caso de estudio se seleccionó el estar-comedor de un prototipo de vivienda social correspondiente al barrio CESAP, construido por el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) de San Juan en 1995, en el departamento de Rivadavia. El conjunto está integrado por 350 viviendas de tres dormitorios. El ambiente analizado presenta una geometría sencilla y representativa de los prototipos residenciales construidos por el IPV. Posee 4,15 m de ancho, 4,10 m de profundidad y una altura interior de 2,50 m, lo que determina una superficie aproximada de 17 m² (Figura 2).

Para la simulación se adoptó una vivienda con fachada orientada al norte. En esta configuración, el estar-comedor cuenta con una abertura principal sobre dicha orientación, de 1,50 m de ancho y 1,10 m de alto, con un antepecho situado a 1,00 m sobre el nivel del piso interior. La abertura presenta una superficie de 1,65 m², equivalente aproximadamente al 9,7% de la superficie del piso del ambiente. Estas dimensiones corresponden al prototipo seleccionado y, al mismo tiempo, resultan habituales en viviendas del parque residencial analizado.

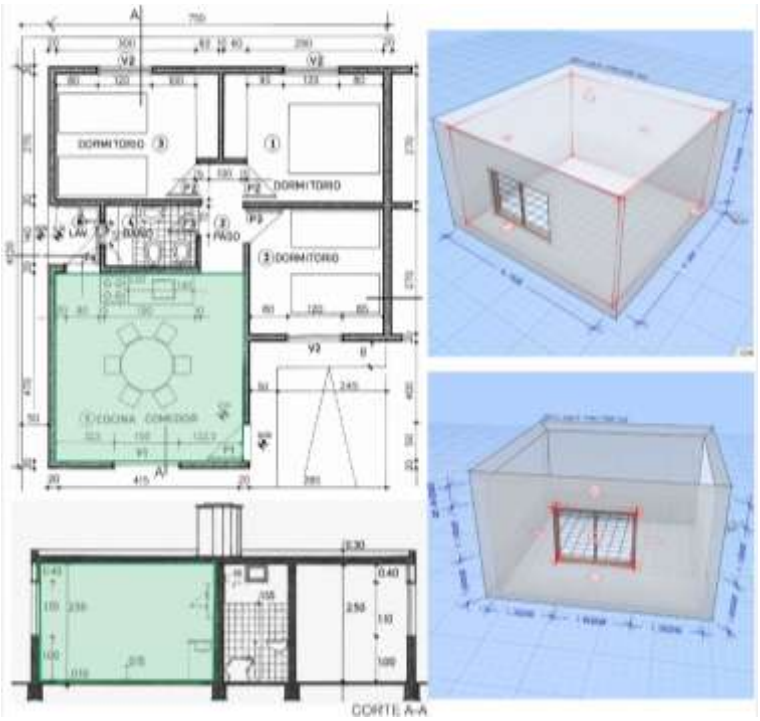


Figura 2. Caso de estudio. Fuente: elaboración propia, 2026.

Caracterización de análisis

Para delimitar las condiciones de simulación se utilizó el archivo climático en formato EPW correspondiente a la estación meteorológica del Aeropuerto de San Juan. El archivo representa un año meteorológico típico elaborado a partir de series climáticas del período 2011–2025. Además, el plano de análisis se ubicó a 0,80 m sobre el nivel del piso interior, altura asociada al desarrollo de actividades domésticas sobre mesas y superficies de trabajo. Se consideró que no existen obstáculos exteriores, como árboles o edificios contiguos. Asimismo, los indicadores de análisis se calcularon para el año meteorológico completo, considerando como período de ocupación el intervalo comprendido entre las 8:00 h y las 18:00 h.

Indicadores de análisis y criterios de referencia

Los resultados se analizan mediante tres métricas dinámicas de iluminación natural: autonomía espacial de luz diurna (sDA), iluminancia útil de luz diurna (UDI) y exposición solar anual (ASE). Su consideración conjunta permite evaluar tanto la disponibilidad y distribución de la iluminación natural como las situaciones de iluminación insuficiente o excesiva.

La sDA expresa el porcentaje del área analizada que alcanza un determinado nivel de iluminancia durante una proporción mínima de las horas de ocupación anual. De acuerdo con el método IES LM-83 (IES, 2012), el indicador sDA 300/50% considera satisfactorios aquellos puntos que reciben al menos 300lx durante el 50% de las horas ocupadas. Como referencia, valores de sDA iguales o superiores al 55% se consideran aceptables, mientras que valores iguales o superiores al 75% representan una condición preferente de disponibilidad de luz natural (Ayoub, 2018).

La UDI representa el porcentaje del tiempo en que la iluminancia sobre el plano de análisis permanece dentro de un intervalo considerado útil para los ocupantes. Nabil y Mardaljevic (2005) propusieron originalmente un intervalo de 100-2000lx, posteriormente ampliado hasta aproximadamente 3000lx. Dentro de esta clasificación, iluminancias inferiores a 100lx se consideran insuficientes; entre 100 y 300lx pueden requerir iluminación artificial complementaria; entre 300 y 3000lx se consideran generalmente adecuadas, mientras que valores superiores a 3000lx pueden asociarse con condiciones de iluminación excesiva. Estudios recientes continúan empleando el intervalo UDI 300-3000 como criterio para caracterizar condiciones lumínicas tolerables, considerando que mayores porcentajes de permanencia dentro de dicho intervalo representan un mejor desempeño de iluminación natural (Brzezicki, 2024).

Finalmente, la ASE cuantifica el porcentaje del área sometida a una exposición elevada a la luz solar directa. El criterio ASE 1000/250 identifica los puntos que reciben al menos 1000lx durante 250 horas o más al año (IES, 2012). Su formulación original establecía como referencia una afectación inferior al 10% del área analizada, aunque estudios recientes elevan este límite al 20% y señalan la necesidad de considerar las condiciones climáticas específicas del caso de estudio (Sherif et al., 2025). Asimismo, la ASE debe interpretarse como un indicador de sobreexposición solar y no como una

medida directa del deslumbramiento, cuyo análisis requiere métricas complementarias (Katia y Rakha, 2025).

Por lo mencionado, para la comparación de los escenarios se adoptan como valores de referencia los indicados en Tabla 2.

Indicador	Criterio adoptado	Interpretación
sDA	300/50% ≥ 55%	Aceptable
	300/50% ≥ 75%	Preferente
UDI	300-3000 lx	Maximizar el % de tiempo dentro de este rango
ASE	1000/250 ≤ 10%	Evitar sobreexposición solar

Tabla 2. Valores de referencia para indicadores de análisis. Fuente: elaboración propia, 2026.

DESARROLLO

ETAPA 1. EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONTROL SOLAR.

En esta etapa se simularon las cinco estrategias de control solar y se analizaron comparativamente sus resultados mediante los indicadores sDA, UDI y ASE. La Figura 3 muestra la distribución espacial obtenida para cada configuración. Se detalla que para la presentación de los resultados, se considera el porcentaje del área del plano de análisis que permanece dentro del intervalo UDI 300–3000lx durante, al menos, el 75% de las horas de ocupación anual.

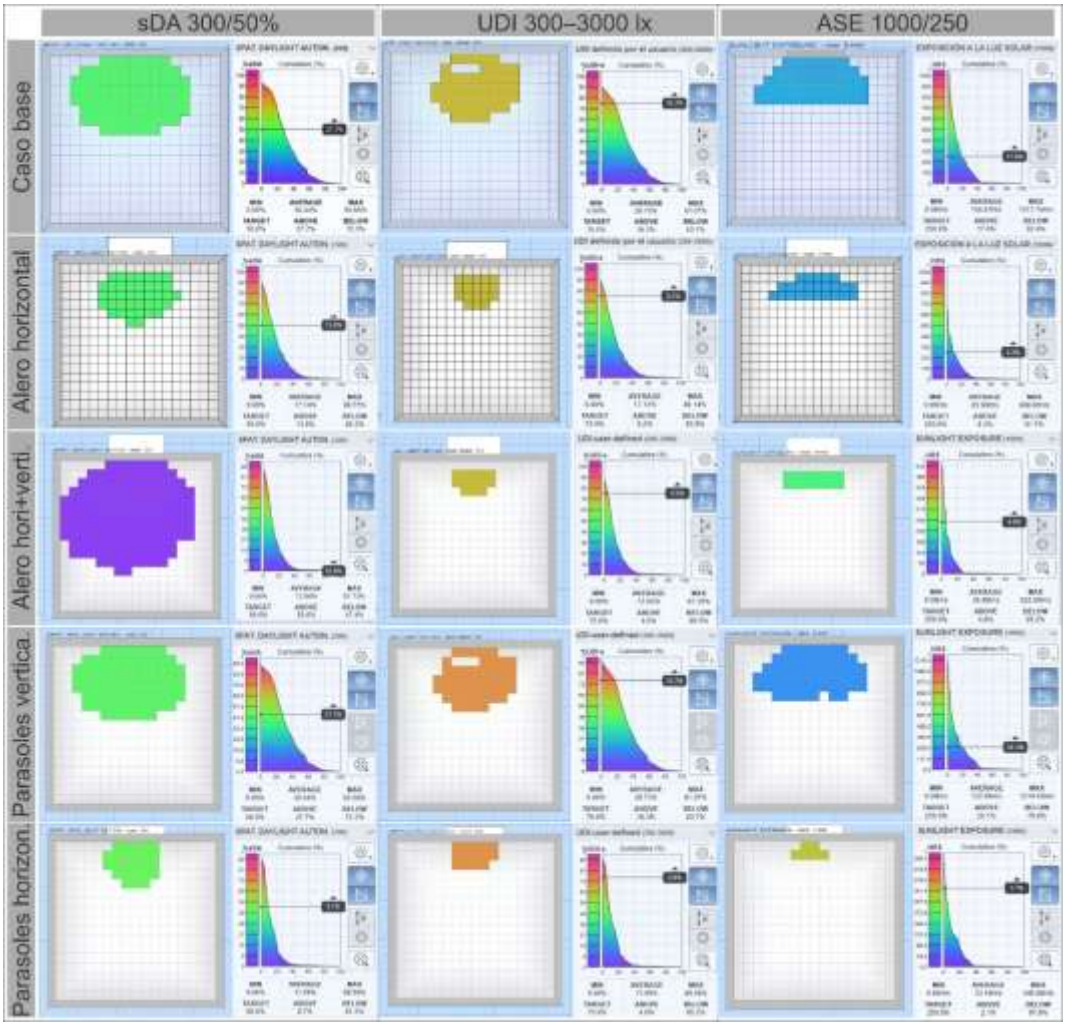


Figura 3. Resultados según cada estrategia. Fuente: elaboración propia, 2026.

Los resultados evidencian diferencias importantes entre las estrategias de control solar (Tabla 3). El caso base alcanzó valores de sDA de 27,7% y UDI de 16,3%, aunque presentó una exposición solar elevada, con un ASE de 17,6%. La incorporación de un alero horizontal redujo el ASE a 8,3%, pero también disminuyó la disponibilidad de iluminación natural, con valores de sDA y UDI de 13,8% y 6,2%, respectivamente. La configuración con alero horizontal y vertical presentó el mayor sDA de los cinco escenarios, con 52,6%, y mantuvo un ASE reducido, de 4,8%; sin embargo, registró el menor valor de UDI, de 4,5%. Por su parte, los parasoles verticales conservaron los valores de sDA y UDI del caso base, pero incrementaron el ASE hasta 20,1%, mientras que los parasoles horizontales lograron el mayor control de la exposición solar, con un ASE de 2,1%, aunque con los valores más bajos de disponibilidad lumínica, expresados en un sDA de 8,7% y un UDI de 4,8%.

Escenario	Estrategia de control solar	sDA 300/50%	UDI 300–3000 lx ≥ 75%	ASE 1000/250	Análisis preliminar
1	Caso base	27,7%	16,3%	17,6%	Mejor UDI que varios casos, pero con sobreexposición solar alta
2	Alero horizontal	13,8%	6,2%	8,3%	Controla la exposición solar, aunque reduce mucho la disponibilidad de luz útil
3	Alero horizontal + vertical	52,6%	4,5%	4,8%	Mejor equilibrio entre sDA y ASE, aunque con UDI muy bajo
4	Parasoles verticales	27,7%	16,3%	20,1%	Mantiene sDA y UDI del caso base, pero empeora el ASE
5	Parasoles horizontales	8,7%	4,8%	2,1%	Excelente control solar, pero con muy baja disponibilidad de luz útil

Tabla 3. Resultados de los tres indicadores de análisis para las estrategias definidas: Fuente: elaboración propia, 2026.

Entre las cinco configuraciones analizadas, la alternativa con alero horizontal y vertical se identificó como la más equilibrada, ya que logró reducir significativamente la exposición solar anual (ASE = 4,8%) y, al mismo tiempo, presentó el mayor valor de autonomía espacial de luz diurna (sDA = 52,6%), próximo al umbral de aceptabilidad. Si bien el indicador UDI registró un valor reducido (4,5%), las restantes opciones que mejoraron el control solar mostraron descensos aún más marcados en la disponibilidad lumínica o valores inferiores de sDA.

En este contexto, ninguna de las configuraciones alcanzó simultáneamente los criterios adoptados para los tres indicadores. No obstante, el alero horizontal con el vertical presentó el mejor desempeño relativo por lo que esta alternativa fue seleccionada como base para la segunda etapa por ofrecer la relación más favorable entre disponibilidad lumínica y control de la exposición solar directa.

ETAPA 2. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

Para definir los escenarios de la segunda etapa, se asignaron valores numéricos a los niveles de reflectancia interior, albedo exterior y transmitancia visible del vidrio (Tabla 4). Los valores fueron seleccionados con el propósito de representar terminaciones y materiales habituales en espacios residenciales y, al mismo tiempo, generar un contraste suficiente para reconocer su incidencia individual y combinada sobre los indicadores lumínicos. En el caso de la reflectancia interior, se modificó únicamente la

reflectancia de los muros, manteniendo los valores por defecto que considera el software para las propiedades del techo (reflectancia de 0.70) y piso (reflectancia de 0.4).

Propiedad óptica	Nivel	Valor adoptado	Representación material	Fuente
Reflectancia visible de los muros interiores	Media	0,50	Pintura mate beige, arena o gris claro	(Safranek, 2020) (Berkeley Lab, 2026) (Energy Technologies Area, 2026). (U.S. EPA, 2025)
Reflectancia visible de los muros interiores	Alta	0,75	Pintura mate blanca o blanco cálido	
Albedo del entorno exterior	Medio	0,25	Césped, suelo claro o terreno natural seco	
Albedo del entorno exterior	Alto	0,50	Hormigón claro, baldosas o grava clara	
Transmitancia visible del vidrio	Baja	0,30	Vidrio tonalizado o de control solar intenso	
Transmitancia visible del vidrio	Media	0,60	Vidrio ligeramente tonalizado o de control solar neutro	

Tabla 4. Definición de propiedades ópticas. Fuente: elaboración propia, 2026.

Seguidamente, se compara la incidencia individual y combinada de las propiedades ópticas sobre el desempeño lumínico del espacio. La Figura 4 reúne los resultados de sDA, UDI y ASE obtenidos para cada escenario.

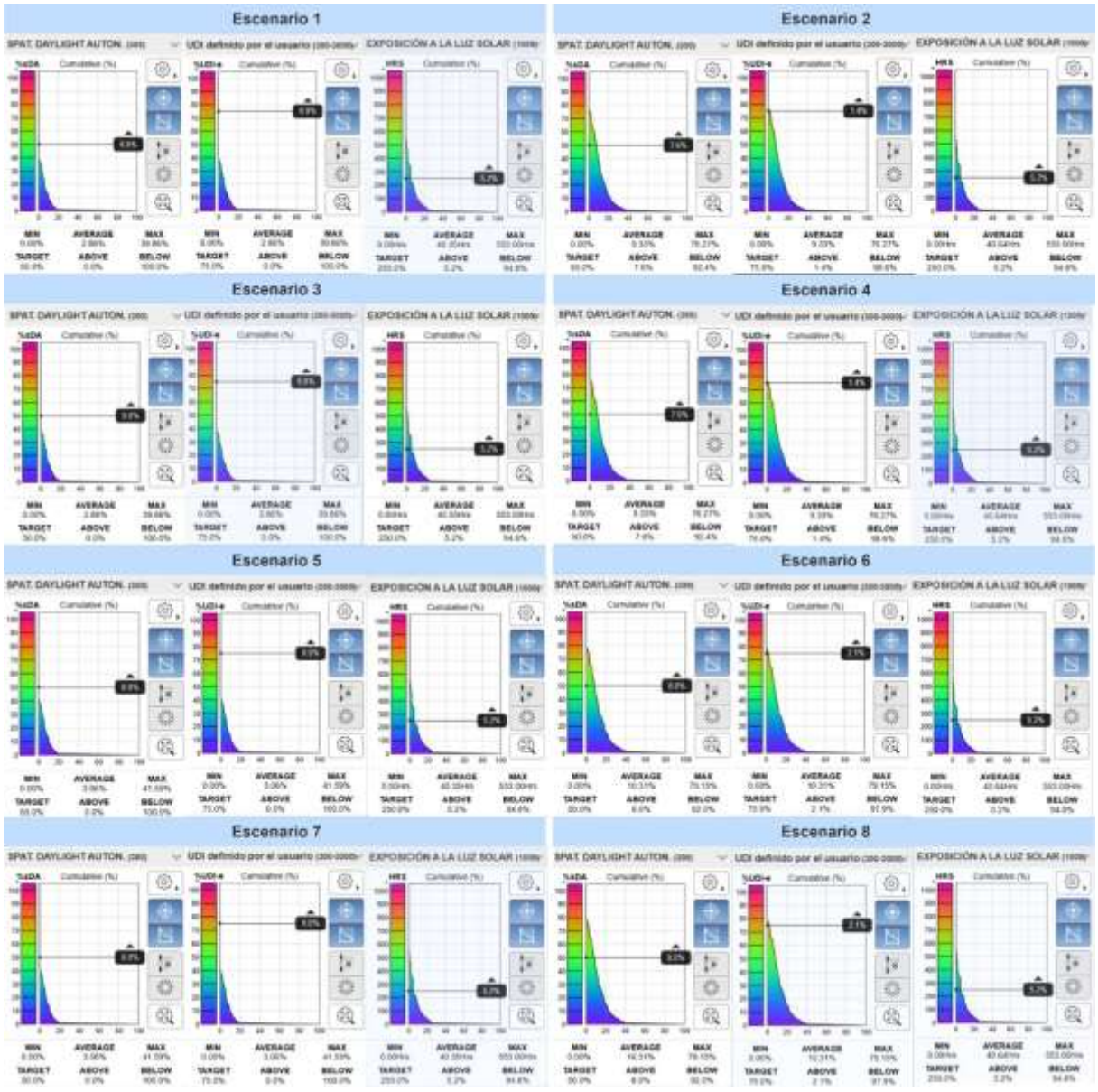


Figura 4. Resultados para los 8 escenarios de la etapa 2. Fuente: elaboración propia, 2026.

En conjunto, los resultados muestran que los escenarios 6 y 8 alcanzan el mejor comportamiento relativo, aunque los valores de sDA y UDI permanecen muy por debajo de los criterios adoptados. El ASE se mantiene constante en 5,2 % en los ocho escenarios, por debajo del límite establecido. La transmitancia visible del vidrio aparece como la variable de mayor incidencia, mientras que el albedo exterior no produce variaciones apreciables (Tabla 5).

Esc.	Reflec.	Albedo	Transmi.	sDA	UDI	ASE	Análisis preliminar
1	0,50	0,25	0,30	0,0%	0,0%	5,2%	adecuado control de la exposición solar directa, pero no alcanza los criterios establecidos para sDA y UDI.
2	0,50	0,25	0,60	7,6%	1,4%	5,2%	la mayor transmitancia visible mejora levemente la disponibilidad y utilidad de la luz natural.
3	0,50	0,50	0,30	0,0%	0,0%	5,2%	repite los resultados del escenario 1; el aumento del albedo exterior no produce variaciones apreciables.
4	0,50	0,50	0,60	7,6%	1,4%	5,2%	repite los resultados del escenario 2, lo que confirma la escasa incidencia del albedo exterior.
5	0,75	0,25	0,30	0,0%	0,0%	5,2%	la mayor reflectancia interior no resulta suficiente para mejorar el desempeño cuando la transmitancia visible es baja.
6	0,75	0,25	0,60	8,0%	2,1%	5,2%	mayores valores de sDA y UDI, aunque continúan siendo reducidos.
7	0,75	0,50	0,30	0,0%	0,0%	5,2%	reproduce el comportamiento del escenario 5; el aumento del albedo exterior no genera mejoras.
8	0,75	0,50	0,60	8,0%	2,1%	5,2%	iguala al escenario 6 y confirma que la combinación de reflectancia alta y transmitancia media ofrece el mejor desempeño relativo.

Tabla 5. Evaluación de propiedades ópticas. Fuente: elaboración propia, 2026.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten reconocer que el desempeño lumínico del espacio se encuentra condicionado tanto por la geometría de los dispositivos de control solar como por las propiedades ópticas del cerramiento vidriado y de las superficies interiores. Sin embargo, las variables estudiadas no presentan igual incidencia y, por lo tanto, su incorporación al diseño debe analizarse de manera conjunta y jerarquizada.

En la primera etapa, ninguna de las configuraciones alcanzó simultáneamente los criterios adoptados para sDA, UDI y ASE. No obstante, el alero horizontal combinado con elementos verticales presentó el mejor desempeño relativo. Si bien la UDI resultó reducida, esta alternativa ofreció la relación más favorable entre disponibilidad de luz natural y control de la exposición solar directa.

En la segunda etapa, los escenarios 6 y 8 alcanzaron los mayores valores de sDA y UDI. Ambos combinan una reflectancia alta de los muros interiores con una transmitancia visible media del vidrio. Debido a que el cambio del albedo exterior no produjo variaciones, el escenario 6 puede considerarse la opción más adecuada, dado que alcanza el mismo desempeño que el escenario 8 con un albedo medio, representativo de condiciones exteriores residenciales habituales. No obstante, sus valores de sDA y UDI continúan siendo bajos, por lo que la solución debe entenderse como la alternativa de mejor comportamiento relativo.

El análisis factorial muestra que la transmitancia visible del vidrio constituye la propiedad de mayor incidencia. Su aumento de 0,30 a 0,60 produce una mejora promedio de 7,8 puntos porcentuales en sDA y de 1,75 puntos porcentuales en UDI. En comparación, el incremento de la reflectancia interior de 0,50 a 0,75 genera mejoras promedio de solo 0,2 puntos en sDA y 0,35 puntos en UDI. Por su parte, el cambio del albedo exterior no modifica los resultados y el ASE permanece constante en 5,2% en los ocho escenarios. En consecuencia, el uso de terminaciones interiores claras actúa como una medida complementaria, mientras que la selección del vidrio adquiere mayor relevancia para favorecer el ingreso y la distribución de la luz natural.

Para las viviendas sociales analizadas se recomienda, por lo tanto, integrar una protección solar exterior compuesta por un alero horizontal y elementos verticales, acompañada por muros interiores de terminación clara y un vidrio de transmitancia visible media. La incorporación de estas decisiones desde la etapa proyectual puede contribuir a mejorar las condiciones visuales del espacio y disminuir la dependencia de la iluminación artificial durante las horas diurnas. Sin embargo, no es suficiente aumentar el ingreso de luz, ya que debe mantenerse el equilibrio entre disponibilidad lumínica, utilidad de las iluminancias y control de la radiación solar directa.

El estudio de la iluminación natural resulta especialmente importante en viviendas ubicadas en climas áridos, donde la elevada disponibilidad de radiación constituye, al mismo tiempo, un recurso y una posible fuente de sobreexposición. La evaluación

conjunta de sDA, UDI y ASE permite superar una lectura basada únicamente en la cantidad de luz ingresada y reconocer situaciones en las que una estrategia mejora un indicador, pero perjudica otro. De este modo, la simulación puede contribuir a definir soluciones adaptadas al clima, la orientación, la geometría de las aberturas y las condiciones de uso.

Finalmente, Dynamic Daylighting resultó de utilidad para representar el espacio, modificar sus propiedades, comparar escenarios y visualizar la distribución de los indicadores sobre el plano de análisis. Su disponibilidad en línea y su acceso libre favorecen su aplicación en instancias iniciales del proyecto. El programa permitió identificar tendencias y reconocer la incidencia relativa de cada variable. No obstante, sus resultados deben interpretarse dentro de las simplificaciones adoptadas en el modelo y complementarse, en futuras investigaciones, con análisis de deslumbramiento.

REFERENCIAS

Ayoub, M. (2018). Integrating illuminance and energy evaluations of cellular automata controlled dynamic shading system using new hourly-based metrics. Solar Energy, 170, 336–351. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.041

Berkeley Lab. (2026). The Problem. Cool Pavements. Cool Science https://bit.ly/45sAiLI

Brzezicki, M. (2024). Daylight Comfort Performance of a Vertical Fin Shading System: Annual Simulation and Experimental Testing of a Prototype. Buildings, 14(3), 571. https://doi.org/10.3390/buildings14030571

Energy Technologies Area. (2026). Windows 101: Episode four fact sheet. Windows for Hot Climates. Berkeley Lab. https://bit.ly/3TOhbcp

Ershov, S., Sokolov, V., Galaktionov, V., y Voloboy, A. (2023). Virtual light sensing technology for fast calculation of daylight autonomy metrics. Sensors, 23(4), 2255. https://doi.org/10.3390/s23042255

García-Martín, G., Campano, M. Á., Acosta, I., y Bustamante, P. (2025). New approaches in dynamic metrics for lighting control systems: A critical review. Applied Sciences, 15(15), 8243. https://doi.org/10.3390/app15158243

Goudarzi, S., y Mostafaeipour, A. (2023). Curve optimization for the anidolic daylight system counterbalancing energy saving, indoor visual and thermal comfort for Sydney dwellings. Energies, 16(3), 1090. https://doi.org/10.3390/en16031090

Hong, L., Wang, C., y Zhang, X. (2024). Daylight availability of living rooms in dense residential areas under current planning regulations: A cross-region case study in China. Buildings, 14(4), 1090. https://doi.org/10.3390/buildings14041090

IES. (2012). IES LM-83-12: Approved method: IES spatial daylight autonomy and annual sunlight exposure. Illuminating Engineering Society of North America. https://bit.ly/3Tec0lZ

Kalaimathy, K., Shanthi Priya, R., Rajagopal, P., Pradeepa, C., y Senthil, R. (2023). Daylight performance analysis of a residential building in a tropical climate. Energy Nexus, 11, 100226. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100226

Kamel, T. M., Khalil, A., Lakousha, M. M., Khalil, R., y Hamdy, M. (2024). Optimizing the view percentage, daylight autonomy, sunlight exposure, and energy use: Data-driven-based approach for maximum space utilization in residential building stock in hot climates. Energies, 17(3), 684. https://doi.org/10.3390/en17030684

Katia, R., y Rakha, T. (2025). Evaluating annual sun exposure in LEED v4 for commercial office buildings: Inclusion of annual glare to enhance the occupant visual performance and comfort. LEUKOS, 21(2), 164–181. https://doi.org/10.1080/15502724.2024.2405490

Nabil, A., y Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. Lighting Research y Technology, 37(1), 41–57. https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa

Petrișor, A. I., Tănase, M., y Petrișor, L. E. (2024). Balancing the energy efficiency benefits of glazed surfaces: A case study. Buildings, 14(7), 2157. https://doi.org/10.3390/buildings14072157

Safranek, S. (2020). Improving Lighting Simulations for Application Efficiency. U.S. Department of energy. https://bit.ly/4bQXR4q

Sherif, A., Mashaly, I., y El-Hussainy, M. (2025). From 10% to 20%: Influence of annual sunlight exposure threshold on the acceptability of daylighting performance under different sky conditions. Journal of Architectural Engineering, 31(1). https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1845

U.S. EPA. (2025). Using Cool Pavements to Reduce Heat Islands. U.S. Environmental Protection Agency. https://bit.ly/4yQaF4Q

Zhang, Y., Li, X., Wang, J., y Liu, J. (2024). Optimization control strategy for transition season blinds balancing daylighting, thermal discomfort, and energy efficiency. Energies, 17(7), 1543. https://doi.org/10.3390/en17071543

PRIORIZACIÓN DE ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA SUSTENTABLE EN VIVIENDAS DE BAHÍA BLANCA

Montero, M.C.
Facultad Regional Bahía Blanca – UTN
Buenos Aires
monteromc@gmail.com

RESUMEN

El parque residencial argentino presenta importantes oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética, especialmente mediante intervenciones sobre la envolvente edilicia. En ciudades intermedias como Bahía Blanca, caracterizadas por inviernos fríos, veranos cálidos y vientos persistentes, las pérdidas térmicas a través de muros, cubiertas y carpinterías incrementan significativamente la demanda energética destinada a calefacción y refrigeración.

El presente trabajo propone criterios para priorizar estrategias de rehabilitación energética de envolventes edilicias a partir del análisis comparativo de tres tipologías representativas de viviendas construidas en Bahía Blanca. Se utilizan resultados experimentales obtenidos en investigaciones previas como base para identificar y priorizar oportunidades de mejora energética.

Como principal aporte se desarrolla una matriz de priorización de intervenciones que relaciona el problema detectado con las estrategias constructivas más adecuadas según su impacto energético, facilidad de implementación y aplicabilidad en procesos de rehabilitación. La propuesta constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones orientadas a mejorar el desempeño energético del parque edilicio existente, promoviendo viviendas más sustentables y resilientes frente al cambio climático.

INTRODUCCIÓN

El sector edilicio representa uno de los principales consumidores de energía debido a las demandas de calefacción y refrigeración de los edificios. En Argentina, una proporción significativa del consumo residencial se destina al acondicionamiento térmico de los ambientes, situación que adquiere mayor relevancia en ciudades como Bahía Blanca, donde las condiciones climáticas generan elevadas pérdidas de energía durante el invierno y ganancias térmicas en verano.

La rehabilitación energética de viviendas existentes constituye una de las estrategias con mayor potencial para reducir el consumo energético y las emisiones asociadas, contribuyendo simultáneamente al confort de los usuarios y a los objetivos de mitigación del cambio climático.

En este contexto, el trabajo propone criterios para priorizar intervenciones sobre la envolvente edilicia mediante una metodología basada en resultados experimentales obtenidos en viviendas representativas del contexto local.

Aunque existen numerosas estrategias de mejora energética de edificios, en la práctica resulta necesario establecer prioridades de intervención considerando simultáneamente el impacto energético, la factibilidad constructiva y la posibilidad de aplicación en viviendas existentes.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es proponer un procedimiento simplificado para priorizar estrategias de rehabilitación energética de envolventes edilicias utilizando resultados experimentales obtenidos en viviendas representativas de Bahía Blanca.

DESARROLLO Y RESULTADOS

Estudios previos fueron utilizados como base para identificar las principales oportunidades de mejora energética de la envolvente edilicia y desarrollar un procedimiento de priorización de estrategias de intervención. Para ello, se analizaron tres viviendas representativas del parque residencial de Bahía Blanca, correspondientes a las tipologías constructivas tradicionales de mampostería, hormigón armado y construcción en seco. Los estudios originales incluyeron el monitoreo higrotérmico durante el período invernal y la evaluación de indicadores de transmitancia térmica, riesgo de condensación superficial y condiciones de confort interior.

A partir del análisis comparativo se identificaron los principales problemas energéticos de la envolvente y se elaboró un procedimiento de priorización de estrategias de rehabilitación considerando tres criterios: impacto potencial sobre la reducción de la demanda energética, facilidad de implementación en viviendas existentes y grado de aplicabilidad técnica.



Figura 1. Procedimiento propuesto para la priorización de estrategias de rehabilitación energética.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis comparativo evidenció diferencias en el desempeño higrotérmico entre las tipologías estudiadas. Las viviendas sin aislación térmica presentaron mayores valores de transmitancia, riesgo de condensación superficial y menores condiciones de confort interior. Por el contrario, la vivienda con envolvente aislada mostró un comportamiento térmico significativamente superior, confirmando que la presencia de aislación resulta más determinante que el sistema estructural empleado.

A partir de estos resultados se identificaron las principales oportunidades de intervención sobre la envolvente edilicia. Tabla 1.

Tabla 1 – Diagnóstico de la envolvente y estrategias de intervención propuestas

Problema detectado	Consecuencia	Estrategia recomendada
Alta transmitancia en cubiertas	Elevadas pérdidas térmicas	Incorporación de aislación continua
Muros sin aislación	Incremento del consumo energético	Sistemas EIFS, cámaras aisladas o revestimientos interiores
Puentes térmicos	Condensación superficial	Tratamiento de encuentros constructivos
Carpinterías simples	Pérdidas de calor	Sustitución por DVH
Infiltraciones de aire	Disminución del confort	Sellado y mejora de la hermeticidad

Estas intervenciones presentan diferentes niveles de complejidad, aunque todas poseen un impacto favorable sobre la eficiencia energética cuando son correctamente implementadas. La rehabilitación de la envolvente permite reducir la demanda de calefacción y refrigeración sin modificar sustancialmente el funcionamiento del edificio, constituyéndose en una estrategia sustentable de alta relación beneficio-costo. En consecuencia, resulta necesario disponer de herramientas que permitan establecer un orden de prioridad para su implementación.

PROCEDIMIENTO DE PRIORIZACIÓN PROPUESTO

Como aporte del trabajo se propone una matriz de decisión destinada a orientar intervenciones de rehabilitación energética. Tabla 2.

Tabla 2 – Matriz cualitativa para la priorización de estrategias de rehabilitación energética

Estrategia de rehabilitación	Impacto energético	Facilidad de implementación	Aplicabilidad en viviendas existentes	Nivel de prioridad
Incorporación de aislación térmica en cubierta	Muy alto	Alta	Muy alta	Muy alta
Incorporación de aislación térmica en muros	Alto	Media	Alta	Muy alta
Control de infiltraciones de aire	Alto	Muy alta	Muy alta	Alta

Tratamiento de puentes térmicos	Alto	Media	Media	Alta
Reemplazo de carpinterías simples por DVH	Medio	Alta	Media	Media
Incorporación de protecciones solares exteriores	Medio	Alta	Alta	Media

La priorización propuesta integra cualitativamente los resultados experimentales obtenidos en las viviendas analizadas con criterios de factibilidad técnica de implementación, permitiendo establecer un orden de intervención según el potencial de mejora energética de cada estrategia. La metodología no pretende reemplazar evaluaciones energéticas detalladas ni simulaciones térmicas, sino constituir una herramienta preliminar de apoyo para orientar decisiones de rehabilitación en viviendas existentes, facilitando la toma de decisiones tanto en intervenciones particulares como en programas de mejoramiento del parque residencial.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que la calidad de la envolvente constituye el principal factor que condiciona el desempeño energético de las viviendas analizadas. La incorporación de aislación térmica, el control de infiltraciones y la mejora de carpinterías representan las acciones con mayor potencial para disminuir la demanda energética y mejorar el confort interior.

Como principal contribución, el trabajo propone un procedimiento simplificado para priorizar estrategias de rehabilitación energética a partir del diagnóstico de la envolvente edilicia. Este procedimiento permite organizar y jerarquizar intervenciones según criterios técnicos de desempeño y factibilidad, constituyendo una herramienta preliminar de apoyo para la toma de decisiones. Como línea futura de investigación se prevé incorporar técnicas de decisión multicriterio que permitan asignar ponderaciones objetivas a los criterios considerados.

REFERENCIAS

Stach, M., De Angelis, E., Cirnigliaro, P. y Sartor, A. (2022). Comportamiento higrotérmico en viviendas de interés social. Estudio de caso: Bahía Blanca. En Actas del 6.º Congreso Argentino de Ingeniería (CADI) y 12.º Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI). Argentina.

Luna, S., Schuvedt, M. y González, M. (2023). Análisis del comportamiento térmico invernal de tres viviendas en Bahía Blanca. En Actas de la XLV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES), Vol. 10, Semana Salta Sustentable, Salta, Argentina, 31 de octubre al 3 de noviembre de 2023, pp. 33-45.

Luna, S. y González, M. (2024). Evaluación higrotérmica de distintas tipologías constructivas en viviendas de Bahía Blanca. En Actas de las 1.ª Jornadas de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, AJEA – Actas de Jornadas y Eventos Académicos, Universidad Tecnológica Nacional, 30 y 31 de octubre de 2024.

Luna, S. y González, M. (2025). Evaluación del cumplimiento normativo del acondicionamiento térmico de la construcción de viviendas en Bahía Blanca. En Actas del 3.er Foro Ambiental, Argentina.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157926

International Organization for Standardization (ISO). (2017). ISO 52016-1:2017. Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

CARACTERIZACIÓN METABÓLICA DE CEPAS BACTERIANAS HALOTOLERANTES DEGRADADORAS DE HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS PARA EL DISEÑO RACIONAL DE UN PROCESO DE BIOAUMENTO

Parra, F. D.; Bandiera, L.; Cavello, I. A.; Coppotelli, B. M.; Macchi M.
Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales - CINDEFI (UNLP - CCT - CONICET)
Buenos Aires
mariamacchi307@hotmail.com

RESUMEN

El diseño de un proceso de bioaumento con microrganismos depende tanto de la identificación como de la caracterización fisiológica, funcional, ecológica y molecular de las cepas a utilizar, así como también de la estandarización y optimización de su cultivo para lograr escalados reproducibles y económicamente viables[1,2]. En estudios previos[3,4], se aislaron e identificaron cepas autóctonas halotolerantes de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo pertenecientes a la localidad de Añelo, Neuquén. Las cepas se identificaron mediante la secuenciación del gen 16s rRNA, se secuenciaron los genomas completos (Illumina MiSeq) y se caracterizaron en cuanto a su potencial para degradar hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), su resistencia a la salinidad y metales pesados[5] y las interacciones existentes entre sí como base para el diseño de ensambles microbianos. En este trabajo, se seleccionaron dos aislados microbianos, *Sphingobium yanoikuyae* VMM y *Pseudomonas stutzeri* VMCA, que presentaron interacciones sinérgicas, demostraron capacidad de degradar PAHs y tolerancia a la salinidad con los cuales se diseñó un consorcio sintético (cocultivo). Se determinó la eficiencia de degradación de fenantreno de los cultivos puros y del cocultivo y se realizó un análisis de fuentes de carbono utilizables para el diseño racional de medios de cultivos económicos y sustentables formulados a partir de residuos agroindustriales.

OBJETIVO

Diseñar consorcios bacterianos sintéticos halotolerantes con interacciones sinérgicas que maximicen la degradación de PAHs y evaluar residuos agroindustriales como fuentes de carbono para formular medios de cultivo de bajo costo destinados a la producción de biomasa.

RESULTADOS

Con el objetivo de evaluar la eficiencia de degradación de fenantreno, las cepas VMCA y VMM se cultivaron por separado en medio mineral salino (MMSAL49) suplementado con 200 mg/L de fenantreno como única fuente de carbono y energía. Luego de 15 días de incubación, la concentración remanente de fenantreno se cuantificó mediante HPLC-UV**.** En el mismo período, también se determinó la producción del ácido

1hidroxi-2-naftoico (AHN), un intermediario tóxico generado durante la degradación de fenantreno. La cepa VMM degradó 8,89 ± 1,16 % del fenantreno, mientras que VMCA alcanzó una degradación de 13,42 ± 1,49 %, siendo ambos valores significativamente superiores al control abiótico ($p < 0,05$). En cuanto a la acumulación de AHN, las cepas VMM y VMCA produjeron 2,98 ± 0,15 mg/L y 4,76 ± 0,75 mg/L, respectivamente. Posteriormente, se evaluó la degradación de fenantreno y la producción de AHN en el cocultivo de las cepas VMM y VMCA a los 4 y 15 días de incubación. El consorcio VMM-VMCA presentó porcentajes de degradación de 21,80 ± 1,46 % a los 4 días y de 32,72 ± 3,52 % a los 15 días, ambos significativamente superiores al control abiótico ($p < 0,05$). Asimismo, la producción de AHN fue de 26,68 ± 4,75 mg/L a los 4 días y de 29,25 ± 2,08 mg/L a los 15 días. Con el fin de identificar posibles fuentes de carbono utilizables por parte de las cepas aisladas, se realizó un ensayo utilizando el kit GEN III MicroPlate test BioLOG™[4] obteniendo un perfil de degradación de 71 fuentes de carbono distintas para cada cepa. Entre los sustratos metabolizados se destacaron diversos carbohidratos simples y disacáridos, como glucosa (VMM y VMCA), fructosa (VMM y VMCA), sacarosa (VMM), maltosa (VMM y VMCA), melibiosa (VMM), trehalosa (VMM y VMCA), celobiosa (VMM) y turanosa (VMM), resultando en fuentes de carbono prometedoras para aplicaciones biotecnológicas a escala productiva. Si bien estos compuestos en su estado puro pueden tener un costo elevado, su disponibilidad en forma de melaza de caña o remolacha las convierten en una fuente económicamente viable a escala industrial[6] y promueve estrategias de economía circular[7]. La melaza es un subproducto de la industria azucarera rico en azúcares reductores, minerales y compuestos orgánicos diversos, por lo que ha sido utilizada en cultivos bacterianos como una alternativa económica a medios sintéticos o enriquecidos[8]. La capacidad de la cepa VMCA para metabolizar pectina resulta de particular interés, ya que este polisacárido es un componente abundante en residuos de la industria frutihortícola, los cuales suelen generarse en grandes volúmenes y con bajo valor agregado[9]. Argentina es un importante productor y exportador de manzanas y peras, y la industria de la sidra representa un sector estratégico en las provincias de Río Negro y Neuquén. Esta actividad genera grandes cantidades de volúmenes de orujo/pulpa de manzana abundantes en fructosa y pectina que en gran parte se desecha (CAFI 2024). Estos residuos, compuestos por cáscara, pulpa y semillas, son altamente biodegradables, por lo que su disposición inadecuada representa un serio problema ambiental, contribuyendo a la contaminación. Los desechos de orujo/bagazo/ pulpa (pomace) de manzana se han propuesto como sustrato para la producción de diferentes productos de valor agregado[10], tales como enzimas ácidos orgánicos, etanol y biomasa. Su aprovechamiento no solo podría reducir el impacto ambiental, sino también aportar beneficios económicos en el marco de un modelo de economía circular[11]. Por otra parte, la capacidad de metabolizar otras fuentes de carbono como la dextrina (cepas VMM y VMCA), producto de la hidrólisis parcial del almidón presente en residuos amiláceos, y glicerol (cepa VMCA), subproducto de la industria del biodiesel y uno de los sustratos más utilizados en bioprocesos industriales debido a su bajo costo y vasta disponibilidad[12,13], amplía las posibilidades de formulación de medios económicos y sostenibles. Se evaluó el crecimiento de la cepa VMM en medio mínimo con glucosa o melaza de caña como única fuente de carbono.

En el medio con melaza, la cepa presentó una velocidad específica de crecimiento (μ) de 0,17 h^{-1}. Sin embargo, luego de 24 h de incubación se observó la formación de un precipitado insoluble que impidió determinar el rendimiento del cultivo mediante peso seco. En contraste, la cepa VMM no mostró crecimiento en el medio mineral definido con glucosa, lo que sugiere la necesidad de requerimientos nutricionales adicionales como factores de crecimiento.

CONCLUSIONES

El consorcio VMM-VMCA mostró un incremento significativo en la degradación de fenantreno respecto a los cultivos puros, evidenciando una interacción sinérgica entre ambas cepas. Asimismo, la mayor producción de AHN desde los primeros días de cultivo sugiere una mayor eficiencia en la oxidación inicial del PAH, posiblemente asociada a la complementariedad metabólica. El análisis del perfil de utilización de fuentes de carbono reveló una elevada versatilidad metabólica y constituye una herramienta clave para el diseño racional de medios de cultivo formulados a partir de residuos agroindustriales. La combinación estratégica de estos sustratos podría permitir formular medios de cultivo económicamente viables, reduciendo la dependencia de fuentes purificadas de alto costo y favoreciendo un enfoque de valorización de residuos. La melaza demostró ser adecuada para sostener crecimiento de la cepa VMM. En conjunto, estos resultados indican que la melaza puede ser útil como medio de ensayo preliminar o de escalado económico, pero requiere la necesidad de optimizar su formulación mediante ajustes de pH o pretratamientos que permitan mejorar el monitoreo del crecimiento y el rendimiento del proceso. Estos resultados constituyen una base para el desarrollo de tecnologías de biorremediación sustentables para la recuperación de suelos afectados por la actividad petrolera.

CITAS

1 Chettri, D. et al. *Biodegradation* **35**, 117–135 (2024).
2 Kaminsky, L. M. et al. Trends In Biotechnology 37(2), 140-151 (2018).
3 Junqueras A. Trabajo final de grado: Obtención de cultivos bacterianos autóctonos de interés para la biorremediación de suelos salinos afectados por la contaminación con hidrocarburos. UNLP 2025.
4 Goinhex Ayarza, V. Trabajo final de grado: “Estudio de las interacciones dentro de un consorcio bacteriano degradador de hidrocarburos autóctono de suelos salinos”. UNLP 2024.
5 Macchi M, Colman Deborah, Ellehoj Octavio, Parra Franco, Festa Sabrina, Coppotelli Bibiana M. Caracterización genómica y funcional de *Pseudomonas stutzeri* CA con actividad de degradación de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) en entornos de alta salinidad. VIII Jornadas Bonaerenses de Microbiología de Suelos para una Agricultura Sustentable, 2025.
6 Bochner, BR. Sleuthing out Bacterial Identities. Nature 339:157-158 (1989).
7 Lee, H.et al. Bioresource Technology, 376 (206):128879 (2023).
8 Watthanasakphuban, N. et al. Fermentation, 9(2), 149 (2023).
9 Bezus, B.et al. (2022). International Journal Of Biological Macromolecules, 209, 290-298 (2022).
10 Botella, C. et al. Process Biochemistry, 42(1), 98-101 (2007).
11 Göğüş, N. et al. Environmental Technology, 36(20), 2657-2667 (2015).
12 Yu, T. et al. Fermentation, 10(5), 240 (2024).
13 Da Silva, G. P. et al. Biotechnology Advances, 27(1), 30-39 (2008).

DIGITALIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Pinto, N.; Aquino, D.; Cuenca Pletsch, L.; Morgada, M. E.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia
Chaco
ns.pinto@ca.frre.utn.edu.ar

RESUMEN

La sostenibilidad en las instituciones de educación superior demanda enfoques integrales capaces de articular la transformación digital con los procesos de gestión institucional. En este contexto, el presente estudio examina la evidencia científica disponible sobre la digitalización de la gestión de prácticas sostenibles mediante una revisión sistemática de la literatura. La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases IEEE Xplore, Springer, ScienceDirect y Google Scholar, considerando publicaciones correspondientes al período 2020–2026. Luego de aplicar criterios de inclusión, exclusión y evaluación de calidad metodológica, se seleccionaron 26 estudios para su análisis cualitativo. Los hallazgos muestran que la digitalización contribuye al fortalecimiento de la gestión académica y administrativa, la gobernanza institucional, el monitoreo de indicadores, la eficiencia en el uso de los recursos y la toma de decisiones basada en datos. Asimismo, se identifican enfoques y marcos de referencia recurrentes, entre ellos Smart Campus, liderazgo digital, inteligencia artificial e Internet de las Cosas, como componentes relevantes en la configuración de entornos universitarios más sostenibles. Se concluye que la digitalización constituye un habilitador estratégico de la sostenibilidad universitaria; sin embargo, persiste la necesidad de desarrollar modelos integrales que articulen de manera sistémica las dimensiones académica, administrativa, ambiental y de gobernanza, particularmente en el contexto de las universidades latinoamericanas.

Palabras clave: transformación digital; sostenibilidad; educación superior; revisión sistemática; Smart Campus.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital y la sostenibilidad constituyen dos de los principales ejes estratégicos para las instituciones de educación superior en la actualidad (United Nations, 2015). Las universidades enfrentan el desafío de incorporar tecnologías digitales que no solo optimicen sus procesos administrativos y académicos, sino que también contribuyan al cumplimiento de objetivos de desarrollo sostenible mediante una gestión más eficiente, transparente y basada en datos (Trevisan et al., 2023). En este contexto, diversas investigaciones han propuesto herramientas, plataformas y modelos orientados a fortalecer la sostenibilidad institucional; sin embargo, la

evidencia disponible se encuentra dispersa y aborda el fenómeno desde perspectivas heterogéneas.

Frente a este escenario, el presente trabajo realiza una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) con el objetivo de identificar y analizar la evidencia científica existente sobre la digitalización de prácticas sostenibles en instituciones de educación superior. En particular, la revisión busca responder qué impactos tiene la digitalización sobre la gestión administrativa y académica universitaria y qué marcos, modelos o metodologías se emplean para implementar dichas prácticas, aportando una visión integrada del estado actual del conocimiento e identificando oportunidades para futuras investigaciones.

El artículo se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 presenta objetivos del estudio y la sección 3 el desarrollo metodológico de la RSL y los principales resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos. Finalmente, la Sección 4 presenta las conclusiones del estudio, sus limitaciones y las principales líneas de trabajo futuro.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio consiste en analizar la evidencia científica disponible sobre la digitalización de la gestión de prácticas sostenibles en instituciones de educación superior.
De manera específica, se propone:

- Examinar los impactos de la digitalización sobre la gestión académica y administrativa de las universidades.
- Identificar los marcos conceptuales, modelos y metodologías empleados en la implementación de prácticas sostenibles digitalizadas.
- Reconocer vacíos en la producción científica que permitan orientar futuras agendas de investigación en transformación digital y sostenibilidad universitaria.

DESARROLLO

La investigación se desarrolló mediante una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), siguiendo las recomendaciones metodológicas propuestas por Kitchenham y Charters (2007). La búsqueda se efectuó en IEEE Xplore, Springer, Google Scholar y ScienceDirect utilizando cadenas relacionadas con educación superior, sostenibilidad y transformación digital.

Después de aplicar criterios de inclusión, exclusión y evaluación de calidad, se seleccionaron 27 estudios para el análisis cualitativo[vi].

El análisis evidencia que la digitalización constituye un proceso de transformación organizacional que impacta la gestión administrativa, académica, la gobernanza, la infraestructura y la cultura institucional. Tecnologías como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT), el modelado BIM, los gemelos digitales y los sistemas inteligentes de información contribuyen a optimizar procesos, reducir el consumo

energético, mejorar la trazabilidad institucional y fortalecer la toma de decisiones basada en datos (Ali-Ashgar et al., 2023; Ramdhani et al., 2024; Folorunso et al., 2021).

En el ámbito académico, los estudios muestran que la inteligencia artificial y las plataformas digitales favorecen el aprendizaje adaptativo, la inclusión y la formación docente en sostenibilidad (Shaya et al., 2025; Espejo-Antúnez et al., 2025). Desde la perspectiva organizacional, el liderazgo digital y la gobernanza emergen como factores determinantes para consolidar procesos de transformación digital sostenible (Pu et al., 2025; Janevska et al., 2025).

Asimismo, la literatura identifica múltiples marcos metodológicos para orientar estos procesos, entre ellos Smart Campus, University 5.0, modelos de liderazgo digital, sistemas de gestión ambiental y arquitecturas basadas en IoT. No obstante, ningún estudio propone un modelo integral que articule de manera conjunta las dimensiones académica, administrativa, ambiental, social y de gobernanza, particularmente en universidades latinoamericanas.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática realizada permitió sintetizar el estado actual del conocimiento sobre la digitalización de la gestión de prácticas sostenibles en instituciones de educación superior. La evidencia analizada muestra que la transformación digital contribuye al fortalecimiento de la eficiencia administrativa, el monitoreo institucional, la gobernanza y los procesos académicos, configurándose como un factor estratégico para el avance de la sostenibilidad universitaria.

Los resultados obtenidos también permiten advertir que el éxito de estas iniciativas no depende exclusivamente de la incorporación de tecnologías digitales, sino también de la presencia de condiciones organizacionales favorables, entre las que se destacan el liderazgo, la gestión del cambio y el desarrollo de capacidades institucionales. En consecuencia, la digitalización orientada a la sostenibilidad debe comprenderse como un proceso integral de transformación institucional y no únicamente como una innovación de base tecnológica.

Finalmente, se identifica como una vacancia relevante en la literatura la ausencia de modelos integrales capaces de articular, desde una perspectiva sistémica, la sostenibilidad, la transformación digital y la gestión universitaria. En este sentido, futuras investigaciones deberían orientarse al diseño, validación y aplicación de marcos metodológicos pertinentes para el contexto latinoamericano, que contribuyan a la planificación, el monitoreo y la evaluación de prácticas sostenibles mediadas por tecnologías digitales.

REFERENCIAS

Ali-Ashgar, S. K., Alebaba, H. I., y Bolong, N. (2023). Evaluating energy efficiency and sustainability in the Universiti Malaysia Sabah's (UMS) library through 6D Building Information Modelling (BIM). 2023 IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAIET), 382-386. doi:10.1109/IICAIET59451.2023.10291702

Espejo-Antúnez, L., Corrales-Serrano, M., Zamora-Polo, F., y Cardero-Durán, M. A. (2025). Is university teaching aligned with the sustainable development goals possible? An approach through the virtual training of university professors. International Journal of Sustainability in Higher Education, 26(9), 372-388. doi:10.1108/IJSHE-06-2024-0405
Kitchenham, B. y Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report.
Pu, R., Dong, R. K., y Jiang, S. (2025). Toward the Education for Sustainable Development (ESD): Digital leadership and knowledge-sharing behavior on the higher education institutional change. Education and Information Technologies, 30(8), 10567-10589. doi:10.1007/s10639-024-13247-0
Ramdhani, L. G. A., Kamil, F. S. A., Setianingrum, S. R., Sugesti, E. S., y Karna, N. (2024). Implementation of 4.0 technology in faculty offices at Telkom University Landmark Tower using PIR sensors and smart switches. 2024 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTaIS), 247-252. doi:10.1109/IoTaIS64014.2024.10799488
Shaya, N., AbuKhait, R., Madani, R., y Ahmed, V. (2025). Conceptualizing blended learning models as a sustainable and inclusive educational approach: An organizational dynamics perspective. International Journal of Sustainability in Higher Education, 26(9), 90-111. doi:10.1108/IJSHE-03-2024-0167
Trevisan, L. V., Eustachio, J. H. P. P., Galleli Dias, B., Leal Filho, W., y Ávila Pedrozo, E. (2023). Digital transformation towards sustainability in higher education: State-of-the-art and future research insights. Environment, Development and Sustainability, 26(2), 2789-2810. doi:10.1007/s10668-022-02874-7
United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development.

VALORIZACIÓN INTEGRADA DEL ACEITE ÁCIDO DE MAÍZ DE LA INDUSTRIA DEL BIOETANOL: DESACIDIFICACIÓN, DESGOMADO Y PRODUCCIÓN EXPERIMENTAL DE FAEE

Prieto Benitez, O.; Gayol, M. F.; Gutierrez, M. S.; Magallanes, L. M.
Grupo de Simulación Aplicada - Departamento de Tecnología Química - Facultad de Ingeniería - IDAS - CONICET - UNRC
Córdoba
oprieto@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

El aceite de maíz recuperado en destilerías de bioetanol constituye una corriente lipídica con potencial de valorización, pero su elevada acidez y la presencia de compuestos fosforados dificultan su transformación directa mediante transesterificación alcalina. En este trabajo se integran los resultados de tres etapas experimentales sucesivas orientadas al acondicionamiento de esta corriente y a su transformación en ésteres etílicos de ácidos grasos (FAEE). En la primera etapa se evaluó la desacidificación mediante una tecnología de destilación bajo vacío, utilizando una serie de diez ensayos en los que se variaron presión, temperatura y caudal de alimentación. A partir de un aceite con un contenido inicial de ácidos grasos libres (AGL) de aproximadamente 15 % (expresado como ácido oleico), la mejor condición evaluada fue 10 Torr, 250 °C y 5 mL/min, alcanzándose un 0,42 % de AGL, lo que equivale a una reducción superior al 97 %. En una segunda etapa se compararon estrategias de desgomado: la hidratación simple dejó 100–200 ppm de fósforo residual, mientras que el tratamiento con ácido fosfórico y agua permitió alcanzar valores inferiores a 30 ppm. Finalmente, el aceite acondicionado se empleó en ensayos de transesterificación etílica y purificación. La eliminación de agentes acidulantes durante la separación y el lavado, junto con centrifugación, permitió obtener FAEE con índices de acidez de 0,34–0,45 mg KOH/g empleando KOH; la posterior utilización de etóxido de sodio produjo valores de 0,37–0,38 mg KOH/g y un rendimiento másico máximo del 78 % a escala de laboratorio. En conjunto, los resultados demuestran la factibilidad de articular desacidificación, desgomado y transesterificación como una estrategia de valorización del aceite ácido de maíz, con potencial de integración en complejos de bioetanol y de aprovechamiento de una corriente secundaria regional.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de biocombustibles a partir de corrientes secundarias de procesos agroindustriales permite combinar dos objetivos de interés tecnológico: ampliar el aprovechamiento de materias primas renovables y recuperar valor de corrientes que presentan limitaciones para su utilización directa. En la industria del bioetanol de maíz, parte de los lípidos presentes en la materia prima puede recuperarse de corrientes del

proceso y conformar el denominado aceite de maíz de destilería o distillers corn oil (DCO). La recuperación de esta fracción contribuye a diversificar los productos de una biorrefinería y ha sido señalada como una alternativa de valorización dentro de la cadena de producción de etanol (Rocha et al., 2025). En Argentina, y particularmente en Córdoba, la producción de bioetanol de maíz posee una relevancia industrial significativa, por lo que el desarrollo de alternativas de aprovechamiento de sus corrientes secundarias presenta interés regional (Bolsa de Comercio de Rosario, 2023).

El DCO puede constituir una materia prima para la producción de biodiésel; sin embargo, su composición depende del origen y del proceso de recuperación. En las muestras industriales consideradas en este proyecto se observaron contenidos elevados de AGL, del orden de 12–15 % expresados como ácido oleico. Este nivel de acidez es desfavorable para la transesterificación catalizada por bases, debido a que los AGL consumen catalizador y favorecen la formación de jabones, con consecuencias sobre la separación de fases y la purificación del producto. La eficiencia de la transesterificación depende de la composición de la materia prima, del sistema catalítico y de las condiciones de reacción, factores ampliamente reconocidos en la producción de biodiésel (Encinar et al., 2007; Mohamed et al., 2023).

Una alternativa para disminuir la acidez sin recurrir a la neutralización alcalina del aceite es la separación física de los AGL aprovechando su mayor volatilidad respecto de los triacilglicéridos. La destilación molecular y otras configuraciones de recorrido corto bajo vacío se emplean para el fraccionamiento de mezclas lipídicas y sustancias termosensibles, ya que permiten trabajar con tiempos de residencia reducidos y presiones bajas. El desempeño depende de las características de la mezcla y de variables como la temperatura, el caudal de alimentación y la presión de operación (Fregolente et al., 2007; Idárraga-Vélez et al., 2023). Changwatchai et al. (2022), utilizando una mezcla de ácido oleico y aceite de soja, mostraron que el aumento de la temperatura de evaporación favorece la disminución del contenido de AGL del retenido en destilación molecular de película descendente.

Un antecedente particularmente relevante fue desarrollado por integrantes del mismo grupo de investigación sobre aceite ácido de maíz proveniente de la industria del bioalcohol. Miró Erdmann et al. (2019) procesaron un aceite con 9,44 % de acidez inicial y lograron valores inferiores a 0,3 % como ácido oleico en el residuo a temperaturas superiores a 180 °C, demostrando la factibilidad de la destilación molecular para la valorización de esta corriente. Estos resultados sustentaron la continuidad del desarrollo orientado a condiciones de operación compatibles con una futura implementación tecnológica.

La reducción de acidez, no obstante, no resuelve por sí sola todos los problemas de acondicionamiento. Los fosfolípidos y el fósforo residual pueden interferir en operaciones posteriores y en la calidad del biodiésel. El desgomado constituye una etapa convencional de refinación destinada a remover fosfolípidos; los compuestos

hidratables pueden separarse mediante agua, mientras que los fosfolípidos no hidratables requieren estrategias como el desgomado ácido (Demydova et al., 2021). Estudios orientados a biodiésel han demostrado que el contenido de fósforo de aceites sin desgomar puede comprometer la calidad del producto y que el tratamiento con ácido fosfórico puede ser más efectivo que la hidratación simple (Costa et al., 2018).
Sobre esta base, el presente trabajo no se limita a una única operación unitaria, sino que analiza una estrategia de acondicionamiento en etapas: desacidificación del aceite, reducción de fósforo mediante desgomado y posterior transesterificación etílica. Las etapas experimentales se ejecutaron de manera sucesiva en el marco del proyecto de cooperación entre el Grupo de Simulación Aplicada a Procesos Tecnológicos (SIMAP, UNRC) y Synergy Solutions S.A.S. Los resultados se integran aquí como eslabones de una misma ruta tecnológica; no se interpretan como un único balance de masa realizado sobre un mismo lote seguido de extremo a extremo. Este enfoque permite evaluar de manera más completa la posibilidad de valorizar una corriente lipídica de la industria del bioetanol y generar información útil para su futura integración y escalado.

OBJETIVOS

El objetivo general fue desarrollar y evaluar una estrategia integrada para el acondicionamiento de aceite ácido de maíz proveniente de la industria del bioetanol, orientada a su posterior transformación en FAEE.

Objetivos específicos:

- Evaluar condiciones operativas de desacidificación capaces de reducir el contenido de ácidos grasos libres hasta valores inferiores al 0,5 % como ácido oleico.
- Comparar estrategias de desgomado para disminuir el contenido de fósforo residual y mejorar el acondicionamiento del aceite para su posterior transformación.
- Evaluar la producción de FAEE mediante transesterificación etílica y establecer condiciones de separación y purificación que permitan reducir la formación de emulsiones y la acidez final del producto.

DESARROLLO Y RESULTADOS

El trabajo se estructuró en tres etapas sucesivas orientadas a transformar progresivamente el aceite de maíz de alta acidez en una materia prima acondicionada para la obtención de FAEE: desacidificación, desgomado y producción/refinado, tal como se esquematiza en la Figura 1.



Figura 1. Esquema general de la estrategia de valorización del aceite ácido de maíz proveniente de la industria del bioetanol.

En la fase de desacidificación se utilizó aceite de maíz de alta acidez procedente de la industria regional, con un contenido inicial de AGL de aproximadamente 15 % como ácido oleico. La acidez se determinó por titulación según el método AOCS Ca 5a-40. Se realizaron diez ensayos en un destilador de película descendente variando la presión de operación, la temperatura del aceite y el caudal de alimentación. El criterio de proceso adoptado fue obtener un aceite con un contenido de AGL menor a 0,5 % como ácido oleico y, en forma complementaria, registrar las pérdidas de producto asociadas a cada condición.

Las condiciones y resultados de la serie E1–E10 se presentan en la Tabla 1. La variable denominada pérdida de producto se conserva con la denominación utilizada en los registros experimentales. Dado que en esta etapa no se dispone de una caracterización composicional completa de la fracción destilada, este indicador no debe interpretarse como pérdida exclusiva de triacilglicéridos.

Tabla 1. Condiciones y resultados de la fase de desacidificación.

Ensayo	Presión (Torr)	Temperatura (°C)	Caudal (mL/min)	Acidez final (% AGL)	Pérdida reportada (%)
E1	6	240	1,5	0,55	12
E2	6	230	1,5	0,65	10
E3	6	210	1,5	0,81	9
E4	2	210	2,5	0,71	10
E5	15	220	1,7	9,53	10
E6	15	235	1,7	3,09	11
E7	15	250	1,0	0,80	15
E8	15	250	1,5	0,90	15
E9	2	225	1,2	0,60	18
E10	10	250	5,0	0,42	15

El comportamiento de la serie muestra que la desacidificación depende de la combinación de las condiciones operativas. A 15 Torr, la acidez disminuyó marcadamente al incrementar la temperatura desde 220 hasta 250 °C, pasando de

9,53 % a valores de 0,80–0,90 % como ácido oleico, aunque ninguna condición alcanzó el criterio de 0,5 %. A 2 Torr se obtuvieron 0,71 % y 0,60 % de AGL en E4 y E9 respectivamente; la disminución adicional de la presión no garantizó por sí sola el cumplimiento del criterio y E9 presentó, además, el mayor valor de pérdida reportada de la serie (18 %). En los tres ensayos realizados a 6 Torr y caudal constante de 1,5 mL/min se observó una tendencia clara con la temperatura: la acidez disminuyó de 0,81 % a 210 °C a 0,65 % a 230 °C y 0,55 % a 240 °C.

La mejor condición entre las evaluadas correspondió a E10: 10 Torr, 250 °C y 5 mL/min. Bajo estas condiciones la acidez se redujo desde aproximadamente 15 % hasta 0,42 % como ácido oleico, equivalente a una disminución superior al 97 %. Este fue el único ensayo de la serie que alcanzó el criterio adoptado de acidez inferior a 0,5 % expresado como ácido oleico. La tendencia general es coherente con antecedentes de destilación molecular que señalan la importancia conjunta de las variables térmicas e hidrodinámicas (Fregolente et al., 2007; Changwatchai et al., 2022).

La segunda etapa se orientó al desgomado del aceite acondicionado. Se comparó hidratación simple con desgomado ácido. En la hidratación, el aceite se trató con agua destilada a 70–75 °C; el procedimiento produjo una remoción parcial de fósforo, del orden de 30–50 %, y dejó concentraciones residuales de 100–200 ppm. En el desgomado ácido se empleó ácido fosfórico al 0,3 % p/p y agua destilada al 3 % p/p, con enfriamiento controlado desde 80 hasta 60 °C a una velocidad aproximada de 1,5–2 °C/min y agitación suave. Bajo estas condiciones se obtuvieron remociones de fósforo superiores al 90 % y valores residuales inferiores a 30 ppm.

La superioridad del desgomado ácido frente a la hidratación simple es consistente con la naturaleza de los fosfolípidos no hidratables presentes en aceites vegetales. En el proyecto, la mejora del desgomado se reflejó además en una separación de fases más favorable durante los ensayos posteriores de transesterificación. Esta observación es coherente con la literatura, que reconoce la necesidad de convertir o remover fosfolípidos no hidratables mediante tratamientos ácidos y ha documentado mejoras de fósforo en aceites destinados a biodiésel (Costa et al., 2018; Demydova et al., 2021).

La tercera etapa correspondió a la producción de FAEE. En una fase exploratoria se realizaron más de treinta ensayos secuenciales para ajustar las condiciones de reacción. Posteriormente se trabajó con una condición de referencia de 120 min, 68–70 °C y una relación molar etanol:aceite de 12:1. Con hidróxido de potasio (KOH) se redujo la concentración de catalizador hasta 0,75 % p/p. Un problema inicial fue la elevada acidez del producto después de la reacción: cuando se utilizaban agentes acidulantes durante la separación de glicerina o los lavados, se obtuvieron índices de acidez claramente superiores al criterio adoptado. Por este motivo, se desarrolló una serie sistemática de seis ensayos en la que se modificaron las etapas de separación y purificación. La importancia de estas variables es consistente con lo reportado en la literatura, donde la selección del catalizador y de las operaciones de postratamiento

se reconoce como un aspecto determinante en la producción de biodiésel, particularmente cuando la materia prima presenta compuestos que pueden favorecer la formación de jabones y emulsiones (Kosuru et al., 2024).

En esta fase se implementó un procedimiento que eliminó los agentes acidulantes del postratamiento y utilizó centrifugación para separar la glicerina y efectuar los lavados. La reacción se realizó con 131 g de aceite, 82 g de etanol anhidro y 1,09 g de KOH (0,75 % p/p considerando la pureza utilizada), durante 120 min a 68–70 °C. La separación de glicerina se efectuó por centrifugación a 4000 rpm durante 20 min; el etanol se recuperó posteriormente por rotoevaporación, y el producto se lavó con salmuera al 5 % y luego con agua destilada, utilizando centrifugación entre etapas. Con este esquema se obtuvieron índices de acidez de 0,34–0,45 mg KOH/g.

Una vez validado el esquema de purificación sin agentes acidulantes, se evaluó etóxido de sodio (NaOEt) como catalizador. Dos tandas consecutivas produjeron índices de acidez de 0,37 y 0,38 mg KOH/g. En la tanda con salmuera durante el primer lavado, el rendimiento másico de FAEE respecto del aceite fue de 78 %, frente a 71 % obtenido con KOH en la condición de referencia. Estos rendimientos incluyen las pérdidas de manipulación inherentes a la escala de laboratorio, por lo que no deben extrapolarse directamente a una escala mayor. El uso de NaOEt también se asoció con una menor proporción de fase inferior respecto de los ensayos con KOH, consistente con una menor formación de jabones.

La formación de FAEE fue evaluada cualitativamente mediante cromatografía en capa fina (TLC). Las placas mostraron manchas dominantes en la zona atribuida a FAEE y una conversión cualitativa estimada entre 85 y 95 %. Sin embargo, la TLC empleada no es una técnica cuantitativa y puede existir coelución parcial entre triacilglicéridos y FAEE. Por lo tanto, la confirmación del contenido de ésteres y el cumplimiento integral de especificaciones de calidad requieren análisis cromatográfico instrumental y determinaciones adicionales de glicerina, humedad y otras propiedades.

Consideradas en conjunto, las tres etapas muestran una progresión tecnológica: una corriente inicialmente limitada por su elevada acidez pudo ser desacidificada hasta 0,42 % como ácido oleico; el tratamiento posterior redujo el fósforo a menos de 30 ppm; y el aceite acondicionado permitió producir experimentalmente FAEE con bajo índice de acidez mediante transesterificación etílica. Desde el punto de vista de la sustentabilidad, el principal aporte demostrado es la valorización de una corriente secundaria de la industria del bioetanol y la posibilidad de articularla con etanol como reactivo de la misma cadena productiva. La estrategia de desacidificación evaluada permite prescindir de una etapa de neutralización alcalina masiva del aceite, mientras que la optimización del postratamiento de FAEE permitió eliminar agentes acidulantes de separación y lavado.

La integración de las operaciones de desacidificación, desgomado y transesterificación permite plantear una ruta tecnológica específicamente orientada a

la valorización del aceite ácido de maíz generado por la industria regional del bioetanol. Este desarrollo se llevó a cabo en el marco de la cooperación entre la UNRC y Synergy Solutions S.A.S., a partir de una problemática de interés productivo concreta. En este contexto, los resultados obtenidos no solo aportan información sobre las condiciones de operación de cada etapa, sino que constituyen una base experimental para avanzar hacia estudios de escalabilidad, integración de procesos y evaluación técnico-económica, aspectos necesarios para una futura transferencia al sector productivo.

CONCLUSIONES

El trabajo permitió integrar resultados experimentales de desacidificación, desgomado y transesterificación en una ruta tecnológica para la valorización de aceite ácido de maíz proveniente de la industria del bioetanol. En la etapa de desacidificación, la condición de mejor desempeño dentro de la serie evaluada fue 10 Torr, 250 °C y 5 mL/min, con una reducción de la acidez desde aproximadamente 15 % hasta 0,42 % como ácido oleico. Los resultados muestran que el desempeño depende de la combinación de variables operativas y no permiten atribuir a una única variable un efecto dominante sin un diseño estadístico específico.

El acondicionamiento posterior mediante desgomado ácido permitió disminuir el fósforo residual a valores inferiores a 30 ppm, frente a 100–200 ppm obtenidos con hidratación simple. Esta etapa mejoró el comportamiento del aceite en los ensayos posteriores de transesterificación y evidenció que la reducción de acidez, por sí sola, no era suficiente para asegurar un procesamiento adecuado.

La obtención de una fracción compatible cualitativamente con FAEE fue demostrada a escala de laboratorio. La eliminación de agentes acidulantes en las etapas de separación y lavado, combinada con centrifugación, permitió obtener índices de acidez de 0,34–0,45 mg KOH/g con KOH. La posterior utilización de NaOEt produjo 0,37–0,38 mg KOH/g y un rendimiento másico máximo del 78 %. La caracterización por TLC respalda cualitativamente la formación de ésteres, aunque permanece pendiente la cuantificación instrumental del contenido de FAEE y la caracterización integral del producto.

En consecuencia, los resultados proporcionan evidencia experimental de que una corriente lipídica de elevada acidez puede ser progresivamente acondicionada y transformada en un producto de mayor valor. La integración potencial con complejos de bioetanol, junto con la valorización de una corriente secundaria y la utilización de etanol en la síntesis, constituye el principal vínculo del desarrollo con la sustentabilidad y con estrategias de valorización compatibles con los principios de la economía circular.

REFERENCIAS

Bolsa de Comercio de Rosario. (2023). Biocombustibles: año seco, futuro verde; la caída que fue y proyecciones de recuperación para 2024. Informativo Semanal, 22 de diciembre de 2023.

Changwatchai, T., Nakajima, M., Felipe, L. O., & Neves, M. A. (2022). Separation of Free Fatty Acid and Triglycerides by Molecular Distillation–Experimental and Simulation Approaches. Processes, 10(10), 2053. https://doi.org/10.3390/pr10102053

Costa, E., Almeida, M. F., Alvim-Ferraz, M. C., & Dias, J. M. (2018). Effect of Crambe abyssinica oil degumming in phosphorus concentration of refined oil and derived biodiesel. Renewable Energy, 124, 27–33. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.089

Demydova, A., Gladky, F., & Berezka, T. (2021). Modern Methods of Degumming of Vegetable Oils: An Analytical Review. Innovative Biosystems and Bioengineering, 5(2), 105–116. https://doi.org/10.20535/ibb.2021.5.2.227359

Encinar, J. M., González, J. F., & Rodríguez-Reinares, A. (2007). Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. Fuel Processing Technology, 88(5), 513–522. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2007.01.002

Fregolente, L. V., Fregolente, P. B. L., Chicuta, A. M., Batistella, C. B., Maciel, R., & Wolf-Maciel, M. R. (2007). Effect of operating conditions on the concentration of monoglycerides using molecular distillation. Chemical Engineering Research and Design, 85(11), 1524–1528. https://doi.org/10.1205/cherd07024

Idárraga-Vélez, Á. M., Orozco, G. A., & Gil-Chaves, I. D. (2023). A systematic review of mathematical modeling for molecular distillation technologies. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 184, 109289. https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109289

Mohamed, E. A., Betiha, M. A., & Negm, N. A. (2023). Insight into the Recent Advances in Sustainable Biodiesel Production by Catalytic Conversion of Vegetable Oils: Current Trends, Challenges, and Prospects. Energy & Fuels, 37(4), 2631–2647. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c03887

Miró Erdmann, S. M., Magallanes, L. M., Tarditto, L. V., Prizzon, A., Pramparo, M. C., & Gayol, M. F. (2019). Recovery of acid corn oil from the bioalcohol industry by molecular distillation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(9), 4468–4473. https://doi.org/10.1002/jsfa.9684

Rocha, V. A. L., Mota, M. F. S., de Castro, R. P. V., Teixeira, D. B., de Oliveira Junior, E., Cardoso, M. M., Campos, D. O., de Almeida, J. M. A. R., & Freire, D. M. G. (2025). Biosurfactants Contribute to Distiller's Corn Oil Recovery during Ethanol Production. ACS Omega, 10(51), 63117–63124. https://doi.org/10.1021/acsomega.5c09040

Kosuru, S. M. Y., Delhiwala, Y., Koorla, P. B., & Mekala, M. (2024). A review on the biodiesel production: Selection of catalyst, pre-treatment, post-treatment methods. Green Technologies and Sustainability, 2(2), 100061. https://doi.org/10.1016/j.grets.2023.100061

EJE MINERÍA Y PETRÓLEO SUSTENTABLE

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RESINA COMERCIAL EN LA ESTERIFICACIÓN DE ÁCIDO OLEICO

Marenchino, R.; Monge, N.
Universidad Nacional de Río Cuarto
Córdoba
rmarenchino@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

La catálisis heterogénea representa una alternativa promisoria para mejorar la sostenibilidad del proceso de producción de biodiesel. En este trabajo se evaluó el desempeño de una resina comercial de intercambio iónico en la esterificación de ácido oleico con etanol. Los ensayos se realizaron en un reactor discontinuo a 75 °C y relación molar etanol/ ácido oleico 12/1, estudiando el efecto de la concentración de catalizador y de la velocidad de agitación. Los resultados mostraron que la conversión aumentó con la concentración de catalizador hasta un valor máximo de 57,8 % para 300 rpm. Incrementos adicionales no produjeron mejoras significativas, lo que sugiere limitaciones de transferencia de masa. Asimismo, una mayor velocidad de agitación mejoró los resultados obteniendo una conversión del 59,4 % para 600 rpm. Los resultados obtenidos aportan criterios para la selección de condiciones operativas y el diseño de reactores continuos para la producción de biodiesel.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad económica y ambiental de la producción de biodiesel depende en gran medida de la elección de las condiciones operativas, elección de la materia prima y catalizador y diseño del reactor. En este sentido, los catalizadores heterogéneos mejoran potencialmente la cinética de reacción y presentan la ventaja de ser fácilmente recuperables y reutilizables. En este contexto, el empleo de catalizadores ácidos heterogéneos ha despertado un creciente interés (Yaghi et al., 2025).

Se han investigado diversos materiales catalíticos como las resinas comerciales de intercambio iónico para la transesterificación de aceites comestibles usados, la esterificación de ácidos grasos libres presentes en aceites de elevada acidez y la esterificación de ácido oleico (Ilgen and Baytas, 2024; Gómez-Trejo-López et al., 2022), con resultados satisfactorios.

Si bien se han logrado importantes avances en la obtención de biodiesel, aún es necesario profundizar en distintos aspectos del proceso. En este contexto, resulta de interés evaluar el comportamiento de un catalizador ácido heterogéneo comercial en la reacción de esterificación de ácido oleico, como etapa previa al análisis de la factibilidad de modelar un reactor continuo para la producción de biodiesel.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño de un catalizador heterogéneo comercial en la reacción de esterificación de ácido oleico con etanol, analizando la influencia de la concentración de catalizador y de la velocidad de agitación sobre el avance de la reacción.

DESARROLLO

Las experiencias de esterificación se realizaron en un reactor discontinuo (batch) a escala laboratorio. La temperatura y la velocidad de agitación se controlaron utilizando una platina calefactora con sonda de temperatura y agitación magnética. El avance de la reacción se siguió tomando muestras a intervalos de tiempo establecidos y determinando el contenido ácido por titulación ácido-base con NaOH (indicador fenolftaleína).

Los reactivos utilizados fueron ácido oleico (97,5% de pureza), etanol (99%) y la resina comercial PC150SH (Purolite SA) como catalizador.

Las reacciones se llevaron a cabo a una temperatura de 75°C y relación molar ácido oleico/etanol 1/12. Se estudió la influencia de la concentración de catalizador (0,85; 4,9; 9,8 y 29,4 % p/p) y el efecto de la velocidad de agitación (300 y 600 rpm). Los ensayos se realizaron sin réplicas independientes (n = 1).
Los resultados de la reacción se evaluaron mediante la conversión "x" dada por $x = (C_{A,0} - C_A)/C_{A,0}$
donde, $C_{A,0}$ y C_A son las concentraciones de ácido oleico inicial y a un tiempo determinado, respectivamente [M].
La velocidad de reacción "r_A" se estimó por diferenciación numérica ($-r_A = \Delta C_A/\Delta t$) [M/min].

RESULTADOS

El efecto de la concentración de catalizador en la conversión para 120 y 240 minutos de reacción se presenta en la tabla 1. Puede observarse que, al incrementar la concentración de catalizador desde 0,85 a 9,8 %, la conversión aumentó para ambos tiempos de reacción, alcanzando un valor máximo de 57,8 %. Sin embargo, al incrementar la concentración hasta 29,4 %, la conversión disminuyó ligeramente para los dos tiempos estudiados.

Tabla 1. Resultados experimentales de conversión de ácido oleico en función de la concentración de catalizador para 120 y 240 minutos de reacción.

	Concentración de catalizador (%)			
	0,85	4,9	9,8	29,4
x (120 min)	15,0	30,5	33,9	29,8
x (240 min)	24,0	45,7	57,8	56,6

Para las condiciones estudiadas, el incremento de la concentración de catalizador hasta 9,8 % produjo un aumento de la conversión de ácido oleico, lo que puede atribuirse al aumento de la cantidad de sitios activos disponibles. Al aumentar la concentración de catalizador por encima de este valor, se observó una leve disminución en la conversión. Este comportamiento podría estar asociado a una menor eficiencia de mezclado y a posibles efectos de transferencia de masa en el sistema sólido-líquido, aunque sería necesario realizar estudios adicionales para confirmar esta hipótesis.

En la figura 1 se observa que, para una dada concentración de catalizador, la velocidad de reacción disminuye con el tiempo, lo cual se asocia a la reducción progresiva de la concentración de ácido oleico y a la aproximación del sistema al estado de equilibrio. Por otro lado, se evidencia un comportamiento similar de la velocidad de reacción para concentraciones de catalizador de 9,8 % y 29,4 %, mientras que resulta inferior para la menor concentración ensayada. Esto sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, incrementos en la cantidad de catalizador por encima de 9,8 % no producen mejoras significativas

En la figura 2 se puede observar el efecto de la velocidad de agitación para dos concentraciones de catalizador (0,85 y 4,9 %). La mayor conversión de ácido oleico fue de 59,4% a los 240 min para el ensayo con mayor concentración de catalizador y velocidad de agitación. Las diferencias observadas en las conversiones alcanzadas podrían atribuirse a limitaciones de transferencia de masa externas, tales como la difusión en la interfase líquido–sólido y la convección en la fase líquida.

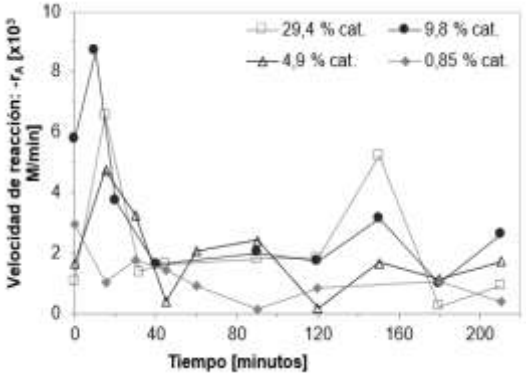


Figura 1. Velocidad de esterificación experimental en función del tiempo para las concentraciones de catalizador ensayadas.

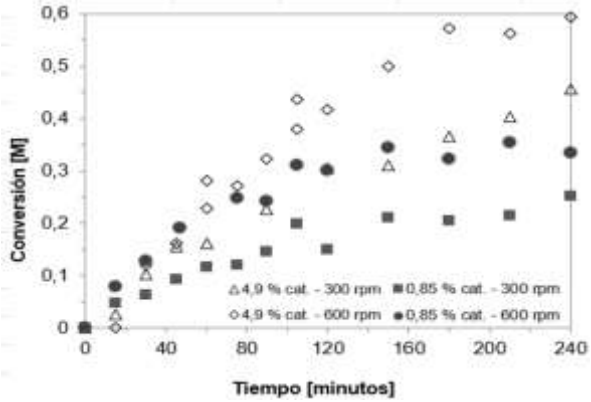


Figura 2. Conversión de ácido oleico para concentración de catalizador 0,85 y 4,9 % y velocidades de agitación de 300 y 600 rpm.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el catalizador heterogéneo comercial evaluado presenta actividad para la esterificación de ácido oleico con etanol bajo las condiciones estudiadas. Se identificó una concentración de catalizador a partir de la cual incrementos adicionales no produjeron mejoras significativas en la conversión ni en la velocidad de reacción. Asimismo, el aumento de la velocidad de agitación

favoreció la conversión, lo que sugiere que fenómenos asociados a la transferencia de masa podrían influir en el comportamiento del sistema. Se requieren estudios adicionales para evaluar y confirmar el efecto de estos fenómenos.

Los resultados obtenidos constituyen una base experimental para la selección de condiciones operativas óptimas, para el desarrollo de modelos cinéticos y el diseño de reactores continuos orientados a la producción de biodiesel.

REFERENCIAS

Gómez-Trejo-López E., González-Díaz M. O., Aguilar-Vega M., "Waste cooking oil transesterification by sulfonated polyphenylsulfone catalytic membrane: Characterization and biodiesel production yield," Renew. Energy, vol. 182, 2022, doi: 10.1016/j.renene.2021.11.003

Ilgen O., and Baytas E., "Kinetic and Parametric Studies on Oleic Acid Esterification Catalyzed by Purolite CT151," Chem. Eng. Technol. 2024, 47, No. 12, e202400141, DOI: 10.1002/ceat.202400141

Yaghi M., Chidiac S., Awad S., El Rayess Y., Zgheib N., "Review. An Overview of Biodiesel Production via Heterogeneous. Catalysts: Synthesis, Current Advances, and Challenges," *Clean Technology*, vol. 7 (3), 62, 2025, doi: 10.3390/cleantechnol7030062

EJE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

SERS ASISTIDA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE O-XILENO EN AGUA

Arias, A.; Cardinal, M.; Gargiulo, J.; Roitberg, E.; Violi, I.
Universidad Provincial de Ezeiza
Buenos Aires
aarias@upe.edu.ar

RESUMEN

Se detectó y cuantificó o-xileno en agua en concentraciones entre 0 y 1 mM empleando espectroscopía Raman aumentada por superficie (SERS) asistida por inteligencia artificial (IA). Se desarrolló un flujo de trabajo que abarcó la obtención de espectros, el procesado de señales y modelos de aprendizaje supervisado. Los resultados mostraron una mejora en la detección del contaminante y en la comprensión de las variables empleadas por la IA, constituyendo un aporte significativo al diseño de metodologías más precisas para el análisis de matrices acuosas.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el desarrollo sostenible. En Argentina, la explotación del reservorio de hidrocarburos no convencionales Vaca Muerta genera aguas de retorno con compuestos peligrosos como el tolueno y los xilenos. La metodología SERS amplifica la señal Raman de moléculas cercanas a superficies metálicas nanoestructuradas, alcanzando amplificaciones de 10^6–10^{11}, con mínima interferencia del agua, siendo una gran herramienta para la detección ultrasensible de contaminantes en agua. Aunque la interpretación espectral implica patrones complejos donde las variables empleadas por los algoritmos no siempre guardan correlación con las características vibracionales de la molécula[1], la selección de atributos brinda interpretabilidad a las variables. Así, la IA se vuelve una herramienta poderosa para mejorar la detección y cuantificación de sustancias vinculando la información espectroscópica con los modelos logrados.

OBJETIVOS

Mejorar el sensado de o-xileno en agua mediante el desarrollo de herramientas de aprendizaje automático para la detección y cuantificación.

DESARROLLO

La efectividad de un modelo de aprendizaje automático depende intrínsecamente de la calidad de los datos de entrenamiento. En datos espectrales, la interpretabilidad mejora significativamente mediante la selección de atributos que incluyan información sobre picos característicos[2], esenciales para la identificación molecular[3]. En la espectroscopía vibracional, las posiciones de los picos son claves para identificar compuestos, mientras que sus intensidades se correlacionan con la concentración del

analito[4]. El flujo de trabajo abarcó la adquisición y preprocesado de espectros, extracción de atributos y clasificación mediante algoritmos *Random Forest.* Se midieron automáticamente 364 espectros SERS (rango de 400 a 1400 cm^{-1}, 1025 valores de intensidad): 123 de agua pura, 60 de tolueno 1 mM, 64 de tolueno 100 µM, 57 de o-xileno 1mM y 60 de o-xileno 100 µM (25% pertenece al conjunto de testeo y 75% al conjunto de entrenamiento de los clasificadores). Las muestras se prepararon con agua ultrapura y reactivos de grado analítico. Frente al uso de la señal espectral completa en redes profundas[5], se aplicó ingeniería de atributos[6] para reducir la alta dimensionalidad a un rango de entre 10 y 20 características por espectro, implementando tres enfoques: 1) selección automática de las cinco señales más intensas; 2) división del rango espectral en diez segmentos equidistantes seleccionando la señal más intensa por rango; y 3) uso del conocimiento experto sobre la ubicación espectral típica de las ocho señales más intensas (Figura 1a).

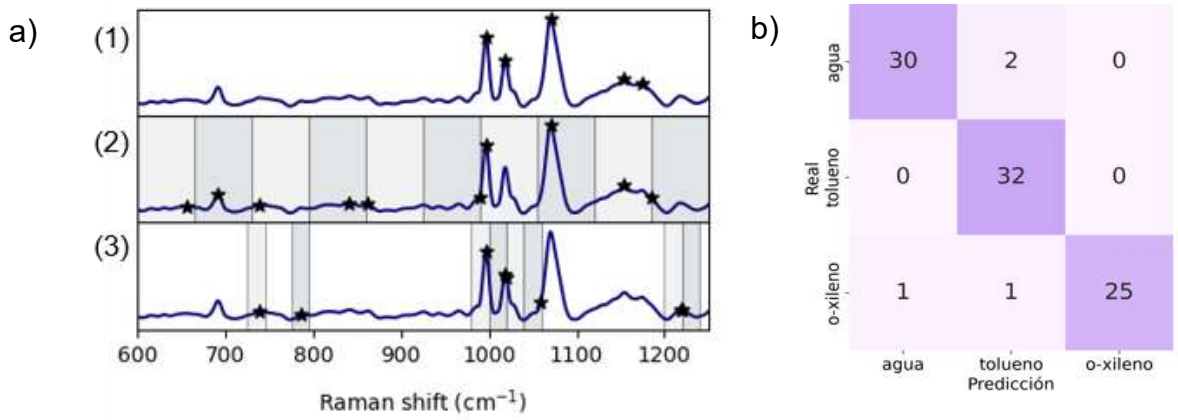


Figura 1. a) Comparación de enfoques para ingeniería de atributos: (1) selección automática de picos, (2) división del rango espectral equidistante y (3) conocimiento experto. Las estrellas (★) indican las características seleccionadas. b) matriz de confusión asociada a la clasificación mediante conocimiento experto.

Para la etapa de cuantificación se desarrollaron y evaluaron dos modelos, basados en regresión lineal múltiple. Para conocimiento experto se utilizó el mismo conjunto de atributos espectrales definidos previamente para la tarea de clasificación y para el modelo de referencia o “tradicional”, los dos picos Raman más intensos y característicos del o-xileno correlacionando sus intensidades con la concentración. Esta estrategia, ampliamente utilizada en análisis espectroscópico cuantitativo, se basa en la suposición de que las intensidades de los picos característicos varían de manera proporcional con la concentración del analito[2]. Para este caso, el conjunto de atributos estuvo conformado por las intensidades correspondientes a las bandas ubicadas en 997 y 1018 cm^{-1} en los espectros SERS[8] (Figura 2 a-b).

RESULTADOS

El mejor resultado para la clasificación se consiguió con el conjunto de atributos obtenidos mediante el conocimiento experto, clasificando correctamente al 96% de los espectros. Los enfoques 1 y 2 obtuvieron exactitudes del 88% y 90% respectivamente.

El análisis de la matriz de confusión para conocimiento experto muestra que los cuatro errores correspondieron a dos falsos positivos y dos falsos negativos, uno corresponde a un espectro de o-xileno clasificado como si fuera de agua y otro a uno de o-xileno clasificado como si fuera de tolueno (Figura 1b).

La cuantificación arrojó un coeficiente de determinación (R^2) de 0,80 para el caso de conocimiento experto y 0,72 para el caso tradicional. Este valor de R^2, para conocimiento experto, es considerado estadísticamente aceptable y robusto para este tipo de aplicaciones espectroscópicas incluso superando el valor logrado para el método tradicional. El modelo distingue claramente las muestras de 100 µM del control negativo (0 µM), estableciendo este valor como límite de detección satisfactorio, dado que 100 µM corresponde al valor máximo permitido por la legislación argentina[7]. Las concentraciones predichas presentaron una leve sobrestimación, desvío aceptable y preferible desde una perspectiva ambiental y regulatoria.

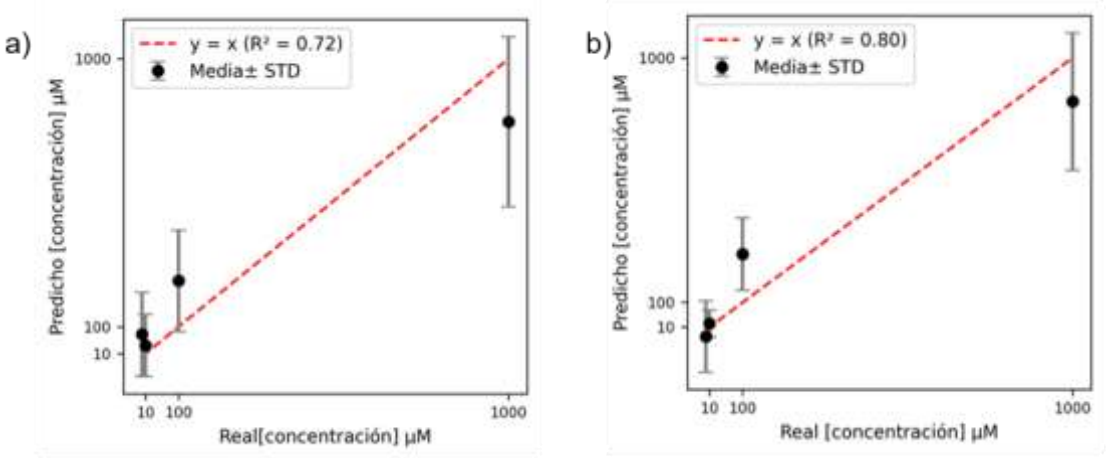


Figura 2. Concentraciones predichas frente a reales; la línea roja punteada representa la recta identidad (x=y). Se indica el coeficiente de determinación R^2 , la media de cada valor de concentración (punto negro) y el desvío estándar (STD) para los dos modelos de cuantificación: (a) tradicional, (b) conocimiento experto.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un flujo de trabajo automatizado para la medición y clasificación de espectros SERS. El enfoque empleando tanto ingeniería de atributos como el conocimiento experto químico se consolidó como el más eficaz, alcanzando una exactitud de 0,96 en la clasificación y un R^2 de 0,80 para la regresión asociada a la cuantificación de o-xileno. Las dificultades se centraron en distinguir tolueno de o-xileno; sin embargo, debido a su similitud estructural y de toxicidad, esto no representa un problema significativo para el propósito establecido. No obstante, aún se requiere mejorar la precisión en escenarios de alta complejidad espectral. Se determinó el límite de detección para o-xileno en 100 µM, resultando un valor satisfactorio acorde a la legislación argentina. Estos resultados resaltan la relevancia de incorporar el conocimiento químico mejorando sustancialmente la interpretación y exactitud de los

modelos. En conjunto estos resultados constituyen un avance relevante hacia la aplicación práctica de metodologías SERS asistidas por aprendizaje automático.

CITAS

[1] M. Procházka et al., Eds., *Surface- and Tip-Enhanced Raman Scattering Spectroscopy*. Singapore: Springer Nature, 2024.
[2] D. P. dos Santos et al., *Anal Bioanal Chem*, vol. 415, no. 18, pp. 3945–3966, 2023.
[3] V. Jayaprakash et al., *Environ Sci Technol*, vol. 58, no. 35, pp. 15619–15628, 2024.
[4] L. Wu et al., *NPG Asia Mater*, vol. 10, no. 1, p. 462, 2018.
[5] S. Weng et al., *Analyst*, vol. 145, no. 14, pp. 4827–4835, 2020.
[6] K. Wang, P. Guo, and A.-L. Luo, *Mon Not R Astron Soc*, vol. 465, no. 4, pp. 4311–4324, 2017.
[7] Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos, *Ley Nac. 24.051, Dec. Reg. 831/1993, Anexo II*, 1993.
[8] A. Arias, *Tesis doctoral, UNSAM*, 2025.

CARBÓN ACTIVADO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUA: HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA REMEDIACIÓN DE METALES PESADOS

Crespo, S.; Mancinelli, B.; Morgade, C.; Ulacco S.
Facultad regional Bahía Blanca-Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires
cmorgade@frbb.utn.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo evalúa comparativamente la eficiencia de remoción de plomo disuelto (Pb^{2+}) en medio acuoso mediante dos carbones activados obtenidos a partir de residuos agroindustriales de amplia disponibilidad regional: hueso de fémur vacuno, subproducto de la industria frigorífica, y carozo de aceituna, subproducto de la industria olivícola. Los ensayos se realizaron con una concentración inicial de 10 ppm de Pb^{2+} y una dosis de adsorbente de 1 g/L, bajo agitación constante durante un período de hasta 240 minutos. El carbón de hueso vacuno alcanzó una remoción progresiva y sostenida, llegando a 94,05% de eficiencia a las 4 horas, mediante un mecanismo de quimiosecuestración irreversible asociado a la disolución de hidroxiapatita y a la precipitación de hidroxipiromorfita. El carbón de carozo de aceituna, en cambio, alcanzó su máxima remoción (55,95%) durante la primera hora, para luego experimentar un proceso de desorción que redujo la eficiencia neta a 32,74% a las 4 horas. Estos resultados evidencian que el origen del precursor determina de forma crítica el mecanismo, la magnitud y la estabilidad temporal de la remoción, y sustentan tanto la valorización de residuos agroindustriales como insumos para la remediación de metales pesados en el marco de la economía circular, como la necesidad de caracterizar cada material antes de su aplicación a escala industrial.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de recursos hídricos por metales pesados representa uno de los desafíos ambientales más críticos de la actualidad debido a la alta toxicidad, persistencia y bioacumulación de elementos como el plomo (Pb). Sectores como la fabricación y el reciclado de baterías de plomo-ácido, las fundiciones secundarias, la minería, la industria del vidrio y la cerámica, las pinturas y pigmentos, las municiones y el reciclado de residuos eléctricos y electrónicos generan efluentes con plomo que requieren tratamiento antes de su disposición o reúso. Frente a tecnologías de mayor costo de capital, como el intercambio iónico o la ósmosis inversa, la adsorción sobre carbón activado constituye una alternativa de bajo costo y elevada viabilidad técnica.

Las propiedades del carbón activado están intrínsecamente determinadas por su precursor: los materiales lignocelulósicos, como el carozo de aceituna, generan matrices carbonosas con elevada microporosidad, mientras que los precursores de origen animal, como el hueso de fémur vacuno, dan lugar a un material compuesto

mayoritariamente por una fase mineral (hidroxiapatita de calcio, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) con trazas de carbono y óxidos de hierro.

Ambos precursores son subproductos de industrias consolidadas en la región, hoy destinados en gran parte a disposición final o a usos de bajo valor agregado. Su transformación en carbón activado permite revalorizarlos como insumos de remediación ambiental dentro de un esquema de economía circular. Sin embargo, agrupar materiales de orígenes diversos bajo la misma denominación genérica de "carbón activado" puede inducir a error en su selección industrial, ya que su comportamiento frente a un mismo contaminante puede ser sustancialmente distinto.

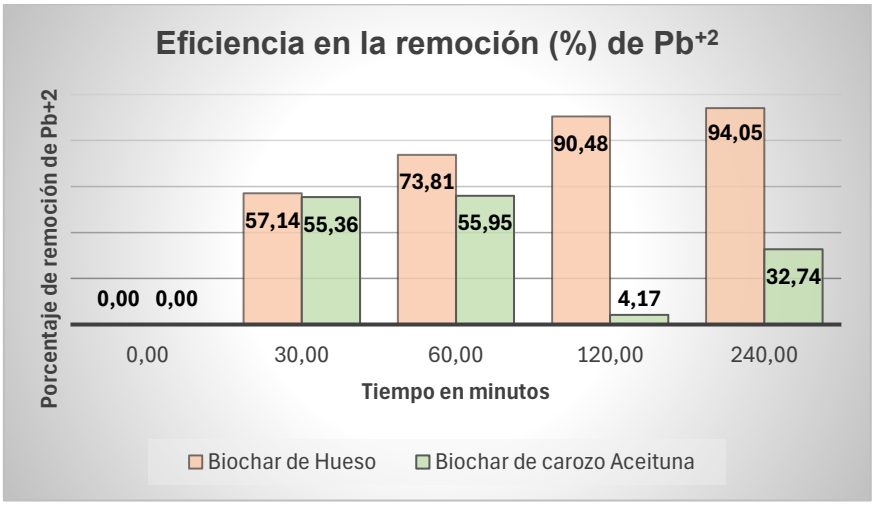
El propósito de este trabajo es comprender cómo las discrepancias estructurales entre precursores de origen animal y vegetal alteran los mecanismos de remoción de plomo, la estabilidad del metal retenido y el comportamiento interfacial de las suspensiones.

OBJETIVOS

El objetivo principal es comparar la eficiencia de remoción de Pb^{2+} en solución acuosa utilizando carbón activado de hueso de vaca y de carozo de aceituna. Como objetivos específicos se plantean: evaluar la cinética de remoción en un intervalo de 0 a 240 minutos; analizar las causas de la aglomeración magnética observada exclusivamente en el carbón de origen animal; determinar los mecanismos que rigen la retención o liberación del plomo en cada matriz; y establecer criterios de selección de precursores que orienten la valorización de residuos agroindustriales para la remediación de efluentes con plomo.

DESARROLLO/RESULTADOS

Se prepararon soluciones sintéticas de nitrato de plomo con concentración inicial de 10 ppm de Pb^{2+}. Los ensayos se efectuaron en reactores discontinuos (batch) con una dosis fija de 1 g/L de cada carbón activado, bajo agitación constante. Se extrajeron alícuotas a distintos intervalos (30, 60, 120 y 240 min), filtradas y analizadas para determinar la concentración remanente de plomo. Los resultados se detallan en la Figura 1.



El carbón de hueso de vaca exhibió un perfil cinético progresivo y altamente eficiente: la remoción se inició en 57,14% a los 30 minutos y se incrementó consistentemente hasta 94,05% a los 240 minutos. Este patrón es característico de una quimiosecuestración bifásica: una fisisorción rápida inicial, seguida de una etapa más lenta controlada por la difusión, gobernada por la disolución parcial de la hidroxiapatita biogénica del hueso y la liberación de grupos fosfato (PO_4^{3-}), que induce la precipitación de hidroxipiromorfita ($Pb_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), un mineral de plomo extremadamente insoluble y termodinámicamente estable, garantizando una fijación irreversible.

Adicionalmente, este material presentó un fenómeno físico singular: al detener el agitador magnético, las partículas se aglomeraron de inmediato sobre el núcleo magnético. Ello se asocia a la cristalización local de hidroxipiromorfita sobre el carbón, que bajo la fricción del agitador induce fuerzas electrostáticas atractivas, y a trazas de óxidos de hierro biogénicos (espinelas o magnetita) en la matriz ósea, que confieren susceptibilidad magnética. Esta propiedad sugiere una vía de separación sólido-líquido asistida por campos magnéticos en sistemas de tratamiento continuo.

El carbón de carozo de aceituna, de naturaleza puramente lignocelulósica, no mostró atracción magnética por ausencia de fases inorgánicas pesadas. Su perfil cinético reveló que la máxima adsorción se alcanza en la primera hora (~55,95%), por interacción electrostática y complejación superficial con grupos oxigenados (carboxilos, hidroxilos, fenólicos). Al prolongar la agitación a 120 y 240 minutos, la eficiencia cayó abruptamente (4,17% y 32,74%), evidenciando desorción atribuible a la cizalladura mecánica y a la acidificación del medio, que desplaza el punto de carga cero (pHpzc) del carbón y repele electrostáticamente a los cationes Pb^{2+} hacia la fase acuosa.

Estos resultados confirman que dos materiales agrupados bajo la denominación genérica de "carbón activado" presentan mecanismos, eficiencias y estabilidades radicalmente distintos según su origen, lo que sustenta la necesidad de caracterizar

sistemáticamente cada precursor antes de extrapolar resultados a procesos industriales de remediación.

CONCLUSIONES

Se concluye que el origen del precursor del carbón activado determina de forma categórica el mecanismo de descontaminación de metales pesados. El carbón de hueso de vaca es sustancialmente más eficiente y seguro para la remoción de plomo a largo plazo debido al mecanismo de disolución-precipitación de hidroxipiromorfita, irreversible y progresivo en el tiempo, alcanzando un 94,05% de remoción. Asimismo, su elevada densidad real, impuesta por la fase mineral de hidroxiapatita (3,16 g/cm3), y la presencia de óxidos de hierro biogénicos facilitan la aglomeración y la posible separación física del adsorbente mediante campos magnéticos. En contraposición, el carbón de carozo de aceituna, aunque presenta una rápida adsorción inicial, resulta inadecuado para tratamientos prolongados debido a su susceptibilidad a la desorción inducida por cizalla y cambios de pH, lo que limita notablemente su aplicación práctica en sistemas continuos sin un control riguroso del medio.

Desde una perspectiva de economía circular, ambos precursores constituyen residuos agroindustriales de bajo costo y alta disponibilidad regional. No obstante, dicha valorización no garantiza por sí sola un desempeño adecuado: la selección del precursor debe fundamentarse en una caracterización experimental específica frente al contaminante y a las condiciones de cada efluente. Se recomienda extender esta línea de investigación a efluentes industriales reales, avanzando hacia soluciones de bioadsorción a medida de cada proceso productivo generador de plomo.

CITAS Y REFERENCIAS

Iconaru, S. L., et al. (2018). Adsorption of Pb(II) ions onto hydroxyapatite nanopowders in aqueous solutions. *Materials, 11*(12), 2204. https://doi.org/10.3390/ma11122204

Ben Amar, M., Walha, K., & Salvadó, V. (2020). Evaluation of olive stones for Cd(II), Cu(II), Pb(II) and Cr(VI) biosorption from aqueous solution: Equilibrium and kinetics. International Journal of Environmental Research, 14(1), 63–76. https://doi.org/10.1007/s41742-020-00246-5

BiOI: UN MATERIAL MULTIFUNCIONAL DE NUEVA GENERACIÓN PARA LA REMEDIACIÓN AMBIENTAL INTEGRAL, REMOCIÓN SIMULTÁNEA DE PLOMO, ANTIBIÓTICOS Y CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Cutini, P.; Morgade, C.; Neyertz, C.; Sandoval, M.
Facultad regional Bahía Blanca - Universidad Tecnológica Nacional
Buenos Aires
cmorgade@frbb.utn.edu.ar

RESUMEN

El oxiyoduro de bismuto (BiOI) es un semiconductor laminar de la familia de los oxihaluros de bismuto que se perfila como una de las respuestas más prometedoras a uno de los desafíos ambientales de mayor impacto económico y sanitario en la actualidad: la coexistencia, en un mismo efluente industrial o urbano, de metales pesados, contaminantes farmacológicos emergentes y carga microbiológica patógena. Su elevada cristalinidad en fase tetragonal, la marcada exposición de su faceta activa (001) y un área superficial específica que supera hasta seis veces la de fotocatalizadores tradicionales como el TiO_2 o el ZnO le confieren una capacidad de interacción excepcionalmente versátil con contaminantes de naturaleza muy distinta. Este trabajo reúne evidencia integral sobre el desempeño del BiOI en tres frentes simultáneos: inactivación bactericida completa de Escherichia coli y Enterococcus faecalis en menos de una hora bajo irradiación UVA; adsorción de norfloxacina cercana al 100 % dentro de la primera hora de contacto; y remoción de plomo (Pb^{2+}) del 50 % en 4 horas a partir de una solución de 10 ppm. Esta combinación de resultados posiciona al BiOI como un candidato singular, un material capaz de intervenir sobre tres tipos de contaminación en un solo proceso, y abre una oportunidad estratégica, científica y productiva, para el desarrollo de tecnologías de remediación de próxima generación.

INTRODUCCIÓN

Los efluentes industriales y urbanos rara vez presentan un único tipo de contaminante. Es habitual que coexistan metales pesados de origen industrial o minero, contaminantes emergentes de origen farmacéutico, como los antibióticos, y carga microbiológica proveniente de aportes cloacales o agropecuarios. Esta complejidad desafía a las tecnologías de tratamiento convencionales, que suelen requerir una etapa independiente para cada tipo de contaminante, con el consiguiente incremento en costos operativos, consumo de reactivos y tiempos de proceso. Cada etapa adicional es, en términos concretos, más infraestructura, más energía y más gasto. Frente a este escenario, los semiconductores basados en oxihaluros de bismuto, y en particular el oxiyoduro de bismuto (BiOI), emergen como materiales de remediación de nueva generación con un potencial que trasciende ampliamente el modelo de "un material, un contaminante". El BiOI evaluado en este trabajo, sintetizado por vía solvotérmica, exhibe un desempeño que combina una elevada actividad bactericida

frente a bacterias Gram negativas y Gram positivas, una capacidad de adsorción sobresaliente frente a antibióticos y, como se documenta aquí, una eficiencia significativa en la remoción de plomo. Estas propiedades se explican por su elevada área superficial, la presencia de vacancias de yodo y oxígeno, y la consecuente atracción electrostática entre la superficie del material y contaminantes de carga opuesta. Sin olvidar que también siendo un semiconductor con activación en el rango de la luz visible también es un excelente fotocatalizador.

OBJETIVOS

Evaluar el potencial del oxiyoduro de bismuto (BiOI) como material multifuncional para la remediación ambiental integral, articulando su caracterización estructural y morfológica, su actividad bactericida, su capacidad de adsorción de antibióticos y su eficiencia en la remoción de plomo (Pb^{2+}) en un mismo marco de análisis.

Como objetivos específicos se plantean: sintetizar el BiOI mediante un método solvotérmico optimizado; caracterizar estructural (DRX) y morfológicamente (TEM, área superficial BET) el material obtenido; determinar su actividad bactericida frente a Escherichia coli y Enterococcus faecalis y su capacidad de adsorción del antibiótico norfloxacina (NFX); evaluar la capacidad de remoción de Pb^{2+} del BiOI sobre una solución de $Pb(NO_3)_2$ de 10 ppm; y discutir el potencial del BiOI como material candidato para un proceso de remediación integral de aplicabilidad industrial.

DESARROLLO / RESULTADOS

El BiOI fue sintetizado mediante método solvotérmico, empleando $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ y KI como precursores, bajo un protocolo optimizado a pH ácido. Los difractogramas de rayos X evidenciaron buena cristalinidad en fase tetragonal (grupo espacial P4/nmm; a = 3,9612 Å; c = 9,0709 Å), con planos característicos (001), (002), (101), (102), (110), (111), (103), (112), (004), (200), (104), (114) y (212), destacándose un pico en $2\theta \approx 9{,}8°$ correspondiente al plano activo (001). La elevada exposición de esta faceta resulta clave para la actividad fotocatalítica del material, ya que se le atribuye la generación de un campo eléctrico estático perpendicular a las capas del cristal que favorece la separación de pares electrón-hueco. Por TEM, el BiOI presentó un tamaño promedio de 3400 nm (rango 1000–5900 nm), un área superficial específica de 66,96 m^2/g y un volumen de poro de 0,138 cm^3/g: valores hasta seis veces superiores a los del oxihaluro BiOBr y a los de fotocatalizadores tradicionales como el TiO_2 y el ZnO, un diferencial que resulta decisivo para explicar su desempeño multifuncional.

Bajo irradiación UVA, el BiOI logra la inactivación completa de Escherichia coli y Enterococcus faecalis dentro de los primeros 30 a 60 minutos, con una eficacia comparable a la del ZnO y muy superior a la de los TiO_2 comerciales, efecto asociado a la generación de especies reactivas de oxígeno (H_2O_2 del orden de 3800–3950 µmol/100 mL) y, potencialmente, a la liberación de especies halogenadas superficiales. Frente al antibiótico norfloxacina (NFX), el BiOI alcanza una eficiencia de adsorción cercana al 100 % dentro de la primera hora, muy por encima de TiO_2, ZnO y BiOBr, un comportamiento atribuido a las vacancias de yodo y oxígeno que le

confieren carácter de semiconductor tipo n con exceso de carga superficial negativa, generando una fuerte atracción electrostática con la NFX, mayoritariamente catiónica en las condiciones ensayadas.
Uno de los hallazgos más relevantes de este trabajo es la capacidad del BiOI para remover Pb bivalente de una solución acuosa de nitrato de plomo [$Pb(NO_3)_2$] con una concentración inicial de 10 ppm. Transcurridas 4 horas de contacto, se determinó una eficiencia de remoción de Pb^{2+} del 50 %, un resultado que confirma que la versatilidad del BiOI se extiende también a contaminantes metálicos, y que abre una línea de indagación con un enorme margen de optimización aún por explorar.

En conjunto, estos resultados sugieren que la elevada área superficial del BiOI, sumada a su estructura laminar rica en vacancias superficiales, le confiere una capacidad de interacción versátil con contaminantes de naturaleza muy distinta, catiónico-metálica, orgánica y microbiológica, respaldando su caracterización como material remediador multifuncional y sentando una base sólida para profundizar su estudio con miras a una aplicación real.

CONCLUSIONES

El BiOI reúne una combinación de propiedades, elevada área superficial, marcada actividad bactericida frente a bacterias Gram positivas y Gram negativas, adsorción prácticamente total de un antibiótico modelo (NFX) y una eficiencia de remoción de Pb^{2+} del 50 % en 4 horas a partir de una solución de 10 ppm, que lo posicionan como un material remediador multifuncional sin equivalente directo entre las tecnologías de tratamiento convencionales, habitualmente eficaces frente a un único tipo de contaminante. La posibilidad de intervenir simultáneamente sobre metales pesados, contaminantes farmacológicos emergentes y carga microbiológica en un único material resulta especialmente atractiva para su escalado industrial. Un tratamiento integrado podría traducirse en menos etapas de proceso, menor consumo de reactivos y una reducción tangible de costos operativos frente a los esquemas de tratamiento secuencial actualmente en uso.

Estos resultados, sin embargo, son apenas el punto de partida de un campo de indagación con un potencial considerable. Quedan abiertas preguntas centrales para llevar al BiOI de la escala de laboratorio a una solución tecnológica aplicable: la optimización de la dosis de material, la cinética y termodinámica de la remoción de Pb^{2+}, la reutilización y regeneración del material tras sucesivos ciclos de uso, su validación en ensayos a escala piloto con efluentes reales multicontaminados, y la determinación del costo por volumen tratado frente a las alternativas actuales del mercado. Profundizar en estas líneas, desde la ingeniería de procesos hasta la evaluación técnico-económica, es el paso necesario para transformar una propiedad fisicoquímica notable en una tecnología de remediación escalable, y representa una oportunidad concreta de articulación entre el ámbito científico y el sector productivo interesado en soluciones ambientales más eficientes e integrales.

CITAS Y REFERENCIAS

Mera, A.C.; Matos, J.; Araya Vera, C.; Alfonso Alvarez, A. Microwave-Assisted Synthesis of BiOI for Solar-Driven Environmental Remediation. *Catalysts* **2025**, *15*, 868. https://doi.org/10.3390/catal15090868

Pandey A, Gyawali N, Shrestha D, Lee I, Shrestha S, Acharya S, Nepal P, Gaire B, Fualo V, Sharma SD, Hahn JR. Harnessing BiOI/V_2O_5 Nanocomposites: Advanced Bifunctional Catalysts for Visible-Light Driven Environmental Remediation and Antibacterial Activity. Molecules. 2025 Jun 6;30(12):2500. doi: 10.3390/molecules30122500. PMID: 40572466; PMCID: PMC12196363.

SUSTENTABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: CRITERIOS INTEGRADOS Y VACANCIAS PARA UN TRATAMIENTO ADECUADO AL USO (FIT-FOR-PURPOSE)

Moya, N. S.; González, M. C.; Murillo, M. D.; Reguera, M. C.; Serrano, C. R.
Centro de Ingeniería Ambiental (CEDIA) - Facultad Regional Tucumán
Universidad Tecnológica Nacional
Tucumán
cediafrt@gmail.com

RESUMEN

La reutilización de aguas residuales tratadas constituye una alternativa de creciente interés frente a la presión sobre las fuentes convencionales de agua, el cambio climático y la transición hacia modelos de economía circular. Sin embargo, reutilizar agua no implica, por sí mismo, que una solución sea sustentable: aumentar el nivel de tratamiento puede reducir riesgos y ampliar los usos posibles, pero también incrementar el consumo energético, los requerimientos de reactivos, la complejidad operativa, los costos y determinados impactos ambientales. El objetivo de este trabajo es analizar críticamente la evolución del concepto de sustentabilidad aplicado al tratamiento y reutilización de aguas residuales, identificar las condiciones que determinan su desempeño y reconocer vacancias de investigación. Se realizó una revisión bibliográfica sistematizada de alcance sobre 52 publicaciones científicas del período 2020-2026, verificadas individualmente mediante DOI y metadatos editoriales, y clasificadas según su tema principal y las dimensiones ambiental, económica, social, técnico-operativa, sanitaria y de circularidad. La revisión se complementó con las bases técnico-económicas presentes en Ramalho y en el Manual de Depuración Uralita. Los resultados muestran que la sustentabilidad es condicional y depende del uso previsto, la intensidad del tratamiento, la matriz energética, la escala, el transporte, la capacidad de operación y mantenimiento, el riesgo y la aceptación social. Se identifica como vacancia principal la falta de integración de estas dimensiones para determinar un nivel óptimo de tratamiento adecuado al uso. Se propone como hipótesis futura que, para cada destino y contexto, existe un punto a partir del cual el beneficio marginal de aumentar el tratamiento puede ser contrarrestado por sus costos e impactos adicionales.

INTRODUCCIÓN

La gestión de las aguas residuales ha evolucionado desde un enfoque orientado principalmente a remover contaminantes y cumplir condiciones de descarga hacia una concepción en la cual el efluente tratado puede constituir una fuente alternativa de agua y, en determinados sistemas, de nutrientes, energía y otros recursos. Esta transición se vincula con la economía circular y con la necesidad de disminuir la presión sobre fuentes de agua dulce, especialmente frente a escenarios de sequía, variabilidad climática, crecimiento urbano y competencia entre usos.

Las obras clásicas de ingeniería sanitaria contienen fundamentos que continúan siendo pertinentes para esta discusión. Ramalho presenta la caracterización de las aguas residuales, los niveles de tratamiento, los procesos físicos, químicos y biológicos, el tratamiento terciario y los aspectos económicos asociados al tratamiento y la reutilización [1]. Hernández Muñoz, Hernández Lehmann y Galán Martínez integran diseño, construcción, explotación, mantenimiento y alternativas de depuración aplicables, entre otros contextos, a núcleos de pequeña y mediana dimensión [2]. Aunque estas obras anteceden al desarrollo actual de metodologías como el análisis de ciclo de vida, su enfoque técnico-operativo permite establecer una base para reinterpretar el tratamiento bajo criterios contemporáneos de sustentabilidad.

La literatura reciente reconoce múltiples beneficios potenciales de la reutilización: reducción de extracciones de agua convencional, disminución de descargas, aporte de nutrientes en determinadas aplicaciones agrícolas y fortalecimiento de la seguridad hídrica. Sin embargo, también advierte que esos beneficios dependen del contexto y del destino del agua. En agricultura, por ejemplo, deben considerarse salinidad, patógenos, metales, contaminantes de preocupación emergente y posibles vías de exposición humana y ambiental [3,4]. En sistemas urbanos, las evaluaciones de ciclo de vida muestran que una alternativa de reutilización puede disminuir algunos impactos y aumentar otros, especialmente cuando requiere tratamientos avanzados, una matriz energética intensiva en carbono o distancias significativas de bombeo y distribución [5,6].

Por consiguiente, la afirmación “reutilización igual a sustentabilidad” resulta insuficiente. La unidad de análisis debe ser el sistema completo: generación del agua residual, tratamiento, almacenamiento, transporte, distribución y uso final. Esta perspectiva conduce al concepto de tratamiento adecuado al uso o fit-for-purpose: la calidad objetivo debería responder al destino previsto y al nivel de riesgo aceptable, evitando tanto el tratamiento insuficiente como el sobretratamiento.

Los enfoques de Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) procuran integrar Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC) y Social Life Cycle Assessment (S-LCA). No obstante, la evidencia reciente señala problemas de integración entre pilares, heterogeneidad de límites y unidades funcionales, menor madurez de la dimensión social y escasa consideración de umbrales de sustentabilidad absoluta [6,7]. Estas limitaciones pueden ser particularmente relevantes en pequeñas y medianas plantas, donde la escala, los impactos de construcción, la disponibilidad de personal capacitado, el mantenimiento y la capacidad financiera pueden modificar la viabilidad de una tecnología [8-10].

En consecuencia, el problema científico no consiste únicamente en establecer si el agua residual puede reutilizarse, sino en determinar bajo qué condiciones su reutilización puede considerarse sustentable y qué intensidad de tratamiento produce el mejor balance entre seguridad, desempeño técnico, impacto ambiental, costo y

factibilidad social. Este trabajo examina esa cuestión mediante una síntesis crítica de la literatura 2020-2026 y formula una vacancia susceptible de ser desarrollada posteriormente mediante investigación aplicada.

OBJETIVOS

El objetivo general es analizar el estado actual del conocimiento sobre sustentabilidad y reutilización de aguas residuales tratadas, identificando los criterios que condicionan su desempeño y las principales vacancias para avanzar hacia una selección integrada del nivel de tratamiento adecuado al uso.

Los objetivos específicos son: a) relacionar los fundamentos técnico-operativos y económicos de la bibliografía clásica con los enfoques actuales de sustentabilidad; b) identificar las principales dimensiones y metodologías empleadas para evaluar la reutilización; c) analizar los factores que pueden modificar la conveniencia ambiental, económica y operativa de incrementar el grado de tratamiento; d) examinar limitaciones de la evidencia disponible para sistemas de pequeña y mediana escala y para contextos locales; y e) formular un problema e hipótesis de investigación derivados de las vacancias detectadas.

DESARROLLO/RESULTADOS

Se realizó una revisión bibliográfica sistematizada de alcance correspondiente al período enero de 2020-agosto de 2026. La búsqueda utilizó combinaciones de términos equivalentes a wastewater reuse, reclaimed water, sustainability, life cycle assessment, life cycle sustainability assessment, life cycle costing, circular economy, fit-for-purpose, decentralized wastewater treatment, small communities, contaminants of emerging concern, antimicrobial resistance, quantitative microbial risk assessment y social acceptance. Se incluyeron publicaciones revisadas por pares con aporte explícito a la evaluación de sustentabilidad, reutilización, recuperación de recursos, desempeño operativo, economía, riesgo o aceptación social. Se excluyeron trabajos limitados exclusivamente a la eficiencia de remoción sin relación con la decisión de reutilización y aquellos fuera del período. El procedimiento tuvo finalidad de revisión de alcance y detección de patrones, no de metaanálisis cuantitativo ni de exhaustividad bibliométrica universal.

El corpus final quedó constituido por 52 publicaciones. Cada registro fue verificado individualmente mediante su DOI y los datos bibliográficos disponibles en la editorial o revista correspondiente. Para la síntesis cuantitativa, cada publicación fue asignada a una categoría temática principal, aun cuando pudiera contribuir a más de una dimensión, con el objeto de evitar doble conteo. La Tabla 1 resume la distribución y las cinco vacancias prioritarias derivadas del análisis.

Tabla 1. Síntesis del corpus bibliográfico y vacancias prioritarias. Elaboración propia.

Categoría o vacancia	N.º / prioridad	Síntesis
Categoría: economía circular y recuperación de recursos	11	Mayor agrupamiento; consolida la transición desde el tratamiento hacia la recuperación de agua, nutrientes, energía y materiales.
Categoría: dimensión social, aceptación y gobernanza	9	Área creciente, aunque con menor madurez metodológica que el LCA ambiental.
Categoría: LCA/LCSA e integración de sustentabilidad	8	Evidencia central para identificar transferencias de impacto y comparar configuraciones.
Categoría: contaminantes emergentes y resistencia antimicrobiana (CEC/AMR)	7	Tema en expansión que condiciona la reutilización segura y la intensidad del tratamiento.
Categoría: pequeña escala, descentralización y soluciones basadas en la naturaleza	6	La escala, construcción, operación y capacidad de mantenimiento modifican el desempeño.
Categoría: reutilización agrícola y riesgo	6	Amplio desarrollo, con desafíos por salinidad, patógenos, CEC y exposición.
Categoría: evaluación económica, análisis tecnoeconómico y costo del ciclo de vida	5	La viabilidad depende de CAPEX, OPEX, energía, transporte, monitoreo y beneficios evitados.
Vacancia: integración técnico-operativa + LCA + LCC/S-LCA + riesgo	Muy alta	Las dimensiones suelen evaluarse por separado; falta un marco integrado de decisión.
Vacancia: determinación del tratamiento óptimo fit-for-purpose por uso	Muy alta	No existe una regla general para identificar hasta qué nivel conviene tratar sin sobretratamiento.
Vacancia: pequeñas y medianas plantas - confiabilidad, operación y mantenimiento	Muy alta	La evidencia integral es menor que para grandes sistemas y la capacidad operativa puede definir la viabilidad.
Vacancia: datos locales de América Latina y otros contextos con restricciones de recursos	Muy alta	Persisten vacíos de inventarios, costos, regulación, capacidad institucional y perfiles locales de riesgo.

Vacancia: integración de CEC/AMR con riesgo, ciclo de vida y costo	Alta	Los contaminantes emergentes suelen estudiarse separados de la optimización ambiental y económica.

Una primera conclusión del corpus es que la sustentabilidad de la reutilización es condicional. Ofori y colaboradores [3] y Yalin y colaboradores [4] muestran que la reutilización agrícola puede aportar agua y nutrientes y reducir presión sobre fuentes convencionales, pero requiere combinar calidad del agua, características del suelo y cultivo, exposición y manejo. Christou y colaboradores refuerzan esta interpretación al señalar que la reutilización sustentable exige tratamiento, monitoreo y gestión del riesgo coherentes con el uso [11]. Por ello, el desempeño no puede evaluarse exclusivamente mediante parámetros tradicionales, pero tampoco resulta técnicamente razonable asumir que la máxima remoción posible constituye siempre el objetivo.

Los contaminantes emergentes ilustran este dilema. Khan y colaboradores [14] identificaron y priorizaron un amplio conjunto de sustancias presentes en efluentes destinados a reutilización, demostrando la necesidad de pasar de una lógica de “medir todo” hacia una priorización basada en riesgo. Verlicchi y colaboradores [16] desarrollaron una metodología para seleccionar contaminantes indicadores en agua regenerada para riego. Paralelamente, Brienza y colaboradores [15] mostraron que las redes y biofilms asociados al agua regenerada pueden participar en el destino de antibióticos y en la dinámica de resistencia antimicrobiana. Estos resultados indican que la seguridad debe considerar el sistema hasta el punto de uso y no únicamente la calidad del efluente a la salida de la planta. Heia y colaboradores [17], al integrar LCA y evaluación cuantitativa de riesgo microbiano, mostraron además que una alternativa ambientalmente favorable puede requerir barreras adicionales de desinfección para mantener el riesgo en niveles aceptables.

Una segunda conclusión surge de las evaluaciones de ciclo de vida. Negi y Chandel [5] observaron diferencias relevantes entre alternativas urbanas de reutilización y demostraron que los escenarios de mayor intensidad de tratamiento no necesariamente presentan menor impacto global. La revisión de Santos y Arshad [6] concluye que los resultados favorables son más consistentes cuando existen matrices energéticas de menor carbono, distancias de transporte reducidas y correspondencia entre calidad producida y tipo de reutilización. En sentido complementario, Sei y colaboradores [19] encontraron que un escenario de reutilización agrícola con tratamiento avanzado podía disminuir presión sobre el agua y eutrofización, pero aumentar el calentamiento global bajo una matriz eléctrica intensiva en carbón. De esta manera, ahorro de agua, energía y emisiones deben evaluarse conjuntamente.

La escala y la capacidad operativa conforman una tercera condición crítica. Lourenço y Nunes [8] muestran que en pequeñas comunidades los impactos de construcción y la ausencia de economías de escala pueden modificar la comparación entre

alternativas. Kobayashi y colaboradores [9] observaron que el desempeño de sistemas descentralizados de reutilización de aguas grises cambia con la escala y la matriz eléctrica. Más recientemente, Garfí, Ziegler-Rodriguez y Josa [10] revisaron humedales construidos y señalaron sus ventajas potenciales por bajos requerimientos energéticos y químicos, pero también la necesidad de incorporar mejor los costos del ciclo de vida, las externalidades y los beneficios sociales. Por lo tanto, “tecnología más avanzada” y “tecnología más sustentable” no son categorías equivalentes. La revisión sistemática de da Silva y colaboradores [18] confirma que los procesos avanzados e híbridos ofrecen mejoras de remoción y recuperación, pero mantienen barreras relacionadas con costos, ensuciamiento, operación y regulación.

La dimensión económica debe analizarse con idéntica lógica sistémica. El costo del agua regenerada comprende inversión, operación, energía, reactivos, personal, mantenimiento, monitoreo, almacenamiento, bombeo, distribución y gestión de residuos. Yeo y colaboradores [20] muestran que incorporar externalidades ambientales puede modificar la comparación económica de alternativas de reclamación. A la vez, deben contabilizarse beneficios y costos evitados, como sustitución de agua convencional, menor descarga, ahorro de fertilizantes o valorización de recursos. Este razonamiento actualiza el enfoque económico ya presente en Ramalho [1] y lo extiende hacia costo de ciclo de vida y evaluación integrada.

Una cuarta condición corresponde a la dimensión social e institucional. Faria y Naval [12], en el contexto brasileño, evidencian que la aceptación varía según el tipo de uso y que los factores culturales influyen sobre la percepción. La evaluación social de sistemas de tratamiento sigue enfrentando dificultades de disponibilidad de datos, selección de indicadores y comparabilidad. Kokubo Roche y colaboradores [13] comprobaron estas limitaciones al aplicar S-LCA a sistemas municipales convencionales y de recuperación de recursos. La revisión de Tsalidis [22] muestra además que trabajadores y comunidades locales concentran la mayor parte de las evaluaciones, mientras otros grupos permanecen subrepresentados. En consecuencia, una alternativa técnicamente eficiente puede dejar de ser viable si la institución no puede operarla, financiarla o controlarla de modo estable, o si el destino del agua carece de aceptación.

La circularidad tampoco debe confundirse con sustentabilidad. La recuperación de agua, nutrientes y energía puede disminuir el uso de recursos primarios, pero cada vía de recuperación incorpora infraestructura, insumos y mercados que deben evaluarse. Renfrew y colaboradores [21] muestran la utilidad de vincular indicadores de circularidad con creación de valor sustentable, precisamente porque un aumento de circularidad no garantiza por sí solo mejores resultados en todas las dimensiones. De la integración de estas evidencias surge una vacancia principal: todavía falta consolidar un marco operativo capaz de responder simultáneamente cuánto tratar, para qué reutilizar y bajo qué condiciones hacerlo, incorporando confiabilidad operativa, análisis ambiental de ciclo de vida, costos, riesgo y dimensión social. La

brecha es especialmente relevante para sistemas de pequeña y mediana escala y para contextos latinoamericanos, donde los inventarios locales, costos, infraestructura, regulación, disponibilidad de operadores y capacidad de monitoreo pueden diferir de los sistemas más estudiados.

A partir de esta vacancia se propone un principio de decisión: el tratamiento sustentable no debería definirse como el máximo tratamiento técnicamente alcanzable, sino como aquel que satisface de manera confiable la calidad y reducción de riesgo requeridas por el uso previsto con el menor costo integral y la menor carga ambiental compatibles con esas exigencias. Futuros estudios podrían comparar escenarios de no reutilización, tratamiento secundario con desinfección, tratamiento terciario y tratamientos avanzados, incluyendo almacenamiento y distribución, mediante una unidad funcional común, por ejemplo 1 m³ de agua apta para un uso definido.

La hipótesis derivada del estado del arte es que para cada destino de reutilización y contexto local existe un nivel óptimo de tratamiento: incrementar la intensidad del tratamiento no produce necesariamente un incremento proporcional de la sustentabilidad. A partir de determinado punto, la reducción marginal del riesgo sanitario y ambiental puede ser contrarrestada por aumentos de consumo energético, emisiones, costos y complejidad operativa. Su comprobación requiere investigación aplicada con datos reales, LCA, costo de ciclo de vida, evaluación de riesgo y métodos de análisis multicriterio.

CONCLUSIONES

La revisión de 52 publicaciones verificadas permite sostener que la reutilización de aguas residuales tratadas constituye una estrategia potencial de sustentabilidad, pero no una condición sustentable por definición. Su desempeño depende del conjunto formado por el origen y calidad del agua residual, el tren de tratamiento, el destino de uso, el almacenamiento y la distribución, la energía utilizada, la escala, la capacidad de operación y mantenimiento, los costos, los riesgos y los factores sociales e institucionales.

Los fundamentos de Ramalho y del Manual de Depuración Uralita conservan vigencia para analizar niveles de tratamiento, economía, operación y mantenimiento. La literatura 2020-2026 amplía ese marco mediante LCA, LCC, S-LCA, economía circular, evaluación de riesgos, contaminantes emergentes y resistencia antimicrobiana. El desafío actual no consiste en reemplazar la ingeniería sanitaria clásica, sino en integrarla con instrumentos contemporáneos de sustentabilidad.

La principal vacancia identificada es la ausencia de un marco de decisión suficientemente integrado para determinar cuánto tratar y para qué reutilizar, evitando tanto riesgos inaceptables como sobretratamientos con cargas ambientales y económicas innecesarias. El criterio fit-for-purpose ofrece una base conceptual para avanzar en esa dirección.

Se propone como línea futura validar esta hipótesis en sistemas de pequeña y mediana escala y bajo condiciones locales de América Latina. La comparación de escenarios mediante indicadores comunes permitiría identificar puntos de equilibrio entre calidad, riesgo, energía, emisiones, costos y capacidad operativa, y avanzar desde la evaluación relativa de alternativas hacia la determinación de configuraciones efectivamente sustentables.

CITAS Y REFERENCIAS

[1] Ramalho, R. S. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Ed. rev., reimp. Reverté, Barcelona.

[2] Hernández Muñoz, A.; Hernández Lehmann, A.; Galán Martínez, P. (1996). Manual de depuración Uralita: sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes. 1.ª ed., 2.ª reimp. Paraninfo, Madrid.

[3] Ofori, S.; Puškáčová, A.; Růžičková, I.; Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. Science of the Total Environment, 760, 144026.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026.

[4] Yalin, D. et al. (2023). Mitigating risks and maximizing sustainability of treated wastewater reuse for irrigation. Water Research X, 21, 100203.
https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100203.

[5] Negi, R.; Chandel, M. K. (2024). Life cycle assessment of wastewater reuse alternatives in urban water system. Resources, Conservation and Recycling, 204, 107469.
https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107469.

[6] Santos, E.; Arshad, Z. (2026). Life Cycle Sustainability Assessment of Urban Wastewater Reuse: Successes, Persistent Pitfalls, and a Practical Path Forward. Sustainability, 18(14), 7291.
https://doi.org/10.3390/su18147291.

[7] Bhambhani, A.; van der Hoek, J. P.; Kapelan, Z. (2022). Life cycle sustainability assessment framework for water sector resource recovery solutions: Strengths and weaknesses. Resources, Conservation and Recycling, 180, 106151.
https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106151.

[8] Lourenço, N.; Nunes, L. M. (2021). Life-cycle assessment of decentralized solutions for wastewater treatment in small communities. Water Science & Technology, 84(8), 1954-1968.
https://doi.org/10.2166/wst.2021.379.

[9] Kobayashi, Y.; Ashbolt, N. J.; Davies, E. G. R.; Liu, Y. (2020). Life cycle assessment of decentralized greywater treatment systems with reuse at different scales in cold regions. Environment International, 134, 105215.
https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105215.

[10] Garfí, M.; Ziegler-Rodriguez, K.; Josa, I. (2026). Life cycle assessment of constructed wetlands for wastewater treatment: Environmental, social and economic opportunities and challenges. Current Opinion in Environmental Science & Health, 50, 100713.
https://doi.org/10.1016/j.coesh.2026.100713.

[11] Christou, A. et al. (2024). Sustainable wastewater reuse for agriculture. Nature Reviews Earth & Environment, 5, 504-521.
https://doi.org/10.1038/s43017-024-00560-y.

[12] Faria, D. C.; Naval, L. P. (2022). Wastewater reuse: Perception and social acceptance. Water and Environment Journal, 36(3), 433-447.
https://doi.org/10.1111/wej.12776.

[13] Kokubo Roche, A.; Tsalidis, G. A.; Blanco, C. F.; Dias, D. F. C.; Posada, J. A. (2025). Generic and site-specific social life cycle assessment of municipal wastewater treatment systems in Spain: challenges and limitations of the method when applied to resource recovery systems. The International Journal of Life Cycle Assessment, 30, 1480-1504.
https://doi.org/10.1007/s11367-024-02370-2.

[14] Khan, U. A.; Löffler, P.; Spilsbury, F.; Wiberg, K.; Stålsby Lundborg, C.; Lai, F. Y. (2024). Towards sustainable water reuse: A critical review and meta-analysis of emerging chemical contaminants with risk-based evaluation, health hazard prediction and prioritization for assessment of effluent water quality. Journal of Hazardous Materials, 480, 136175.
https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136175.

[15] Brienza, M. et al. (2022). Reclaimed wastewater reuse in irrigation: Role of biofilms in the fate of antibiotics and spread of antimicrobial resistance. Water Research, 221, 118830.
https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118830.

[16] Verlicchi, P. et al. (2023). Selection of indicator contaminants of emerging concern when reusing reclaimed water for irrigation - A proposed methodology. Science of the Total Environment, 873, 162359.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162359.

[17] Heia, J. T. et al. (2025). Quantifying health risks from wastewater reclamation and agricultural reuse using life cycle assessment and quantitative microbial risk assessment. Science of the Total Environment, 977, 179363.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179363.

[18] da Silva, C. P.; Ramos da Silva, N. S.; Matos, D. G. S.; de Campos, S. X. (2025). Emerging pathways for sustainable wastewater treatment: A systematic review integrating high-efficiency processes, resource recovery, and digital management. Total Environment Engineering, 5, 100056.
https://doi.org/10.1016/j.teengi.2025.100056.

[19] Sei, L. K.; Belle, J.; Mshelia, Z.; Dirwai, T.; Oberholster, P. J. (2026). A Nexus Analysis of Municipal Wastewater Treatment

and Reuse for Agriculture and Sustainability: A Life Cycle Assessment. Sustainable Development, 34(3), 4367-4385. https://doi.org/10.1002/sd.70450.
[20] Yeo, J.; Chopra, S. S.; von Eiff, D.; Jeong, S.; Zhang, L.; An, A. K. (2022). An integrated techno-economic analysis on wastewater reclamation in Hong Kong: A comprehensive cost-benefit analysis with life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, 357, 131838. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131838.
[21] Renfrew, D.; Vasilaki, V.; Nika, E.; Tsalidis, G. A.; Marin, E.; Katsou, E. (2024). Systematic assessment of wastewater resource circularity and sustainable value creation. Water Research, 251, 121141. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121141.
[22] Tsalidis, G. A. (2026). Advancing Social Life Cycle Assessment in wastewater treatment: a review of practices and alignment with ISO 14075. Current Opinion in Environmental Sustainability, 80, 101627. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2026.101627.

FICORREMEDIACIÓN COMO TRATAMIENTO TERCIARIO PARA OPTIMIZAR LA CALIDAD DE EFLUENTES TRATADOS EN HUMEDALES CONSTRUIDOS INTEGRADOS A UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA

Pizarro, A. V.; Beccaria, A. J.; Márquez, V. E.; Modini, L. B.; Zerbatto, M. G.
Facultad de Bioquímica y Cs. Biológicas - Universidad Nacional del Litoral
Santa Fe
apizarro@fbcb.unl.edu.ar

RESUMEN

Con el objetivo de optimizar la remoción de compuestos nitrogenados en aguas residuales urbanas tratadas mediante un humedal construido integrado a una celda de combustible microbiana (HC-CCM), se propuso un tratamiento complementario de ficorremediación. Para ello, el efluente generado por el sistema HC-CCM se utilizó para el cultivo de *Scenedesmus* sp. en fotobiorreactores columniformes durante 20 días a 25,8 ± 0,3 °C. Se lograron remociones superiores al 96 % de amonio y nitrato, evidenciando una alta eficiencia en la depuración. El rendimiento de biomasa alcanzó 0,35 g/L, con 0,08 g/L de carbohidratos y 0,04 g/L de lípidos, valores comparables al control. En conclusión, la ficorremediación con *Scenedesmus* sp. no solo disminuyó el carácter contaminante del efluente, sino que también constituye una estrategia sustentable para obtener productos biotecnológicos de interés a partir de la biomasa microalgal.

INTRODUCCION

La integración de un humedal construido con una celda de combustible microbiana (HC-CCM) se presenta como una alternativa innovadora para el tratamiento de aguas residuales urbanas (ARU), permitiendo recuperar energía de manera simultánea [1]. Sin embargo, la capacidad de este sistema para la eliminar compuestos nitrogenados es limitada. Con el fin de optimizar la calidad del efluente, se consideró la aplicación de un proceso terciario basado en microalgas. Estos microorganismos fotosintéticos son ampliamente reconocidos en la depuración de aguas residuales por su habilidad para asimilar compuestos inorgánicos de nitrógeno y fósforo [2]. Entre ellos, *Scenedesmus* sp. destaca por su versatilidad para crecer en diversos tipos de efluentes y por su relevancia en la producción de biocombustibles, dado que sus lípidos pueden destinarse a la generación de biodiésel [3].

OBJETIVO

Evaluar la eficiencia de remoción de amonio y nitrato mediante ficorremediación con *Scenedesmus* sp., cultivada en el efluente secundario proveniente del tratamiento de aguas residuales urbanas en HC-CCM.

DESARROLLO

El ARU tratada por HC-CCM se utilizó como medio de cultivo para *Scenedesmus* sp. y como control de crecimiento el medio Bold 3N modificado (B3Nm) en fotobiorreactores columniformes con un volumen de trabajo de 0,7 L (n=3). Los cultivos se mantuvieron durante 20 días a 25,8 ± 0,3 °C, con fotoperiodo de 16:8 (luz:oscuridad, 760 ± 47 lux) y aireación de 2 ± 0,12 L/h. La capacidad de *Scenedesmus* sp. para remover amonio y nitrato se evaluó periódicamente mediante el método de Nessler [4] y la técnica de Brucina [5]. Al inicio (día 0) y a los 20 días de cultivo se determinó la biomasa microalgal por gravimetría, así como su contenido de lípidos mediante la técnica basada en la reacción con sulfo-fosfo-vainillina [6] y el contenido de carbohidratos mediante el método de Dubois [7].

Los resultados se informan como mediana y mínimo-máximo o rango. La comparación entre grupos se realizó mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. El nivel de significancia fue α=0,05.

RESULTADOS

La variación temporal de las concentraciones de amonio y nitrato en el medio de cultivo (ARU tratada en HC-CCM) de *Scenedesmus* sp se presenta en la Figura 1. Para ambos compuestos se observó una disminución durante el periodo experimental. El amonio mostró una reducción del 52 % al quinto día de cultivo, alcanzando un 82 % de remoción al octavo día. Para el día 12, el amonio se encontró por debajo de 0,5 mg/L (límite de cuantificación de la técnica) lográndose una eliminación mayor de 97 %. En paralelo, el nitrato presentó una disminución del 31 % en el día 5 y del 86 % en el día 8. Para el día 20, la concentración de nitrato fue inferior a 1mg/L (límite de cuantificación de la técnica), con una remoción superior al 96 %.

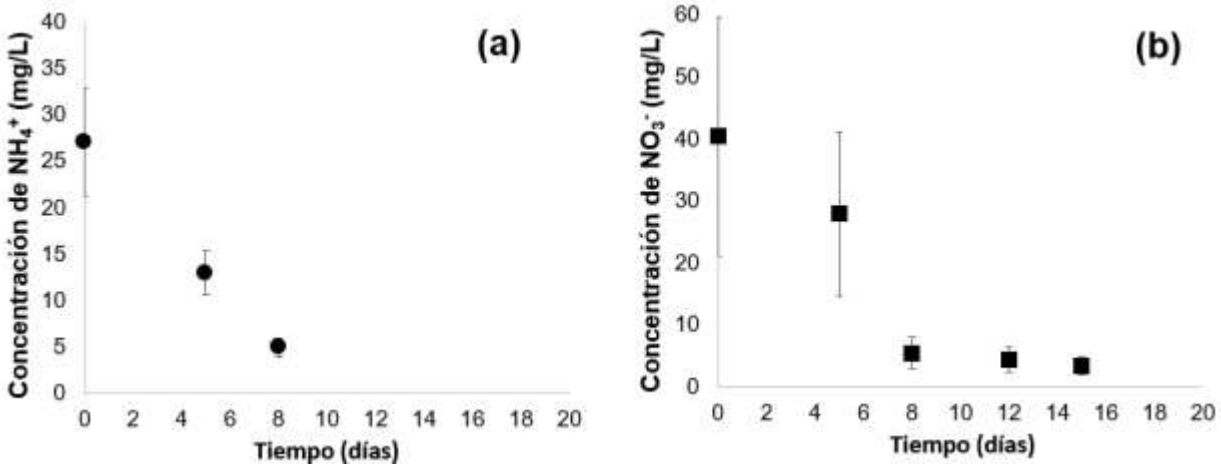


Figura 1: Variación temporal de la concentración de (a) NH_4^+ y (b) NO_3^- durante el tratamiento de ficorremediación del agua residual urbana tratada en HC-CCM. Cada punto de dato representa la mediana (n=3) y las barras de error el rango.

En la Tabla 1 se presenta la comparación de la biomasa producida, el contenido de carbohidratos y de lípidos de *Scenedesmus* sp. en el agua residual urbana tratada en HC-CCM y en el medio control (B3Nm) luego de 20 días de cultivo. El rendimiento microalgal, la producción de carbohidratos y de lípidos no presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto al medio control.

Tabla 1: Parámetros de cultivo de *Scenedesmus* sp. en agua residual urbana tratada (HC-CCM) y en medio control (B3N).

Parámetros	Medio de Cultivo	
	HC-CCM Med (Min-Max) *	B3Nm Med (Min-Max) *
Rendimiento de biomasa (g/L)	0,35 (0,28-0,43)	0,31 (0,30-0,33)
Concentración de carbohidratos (g/L)	0,08 (0,07-0,21)	0,06 (0,06-0,07)
Concentración de lípidos (g/L)	0,04 (0,02-0,04)	0,05 (0,03-0,07)

*Med (Min-Max): Mediana (Mínimo-Máximo)

CONCLUSIÓN

El tratamiento propuesto permitió reducir el carácter contaminante del efluente, mitigando su potencial efecto de eutrofización en los cuerpos receptores. Al mismo tiempo, constituye una estrategia sustentable para la obtención de productos de interés biotecnológico a partir de biomasa algal, como carbohidratos y lípidos con aplicación en la producción de biocombustibles. De esta manera, se favorece la recuperación de nutrientes y la generación de productos de alto valor agregado, promoviendo la economía circular mediante la valorización de residuos, la reutilización del agua y la producción de energía renovable.

REFERENCIAS

[1] Modini, L.; Pizarro, A.; Zerbatto, M. (2023). Sustainable treatment of urban wastewater using a constructed wetland coupled with a microbial fuel cell. *Ing. Agua* 27 (4): 283-293. https://doi.org/10.4995/2023.20318

[2] Regaldo, L.; Márquez, V.; Rapela, M.; Reno, U.; Gagneten, A. (2021). Prokaryotic and Eukaryotic Diversity in Wastewater Treatment: Phenotypic Characterization, Molecular Techniques, and Bioprospecting. Wastewater Treatment. Cutting Edge Molecular Tools, Techniques and Applied Aspects. Elsevier, 343-365.

[3] Silambarasan, S.; Logeswari, P.; Sivaramakrishnan, R.; Incharoensakdi, A.; Kamaraj, B.; Cornejo, P. (2023). *Scenedesmus* sp. strain SD07 cultivation in municipal wastewater for pollutant removal and production of lipid and exopolysaccharides. *Environmental Research*, *218*, 115051

[4] APHA, AWWA, WPCF. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España.

[5] UNEP, WHO, UNESCO, WMO. 1987. GEMS/WATER operational guide. World Health Organization, Ginebra, Suiza.

[6] Mishra, S.; Suh, W.; Farooq, W.; Moon, M.; Shrivastav, A.; Park, M.; Yang, Y. (2014) Rapid quantification of microalgal lipids in aqueous medium by a simple colorimetric method. Bioresource Technology, 155, 330-333.

[7] Purkayastha, J.; Bora, A.; Gogoi, H. K.; Singh, L. (2017). Growth of high oil yielding green alga *Chlorella ellipsoidea* in diverse autotrophic media, effect on its constituents. Algal research, 21, 81-88.

REMEDIACIÓN DEL AGUA CONTAMINADA CON ARSÉNICO Y GLIFOSATO UTILIZANDO ZEOLITAS Y COMUNIDADES ACUÁTICAS

Rodriguez, A. I.; Bursztyn Fuentes, A. L.; Gómez Andrade, V. A.; Leal, P. R.; López Sánchez, B.; Pérez, M. D.; Rodríguez, P.; Sinistro R.; Vera, M. S.; Trinelli, M. A.
Laboratorio de Aguas - Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) - CONICET- Universidad de Buenos Aires (UBA)
Buenos Aires
alcitrinelli@gmail.com

RESUMEN

Los cuerpos de agua contaminados son una preocupación global, destacada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, de la Organización de Naciones Unidas. El arsénico está presente en los sistemas acuáticos natural y antrópicamente, sus efectos nocivos sobre la salud humana son conocidos. Por otro lado, el herbicida glifosato, usado indiscriminadamente, también puede encontrarse en cuerpos de agua, siendo riesgoso para los organismos y ecosistemas. En esta tesis se exploró la remediación de cuerpos de agua contaminados con ambos contaminantes, utilizando zeolitas, comunidades fitoplanctónicas y perifíticas. Se realizaron isotermas de adsorción sobre estos materiales, con los contaminantes individuales y combinados, en cinco concentraciones entre 0,05 y 5,00 mg/L. La zeolita del yacimiento La Anita, de la provincia de La Rioja, fue adicionada con hierro mediante nitrato y cloruro, con ambos procedimientos se aumentó la tasa de remoción de los contaminantes. La zeolita de cloruro de hierro removió ambos contaminantes del medio, casi en su totalidad y se posiciona como la zeolita con las mejores capacidades de remoción de las estudiadas. Las comunidades se utilizaron vivas (para discernir entre mecanismos biológicos y fisicoquímicos: B-FQ) y secadas en estufa (estrictamente fisicoquímicos: FQ). La comunidad fitoplanctónica del mesocosmos experimental, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, de la Universidad de Buenos Aires removió el 80% del arsénico y el 12 % del glifosato inicial por procesos B-FQ, mientras que la comunidad perifítica removió el 60% del arsénico por procesos FQ, y el 41% del glifosato por procesos B-FQ. En el cuerpo de agua de Laguna Verde, ubicada en el Parque Nacional Tierra Del Fuego, en la provincia de Tierra del Fuego, la comunidad fitoplanctónica presentó remoción del 48 % del arsénico y del 41 % del glifosato, la comunidad perifítica no removió arsénico pero si glifosato en un 84%, todos ellos por procesos B-FQ. La comunidad fitoplanctónica de Laguna Chasicó, ubicada en la provincia de Buenos Aires, presentó remoción del 46 % del glifosato por procesos B-FQ. En todos los casos se obtuvo remoción con ambos contaminantes en coexistencia. Las zeolitas estudiadas removieron casi la totalidad de ambos contaminantes, aislados o combinados, pudiendo combinarse la remediación por biomateriales y geomateriales, para lograr la remoción casi total de ambos contaminantes.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas acuáticos continentales son vitales para la vida, el consumo humano y el riego, pero enfrentan el problema de la contaminación creciente de origen agrícola, industrial y urbano. Esta preocupación global se refleja en los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (Sachs *et al.,* 2023), que priorizan el acceso al agua limpia y el saneamiento. En Argentina, el arsénico y el glifosato son contaminantes críticos que coexisten en vastas regiones, representando un riesgo significativo para la salud pública y el equilibrio ecológico (Smith *et al.,* 2016; Beuret *et al.,* 2005; Dutra *et al.,* 2011; Schneider *et al.,* 2009; Sobrero *et al.,* 2007; Vera *et al.,* 2010).

El arsénico en Argentina es predominantemente de origen natural, vinculado a la actividad volcánica del Plioceno y Pleistoceno en la Llanura Chaco Pampeana. Sin embargo, actividades como la minería y el uso de plaguicidas arsenicales también contribuyen a su presencia. El consumo prolongado de agua con concentraciones superiores a 10 µg/L (límite establecido por el Código Alimentario Argentino y la OMS) provoca el Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), asociado a lesiones cutáneas, cáncer y diversas enfermedades sistémicas. Actualmente, más de 17 millones de personas en el país están expuestas a niveles de arsénico por encima de lo recomendado.

El glifosato es el herbicida más utilizado en Argentina, representando el 82% del consumo total de estos productos. Es un biocida sistémico y no selectivo que inhibe la síntesis de aminoácidos esenciales en las plantas. Aunque inicialmente fue clasificado como de bajo riesgo, en 2015 la IARC lo recategorizó como "probablemente cancerígeno para los humanos" (Grupo 2A). En el ambiente, se metaboliza a AMPA (ácido aminometilfosfónico) por una de sus vías de degradación, compuesto que también presenta toxicidad. La coexistencia de arsénico y glifosato es común, y se ha demostrado que su mezcla tiene efectos tóxicos sinérgicos en vertebrados, aunque existe poca información sobre su impacto conjunto en comunidades acuáticas.

El uso de comunidades fitoplanctónicas y perifíticas como organismos remediadores representa una posible tecnología para la remediación de estas sustancias. Estos organismos actúan como bioindicadores y poseen el potencial de acumular o degradar contaminantes mediante procesos biológicos y fisicoquímicos. El perifiton, inmerso en una matriz mucilaginosa de sustancias poliméricas extracelulares es de especial interés por su capacidad de retención.

Las zeolitas son minerales del grupo de los tectosilicatos con alta capacidad de intercambio catiónico y porosidad. La clinoptilolita proveniente del yacimiento "La Anita" (La Rioja, Argentina) fue utilizada en este trabajo, modificada específicamente para mejorar su eficacia remediadora mediante el tratamiento con hierro.

OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo fue analizar el potencial de remoción de los contaminantes glifosato, arsénico, por separado y en mezcla, por parte de zeolitas y de comunidades fitoplanctónicas y perifíticas de cuerpos de agua continentales. Para ello se desarrollaron los siguientes objetivos específicos. Estudiar los efectos de los contaminantes sobre las variables físicas y químicas del agua, estudiar también la superficie de las comunidades fitoplanctónicas y perifíticas mediante técnicas de espectroscopía electrónica de barrido, con espectroscopía de rayos X acoplada. Estudiar las zeolitas también mediante difracción de rayos X, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier y análisis termogravimétricos. Construir las isotermas de adsorción de los contaminantes, sobre las comunidades y las zeolitas en aguas sintéticas y naturales. Respecto de las comunidad fitoplanctónicas y perifíticas se plantea evaluar la capacidad de remoción de los contaminantes y la de los materiales secos. A la vez de analizar la capacidad diferencial de remoción de comunidades fitoplanctónicas respecto de las periféricas. Estudiando la remoción diferencial en función de la historia previa de exposición a los contaminantes. Así como la remoción combinada de zeolita y fitoplancton de los contaminantes. Respecto de las zeolitas, se plantean como objetivos, caracterizar la paragénesis del yacimiento. Modificar las zeolitas para mejorar su capacidad de remoción. Y evaluar la capacidad diferencial de remover arsénico, glifosato y su combinación de las comunidades fitoplanctónicas y perifíticas y del material zeolítico.

DESARROLLO/RESULTADOS

En los ensayos con comunidades perifíticas de los distintos cuerpos de agua se logró determinar que los contaminantes no tienen efecto sobre las variables físicas y químicas del agua. Las comunidades perifíticas de todos los cuerpos de agua analizados removieron el glifosato mediante procesos biológicos. En cuanto al arsénico se logró remoción por parte de la comunidad perifítica proveniente del mesocosmos mediante procesos físicos y químicos. La historia previa de exposición a los contaminantes de los cuerpos de agua tiene un rol en las respuestas observadas a nivel de las alteraciones en la composición de las comunidades, en solo 24 hs de contacto. En la comunidad proveniente de Laguna Verde se observó un descenso en la abundancia de la familia Chlorophyceae tanto en presencia de arsénico como en presencia de glifosato. Mientras que la combinación de ambos contaminantes generó un aumento en la abundancia de las Bacillariophyceae y las Cyanobacteria. Distinto fue el caso para la comunidad perifítica proveniente del Mesocosmos, en el cual la presencia de arsénico provocó una disminución en la abundancia de las Chlorophyceae y Bacillariophyceae. Mientras que la presencia de glifosato, provocó un aumento en la abundancia de las Cyanobacteria y las Bacillariophyceae.

Las comunidades fitoplanctónicas analizadas presentaron estabilidad en la mayorìa de las variables físicas y químicas analizadas. Destacándose un aumento de los sólidos totales y el pH en presencia de los contaminantes, cada uno de ellos individualmente o combinados, lo cual podría estar relacionado con una inhibición en el crecimiento y la actividad fotosintética. Tanto para la comunidad fitoplanctónica

proveniente del Mesocosmos como la proveniente de Laguna Verde, la remoción del glifosato se da por procesos biológicos, mientras que la remoción del arsénico se da principalmente por procesos biológicos en el caso de Laguna Verde, y por procesos físicos y químicos en el caso de la comunidad del Mesocosmos. El ajuste de las isotermas de adsorción al modelo de Freundlich, permite destacar una mayor afinidad por el glifosato por parte de la comunidad de Laguna verde con una constante de Freundlich de 7,11 ± 0,02 mg/g:(mg/L)1/n, comparado con 0,097 ± 0,003 mg/g:(mg/L)1/n para la comunidad del Mesocosmos. La diferente historia previa de exposición a los contaminantes de los cuerpos de agua analizados da indicios de que, tal vez, en la Laguna de Chasicó, los organismos expuestos al arsénico cuenten con mecanismos para discernir entre el ion arseniato y el ion fosfato, dado que la remoción de arsénico por parte de esta comunidad fue nula. Mientras que las comunidades del Mesocosmos y de Laguna Verde, no expuestas previamente al contaminante, sí presentaron remoción del arsénico. En particular para la comunidad fitoplanctónica del mesocosmos, el arsénico retenido en superficie pudo ser evidenciado mediante espectroscopia dispersiva de rayos X.

Al analizar comparativamente los resultados de remoción de las comunidades perifíticas y fitoplanctónicas, se observa que el perifiton es más apropiado que el fitoplancton para poder llevar a cabo tecnologías de remediación, permitiendo a su vez mayor facilidad para su manipulación por crecer adosados a sustratos.

Respecto de las zeolitas provenientes del yacimiento La Anita en la provincia de La Rioja, pudimos determinar que dominan la paragénesis esmectitas y zeolitas de la especie clinoptilolita. Las modificaciones, sobre ella ensayadas, lograron la adhesión de hierro, mejorando la remoción de arsénico y glifosato. En particular la modificación ensayada con nitrato férrico, no presentó cambios estructurales, pero para el caso del tratamiento con cloruro férrico, se observó una disminución del tamaño de poro y una estructura cristalina estabilizada por formación de akaganeita. Sobre todos los materiales zeolíticos analizados, los contaminantes arsénico y glifosato son adsorbidos con su esfera de hidratación, mediante la formación de complejos hidroxilados.

El ensayo conjunto de zeolitas con presencia de comunidades fitoplanctónicas, resultó una metodología provechosa, observándose en general una mayor remoción por parte de las zeolitas en presencia de las comunidades fitoplanctónicas. Lográndose una remoción total del arsénico y una remoción parcial del glifosato frente al sistema de la zeolita tratada con nitrato férrico y el fitoplancton del mesocosmos.

CONCLUSIONES

Respecto a las comunidades fitoplanctónicas, se comprobó que la remoción de arsénico y glifosato ocurre mediante una combinación de procesos biológicos y fisicoquímicos. La comunidad del mesocosmos removió ambos contaminantes, mientras que la de Laguna Verde removió eficazmente glifosato. En contraste, la comunidad de la Laguna de Chasicó mostró una capacidad reducida, atribuida a su

elevada fuerza iónica (300 veces mayor), donde la alta concentración de sales disminuye la actividad del adsorbato. El uso de material fitoplanctónico seco magnificó los procesos de adsorción fisicoquímica de superficie debido a la concentración del sólido tras su resuspensión.

En cuanto al perifiton, la capacidad de remediación presentó variabilidad según el cuerpo de agua de origen. La comunidad del mesocosmos removió glifosato por mecanismos fisicoquímicos de superficie, mientras que su material seco logró remover también arsénico. Por su parte, la comunidad de Laguna Verde removió glifosato principalmente mediante biosorción. Se destaca el material seco proveniente del perifiton del mesocosmos como una matriz altamente prometedora para el desarrollo de tecnologías de remediación, favorecido por su fácil manipulación al crecer adherido a sustratos.

En relación con las zeolitas, estos materiales demostraron elevadas tasas de remoción al retener los contaminantes aniónicos por atracción electrostática. La modificación de la clinoptilolita con hierro incrementó notablemente su eficiencia: la variante tratada con nitrato férrico mejoró la remoción de arsénico en un 50 % manteniendo la de glifosato en 99 %, mientras que la variante tratada con cloruro férrico aumentó la remoción de arsénico en un 20 % y eliminó el 100 % de glifosato. Esta última zeolita, que incorporó la fase cristalina akaganeíta, se posicionó como el material superior. El proceso de adsorción para ambos contaminantes se ajustó al modelo de Freundlich, evidenciando un recubrimiento exponencialmente creciente en equilibrio.

Finalmente, en cuerpos de agua naturales, se observaron interacciones complejas. Los ácidos húmicos compitieron con el glifosato por los sitios de adsorción en la zeolita tratada con nitrato férrico, mientras que la presencia de materia orgánica seca en la zeolita tratada con cloruro férrico potenció la remoción de As por un efecto combinado de superficie. La historia previa de exposición no mostró una tendencia lineal directa en la capacidad de remoción; sin embargo, las comunidades prístinas expuestas a los contaminantes sufrieron alteraciones severas en su composición algal en solo 24 horas, alertando sobre el riesgo de cambios estructurales profundos ante la contaminación sistemática de los ecosistemas acuáticos.

CITAS

Beuret, C. J., Zirulnik, F., & Giménez, M. S. (2005). Effect of the herbicide glyphosate on liver lipoperoxidation in pregnant rats and their fetuses. Reproductive toxicology, 19(4), 501-504.

Dutra, B. K., Fernandes, F. A., Failace, D. M., & Oliveira, G. T. (2011). Effect of roundup®(glyphosate formulation) in the energy metabolism and reproductive traits of Hyalella castroi (Crustacea, Amphipoda, Dogielinotidae). Ecotoxicology, 20(1), 255-263.

Sachs, J. D., Lafortune, G., Fuller, G., & Drumm, E. (2023). Sustainable development report 2023: Implementing the SDG Stimulus.

Schneider, M. I., Sanchez, N., Pineda, S., Chi, H., & Ronco, A. (2009). Impact of glyphosate on the development, fertility and demography of Chrysoperla externa (Neuroptera: Chrysopidae): ecological approach. Chemosphere, 76(10), 1451-1455.

Smith, A. H., Hopenhayn-Rich, C., Bates, M. N., Goeden, H. M., Hertz-Picciotto, I., Duggan, H. M., Wood, R., Kosnett, M. J., & Smith, M. T. (1992). Cancer risks from arsenic in drinking water. Environmental health perspectives, 97, 259-267.

Smith, M. T., Guyton, K. Z., Gibbons, C. F., Fritz, J. M., Portier, C. J., Rusyn, I., DeMarini, D. M., Caldwell, J. C., Kavlock, R. J., Lambert, P. F., Hecht, S. S., Bucher, J. R., Stewart, B. W., Baan, R. A., Cogliano, V. J., & Straif, K. (2016). Key characteristics of carcinogens as a basis for organizing data on mechanisms of carcinogenesis. Environmental health perspectives, 124(6), 713-721.

Sobrero, M. C., Rimoldi, F., & Ronco, A. E. (2007). Effects of the glyphosate active ingredient and a formulation on Lemna gibba L. at different exposure levels and assessment end-points. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 79(5), 537-543.
Vera, M. S., Lagomarsino, L., Sylvester, M., Pérez, G. L., Rodríguez, P., Mugni, H., Siniestro R. Ferraro M: Bonetto C. Zagarese H & Pizarro, H. (2010). New evidences of Roundup®(glyphosate formulation) impact on the periphyton community and the water quality of freshwater ecosystems. Ecotoxicology, 19(4), 710-721.

EFECTO DE DISTINTAS MEZCLAS DE SUSTRATOS LIGNOCELULOSICOS SOBRE LAS PROPIEDADES DE MICOMATERIALES ELABORADOS CON AURICULARIA (FUNGI: BASIDIOMYCOTA)

Sidders, F.; Currá, R.; Ferreiro, N.; Kravetz, S.; Zunino, E.
Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable - INEDES - Universidad Nacional de Luján - CONICET
Buenos Aires
nicolasferreiro@conicet.gov.ar

RESUMEN

Los micomateriales constituyen una alternativa sustentable basada en el crecimiento de micelio sobre matrices lignocelulósicas. En este trabajo se evaluó el efecto de cuatro formulaciones de mijo, avena y yerba mate sobre las propiedades de biomateriales elaborados con *Auricularia.* Los sustratos fueron colonizados durante 21 días, moldeados en placas de Petri durante otros 21 días e inactivados mediante secado a 60 °C durante 9 h. Se estimaron el contenido de humedad, el pH, la conductividad, la circularidad, la rugosidad, el color y la resistencia a la compresión. La colonización fue exitosa en todas las formulaciones. El secado redujo la humedad de 97–34 % a 9–25 %, estabilizándose posteriormente entre 6 y 14 %. Los biomateriales de mijo presentaron la mayor circularidad (0,64), mientras que las mezclas mijo-avena alcanzaron la mayor resistencia a la compresión (88,1 N). Las formulaciones con yerba mate mostraron mayor deformación, menor resistencia y tonalidades más oscuras. Los resultados indican que la composición del sustrato influye significativamente sobre las propiedades de los micomateriales.

INTRODUCCIÓN

Los micomateriales constituyen una alternativa sustentable a materiales convencionales de alto impacto ambiental. Se obtienen mediante el crecimiento de hongos Basidiomycota sobre matrices lignocelulósicas, donde el micelio actúa como agente natural de unión, generando materiales livianos y biodegradables con potencial aplicación en embalajes, aislación y construcción (Haneef et al., 2017; Elsacker et al., 2020). Aunque la mayoría de los estudios se centran en *Pleurotus* y *Ganoderma*, el género *Auricularia* representa una alternativa promisoria aún poco explorada.

OBJETIVOS

El presente trabajo evalúa el efecto de diferentes formulaciones de sustratos lignocelulósicos sobre las propiedades de micomateriales elaborados con *Auricularia*, mediante la cuantificación de atributos morfológicos, cromáticos y mecánicos.

DESARROLLO

Se evaluaron cuatro formulaciones de sustratos lignocelulósicos (mijo, mijo-avena, mijo-yerba y yerba-avena), preparadas en proporción 1:1 (volumen:volumen) de mijo

(38%H), avena (63%H) y yerba (80%H), esterilizadas e inoculadas con *Auricularia*. Tras 21 días de incubación a 25 °C, se moldearon 20 g de sustrato colonizado en placas de Petri y se incubaron otros 21 días. Finalmente, los discos se inactivaron mediante secado a 60 °C durante 9 hs.

Mediante fotografías digitales analizadas con ImageJ (Schneider et al., 2012) se determinaron la circularidad como indicador de la calidad del desmolde, la dimensión fractal de la superficie como estimador de la rugosidad (Gagnepain & Roques-Carmes, 1986) y la intensidad de los canales RGB como indicador de la coloración. La resistencia a la compresión se evaluó mediante un ensayo Box Crush Test (ASTM D642) utilizando un texturómetro Brookfield CT3. Además, se determinaron la humedad, el pH y la conductividad eléctrica (CE) de los biomateriales secos.

RESULTADOS

La cepa de *Auricularia* colonizó completamente las cuatro formulaciones de sustrato luego de 21 días de incubación en frascos y otros 21 días de crecimiento en moldes de placas de Petri, obteniéndose discos cohesivos de micomaterial (Figura 1).



Figura 1. Discos cohesivos de micomaterial a partir de Auricularia en A) Mijo, B) Mijo + Avena, C) Mijo + Yerba y D) Yerba + Avena.

Durante la incubación, la humedad disminuyó de 100-35 % a 97–34 %. El secado a 60 °C durante 9 hs redujo el contenido de agua hasta 9–25 %, mientras que el almacenamiento a temperatura ambiente estabilizó la humedad entre 6 y 14 % luego de cuatro meses, evidenciando estabilización higroscópica del biomaterial (Tabla 1).

Tabla 1. Humedad (%) de los micomateriales antes y después del secado en estufa, y luego de cuatro meses de estabilización al aire.

		H% inicial	H% luego de 42 días	H% luego de 9hs en estufa	H% luego de 24hs al aire	H% luego de 120hs al aire	H% luego de 4 meses
1	Mijo	38	36	12	9	9	9
2	Mijo	59	57	15	14	14	13
3	Mijo + Avena	50	48	19	15	15	12
4	Mijo + Avena	42	40	14	12	11	10
5	Mijo + Avena	35	34	9	9	9	8
6	Mijo + Yerba	67	64	18	12	11	11
7	Mijo + Yerba	85	81	24	17	15	14
8	Mijo + Yerba	100	97	22	17	14	14
9	Yerba + Avena	70	67	25	20	10	10
10	Yerba + Avena	38	37	12	9	6	6

La formulación del sustrato influyó sobre las propiedades de los biomateriales. Los discos elaborados con mijo presentaron la mayor circularidad (0,64), utilizada como indicador de la eficiencia del desmolde, mientras que las mezclas con yerba mate registraron los menores valores (0,39–0,43). El análisis de imágenes también evidenció diferencias cromáticas: las formulaciones yerba-avena fueron las más oscuras y las de mijo-avena presentaron la mayor intensidad del canal rojo. Asimismo, los biomateriales mijo-avena alcanzaron la mayor resistencia a la compresión (88,1 N), seguidos por los de mijo (80,1 N), mientras que las mezclas con yerba mate mostraron los menores valores (≈72 N), sugiriendo una menor estabilidad geométrica y mecánica (Tabla 2).

Tabla 2. Propiedades morfológicas, cromáticos y mecánicos.

		pH	CE (uS/cm)	Circularidad	Rugosidad	Rojo	Verde	Azul	Compresibilidad (N)
1	Mijo	6,12	1533	0,590	1,51	145	100	64	96,520
2	Mijo	6,03	1746	0,685	1,52	142	101	58	63,587
3	Mijo + Avena	5,88	1872	0,580	1,49	143	95	56	76,248
4	Mijo + Avena	6,07	1515	0,620	1,49	146	99	62	98,270
5	Mijo + Avena	6,14	1498	0,525	1,48	151	105	64	89,761
6	Mijo + Yerba	5,87	1751	0,370	1,51	130	98	61	68,804
7	Mijo + Yerba	5,84	1609	0,390	1,56	132	101	64	67,998
8	Mijo + Yerba	5,59	1787	0,395	1,58	134	109	70	78,584
9	Yerba + Avena	6,43	1498	0,415	1,46	97	76	48	68,377
10	Yerba + Avena	6,38	1481	0,435	1,46	104	79	51	74,876

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la formulación del sustrato constituye un factor determinante en la fabricación de micomateriales, afectando el proceso de

estabilización hídrica, la eficiencia de desmolde, las propiedades estéticas y el comportamiento mecánico del material.

REFERENCIAS

-Elsacker, E., Vandelook, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., & Peeters, E. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. Science of the Total Environment, 725, 138431.
-Gagnepain JJ y Roques-Carmes C. 1986. Fractal approach to two-dimensional and three-dimensional surface roughness. Wear 109: 1–4.
-Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. Scientific Reports, 7, 41292.
-Schneider C, Rasband W, Eliceiri K. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods 9: 671–675.

INTEGRACIÓN AMBIENTAL Y PAISAJÍSTICA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN EL ACUÍFERO COSTERO DE COSTA ESMERALDA

Villalba, G.; Cipolla, H.; Linfante. A.; Snyders, F.
Asociación Civil y Deportiva Costa Esmeralda - UADE
Buenos Aires
gvillalba@costa-esmeralda.com.ar

RESUMEN

Las urbanizaciones cerradas sobre el frente costero bonaerense se implantan sobre un ecosistema de campo de dunas activo cuya única fuente de agua dulce para consumo la constituyen lentejas subterráneas freáticas recargadas exclusivamente por precipitación (Rodrigues Capítulo et al., 2012). El manejo convencional del drenaje urbano mediante canalizaciones directas al mar erosiona la franja costera y limita la recarga del acuífero, favoreciendo procesos de intrusión salina (Bensey, 2017; Carretero et al., 2013). Desde 2017, la urbanización Costa Esmeralda implementa un Plan Hidráulico basado en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) diseñados a escala de microcuenca (Villalba et al., 2019; Villalba et al., 2024). El presente trabajo comunica la evolución de esta estrategia hacia Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), focalizándose en una prueba piloto donde un dren de absorción artificial es transformado funcional y paisajísticamente en un humedal mediante la incorporación de flora palustre y de borde autóctona de los bajos interdunales regionales. Se analiza la capacidad de infiltración y de retención de sedimentos del dren vegetado en comparación con los drenes artificiales sin intervenir frente a eventos pluviométricos de diversa intensidad. Los resultados confirman que la presencia de vegetación nativa estabiliza los finos de la calzada, evita la colmatación ciega del suelo y reduce sustancialmente el mantenimiento mecánico, aportando valiosos beneficios ecológicos y ecosistémicos al integrar la infraestructura hidráulica urbana al hábitat natural y protegiendo el recurso hídrico estratégico.

INTRODUCCIÓN

Las villas balnearias y desarrollos urbanos de baja densidad en el litoral bonaerense han experimentado una marcada expansión territorial y poblacional en las últimas décadas (Hernandez, 2009). La parcela de la urbanización Costa Esmeralda, emplazada en el Partido de La Costa, abarca 1.000 hectáreas sobre el cordón medanoso costero. (Figura 1)



Figura 1. Ubicación de la urbanización Costa Esmeralda.

Geomorfológicamente, este ambiente se caracteriza por dunas activas, crestas y bajos interdunales que configuran un sistema hidrológico sumamente frágil (Rodrigues Capítulo et al., 2017; Villalba et al., 2019). (Figura 2)



Figura 2. Entorno y situación política de Costa Esmeralda.

En esta región, el abastecimiento de agua potable depende de manera exclusiva del agua subterránea somera. Este recurso se encuentra alojado en unidades acuíferas clásticas que forman lentejas de agua dulce de extensión y espesor variable, suspendidas sobre agua salobre o marina (Rodrigues Capítulo et al., 2012; Rodrigues Capítulo et al., 2017). El ciclo hidrológico de estas lentejas depende estrictamente de la recarga autóctona por infiltración de los excesos de precipitaciones locales (Perales Momparler y Doménech, 2008; Rodrigues Capítulo et al., 2012).

Históricamente, la ingeniería civil convencional ha resuelto la escorrentía pluvial urbana en municipios costeros mediante canales y colectores perpendiculares a la línea de costa con descarga directa al mar (Bensey, 2017; Villalba et al., 2019). Diversos estudios han demostrado que esta práctica no solo genera erosión severa en la cadena de médanos de playa, sino que desvía volúmenes masivos de agua dulce fuera del sistema continental, privando al acuífero de su recarga natural (Bensey, 2017; Carretero et al., 2013). En localidades contiguas con drenaje tradicional, la sobreexplotación sumada a la pérdida de infiltración ha provocado el deterioro de hasta el 30% del reservorio dulce por procesos de intrusión salina (Carretero et al., 2013; Carretero et al., 2016; Villalba et al., 2024).

Para mitigar este impacto, en el año 2017 Costa Esmeralda inició la ejecución de un Plan Hidráulico alineado con los principios de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) (Villalba, 2022; Villalba et al., 2019). Mediante la construcción de badenes permeables, pozos de decantación y drenes de absorción situados en el tejido urbano, se logró captar e infiltrar el agua de lluvia en origen y destino, evitando la escorrentía hacia el mar y preservando la dinámica de recarga hídrica (Villalba et al., 2019; Villalba et al., 2024).

No obstante, el mantenimiento de los drenes artificiales sin vegetación en un entramado vial de tosca y arena demanda intervenciones mecánicas continuas debido a la colmatación producida por el arrastre de sedimentos en eventos de precipitación (Villalba et al., 2019; Villalba et al., 2024). Frente a este desafío técnico y operativo, se planteó la necesidad de dar un salto cualitativo hacia las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), diseñando una prueba piloto que permita evaluar si la fitointegración de los drenes con vegetación nativa optimiza la respuesta hidráulica y reduce la carga de mantenimiento en relación a los sistemas sin intervenir. (Figura 3)



Figura 3. Masterplan de Costa Esmeralda. Puntos amarillos indican 224 drenes de absorción.

OBJETIVOS

Objetivo General: Evaluar la viabilidad técnica, hidráulica y ambiental de la transformación de drenes de absorción pluvial en humedales de infiltración mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza, comparando su desempeño frente a drenes artificiales sin intervenir en Costa Esmeralda.

Objetivos Específicos:

1. Diseñar e implementar una prueba piloto de humedal de infiltración utilizando especies vegetales palustres y de borde autóctonas de los bajos interdunales del cordón medanoso costero bonaerense.

2. Analizar la capacidad de infiltrar de este sistema frente a otros sin intervenir en relación a la retención de sedimentos del sistema vegetado ante eventos pluviométricos de diversa intensidad.
3. Evaluar los beneficios ecológicos y ecosistémicos derivados de la fitointegración de la infraestructura hidráulica urbana al hábitat natural.

DESARROLLO/RESULTADOS

La metodología de trabajo se estructuró a partir del análisis a escala de microcuenca urbana (Villalba et al., 2019; Villalba et al., 2024). Utilizando modelos digitales de terreno y relevamientos planialtimétricos georreferenciados en QGIS, se determinaron las divisorias de aguas, los puntos de acumulación sobre calzadas y los volúmenes de aporte para lluvias de diseño de 30 mm/h (Villalba et al., 2019).

La red vial del barrio, compuesta por una mezcla de tosca y arena compactada sobre suelo natural, experimenta erosión y arrastre de sedimentos finos durante precipitaciones intensas (Villalba et al., 2019; Villalba et al., 2024). En los drenes de absorción convencionales (sin vegetación), estos finos forman una capa impermeable sobre el fondo que sella los poros del suelo natural, provocando una rápida caída en la tasa de infiltración y requiriendo el raspado y retiro mecánico del sedimento de forma frecuente (Villalba et al., 2019; Villalba et al., 2024).

Para la prueba piloto, se acondicionó un dren de absorción mediante la conformación de gradientes de humedad y la implantación de flora autóctona recolectada en bajos interdunales y humedales locales. Se seleccionaron especies de macrófitas y palustres con elevada adaptabilidad hidrófita: *Typha domingensis* (totora), *Schoenoplectus californicus* (junco), *Juncus acutus*, *Cyperus eragrostis* y la gramínea de borde *Stenotaphrum secundatum*, (Figura 4).



Figura 4. Dren de absorción construído. A, situación luego de 56mm de lluvia. B, fondo del dren con sedimento. C, humedal implantado.

Al comparar el comportamiento de ambos sistemas ante eventos pluviométricos de diversa intensidad, se observaron claras diferencias operativas:

1. Retención de sedimentos y permeabilidad: En el dren vegetado, la cobertura aérea de las plantas atenúa la energía cinética del agua de ingreso, favoreciendo la decantación controlada de la tosca y arena. Asimismo, la densa trama de raíces y rizomas evita la compactación del sedimento sobre el lecho. La red radicular crea y mantiene macroporos continuos que canalizan el agua hacia horizontes profundos, evitando el sellado ciego del terreno.
2. Capacidad de infiltración: Mientras que los drenes artificiales sin intervenir pierden progresivamente su tasa de infiltración tras cada lluvia debido a la capa fango sedimentaria, el dren vegetado mantuvo altas tasas de absorción de manera sostenida en el tiempo, respondiendo con celeridad incluso ante precipitaciones intensas superiores a la lluvia de diseño.
3. Mantenimiento mecánico: La acción biológica de las raíces en la reestructuración del sustrato redujo en más de un 60% la necesidad de maquinaria pesada para el retiro de finos en comparación con los drenes no vegetados, completándose además un proceso donde el sedimento retenido se estabiliza de forma natural.
4. Respuesta hidroquímica y de recarga: El monitoreo hídrico continuo en la red de pozos de extracción demuestra que la infiltración in situ a través de estos sistemas recarga la lenteja freática sin alterar los parámetros de potabilidad de la Autoridad del Agua (ADA) (pH, conductividad < 550 uS/cm, nitratos y bacteriológicos), preservando la barrera contra la intrusión salina (Carretero et al., 2016; Villalba, 2022; Villalba et al., 2024).
5. Beneficios ecológicos y ecosistémicos: La fitointegración permitió la rápida colonización de fauna autóctona (anfibios, macroinvertebrados y aves de pastizal/marítimas), transformando una zanja de infraestructura en un parche biológico activo que enriquece la red de corredores ecológicos del barrio y revaloriza estéticamente el paisaje urbano.

CONCLUSIONES

1. Fue posible diseñar e implementar con éxito una prueba piloto de humedal de infiltración mediante la incorporación de flora palustre y de borde autóctona (*Typha*, *Schoenoplectus*, *Juncus*), demostrando la factibilidad técnica de aplicar Soluciones Basadas en la Naturaleza sobre la infraestructura pluvial urbana en un ambiente de dunas.
2. En la evaluación comparativa, el sistema vegetado demostró una superior capacidad de infiltración y de retención de sedimentos frente a los drenes artificiales sin intervenir. La red radicular de las especies nativas previno el sellado del suelo por arrastre de finos viales, manteniendo constante la permeabilidad del lecho y reduciendo en más del 60% los costos y frecuencias de mantenimiento mecánico para desobstrucción.
3. La fitointegración de la infraestructura pluvial generó valiosos beneficios ecológicos y ecosistémicos: transformó los puntos de acumulación de agua en refugios de biodiversidad local, integró visualmente las obras al entorno natural

de los bajos interdunales y garantizó la recarga limpia del acuífero somero de Costa Esmeralda, asegurando la preservación cuantitativa y cualitativa del recurso hídrico subterráneo.

CITAS

Bensey, G. (2017). La percepción ambiental del turista en destinos del litoral. Estudio comparativo entre Villa Gesell y Pinamar (Argentina). IV Congreso Latinoamericano de Investigación Turística. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

Carretero, S., Kruse, E. y Rojo, A. (2013). Condiciones hidrogeológicas en Las Toninas y Santa Teresita, Partido de La Costa. En N. González et al. (Eds.), Temas actuales en hidrología subterránea (pp. 28-35). EDULP, La Plata.

Carretero, S., Perdomo, S., Kruse, E. y Ainchil, J. (2016). Respuesta eléctrica de la zonación química en un nivel acuífero en la costa arenosa oriental de la Provincia de Buenos Aires. Calidad del agua subterránea (pp. 93-100). Universidad Nacional de Catamarca.

Hernandez, F. (2009). Las áreas protegidas como modelo de desarrollo turístico. Realidad, Tendencias y Desafíos en Turismo, CONDET, 7, 99-119.

Perales Momparler, S. y Doménech, I. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia. IX Simposio de Hidrología, Elche, Alicante, España.

Rodrigues Capítulo, L., Carretero, S. y Kruse, E. (2017). Recurso hídrico y emprendimientos urbanísticos en la costa oriental de la provincia de Buenos Aires. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 38, 45-60.

Rodrigues Capítulo, L., Kruse, E. y De Bernardi, P. (2012). Influencia de la evolución geomorfológica Pleistocena-Holocena en la dinámica del acuífero medanoso costero de Pinamar. Actas del V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Río Cuarto, Argentina.

Villalba, G. A. (2022). Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como herramienta para la preservación del Ciclo Hidrológico. Caso Costa Esmeralda. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA 2022), Madrid, España.

Villalba, G. A., Curto, F., Malegni, N. y Linfante, A. (2019). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como herramienta para resolver problemas de inundaciones urbanas. Experiencias en Costa Esmeralda. Aqua-LAC, 11(2), 39-49.

Villalba, G. A., Linfante, A. y Cipolla, H. (2024). Pluviales urbanos y preservación del agua subterránea en una villa balnearia de la costa bonaerense. 2017-2023. XXIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, Brasil.

CONGRESO ARGENTINO DE SUSTENTABILIDAD

SAProCEA

SOCIEDAD ARGENTINA DE PROFESIONALES, CONSULTORES Y EXPERTOS AMBIENTALES

ISBN 978-631-92133-0-0