

Serie
Selección de Textos

S | T

Integración de análisis de datos y ciencias naturales. Propuestas en el área de salud, alimentos y medio ambiente

José Ernesto Calderón
Josefina Huespe
Esteban Anzoise
(Editores)

serie
Selección de Textos

S | T

Serie Selección de Textos

Juan Redmond & Rodrigo López-Orellana
(Directores)

Jorge Budrovich S. (Editor)

Volumen 13

INTEGRACIÓN DE ANÁLISIS DE DATOS Y CIENCIAS
NATURALES. PROPUESTAS EN EL ÁREA DE SALUD,
ALIMENTOS Y MEDIO AMBIENTE

JOSÉ ERNESTO CALDERÓN, JOSEFINA HUESPE &
ESTEBAN ANZOISE
(EDITORES)

Universidad de Valparaíso
Facultad de Humanidades
Instituto de Filosofía

2025

FACULTAD DE HUMANIDADES, UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

III

Rector: Osvaldo Corrales Jorquera
Vicerrector de Gestión Institucional: Christian Corvalán Rivera
Secretario General: Ricardo Bravo Méndez
Decano: Pablo Aravena Núñez.

Comité Editorial de la Serie

Directores: Juan Redmond & Rodrigo López-Orellana
Editor: Jorge Budrovich Sáez

Comité Científico de la Serie

Adriana Arpini, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina
Alejandro Cassini, Universidad de Buenos Aires, Argentina
Carlos Bello, UTN-Facultad Regional Mendoza, Argentina
Claudio Albertani, Universidad Autónoma de la Ciudad de México
Cristián Soto, Universidad de Chile, Chile
Diego Fernandes, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Esteban Anzoise, UTN-Facultad Regional Mendoza, Argentina
Félix Aguirre, Universidad de Valparaíso, Chile
Guillermo Cuadrado, UTN-Facultad Regional Mendoza, Argentina
Jaime Villegas, Universidad de Valparaíso, Chile
María José Frápolli, University College London, United Kingdom
María Manzano Arjona, Universidad de Salamanca, España
Miguel Tornello, UTN-Facultad Regional Mendoza, Argentina
Rolando Rebolledo, Universidad de Valparaíso, Chile
Rubén Quiroz Avila, Universidad Nacional de San Marco, Perú
Sara Beatriz Guardia, Universidad San Martín de Porres, Perú
Shahid Rahman, Université de Lille, Francia
Víctor Aranda, Universidad Complutense de Madrid, España

Serie Selección de Textos – Volumen 13. Integración de análisis de datos y ciencias naturales. Propuestas en el área de salud, alimentos y medio ambiente.

Primera edición. Valparaíso. Chile, 2025.

ISSN: 2810-7330

Editores: José Ernesto Calderón, Josefina Huespe & Esteban Anzoise
Diagramación: Esteban Anzoise

Esta publicación se distribuye bajo una Licencia
Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin
Obra Derivada 4.0 Internacional



INSTITUTO DE FILOSOFÍA,
UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
Serrano 546,
2362415 Valparaíso. Chile

ISSN: 2810-7330

*INTEGRACIÓN DE ANÁLISIS DE DATOS Y CIENCIAS
NATURALES. PROPUESTAS EN EL ÁREA DE SALUD,
ALIMENTOS Y MEDIO AMBIENTE*

José Ernesto Calderón, Josefina Huespe
& Esteban Anzoise
(Editores)

Serie Selección de Textos, Volumen 13

Primera edición. Valparaíso, 2025

© 2025 de la presente edición, Universidad de Valparaíso.

Comité Científico del Volumen

Juan Redmond, Universidad de Valparaíso, Chile
Guillermo Cuadrado, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina
Rodrigo López-Orellana, Universidad de Valparaíso, Chile
Esteban Anzoise, UTN-Facultad Regional Mendoza, Argentina
Raúl Pérez, UTN-Facultad Regional Mendoza, Argentina
Shahid Rahman, PhD, Universidad de Lille 3, Francia

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
----------------------	----------

<i>AVANCES EN DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO DE LA RESPUESTA EMOCIONAL MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LAS EXPRESIONES FACIALES</i>	<i>9</i>
---	----------

NELSON DUGARTE; ANTONIO ALVAREZ; BUCCHERI MATÍAS; NEGMAN ALVARADO; MARCELO GOMEZ

<i>POTENCIALIDADES DEL ACEITE ESENCIAL DE SCHINUS MOLLE L.</i>	<i>19</i>
---	-----------

MARIELA BEATRIZ MALDONADO, GASTÓN GUSMERINI, DIANA LABUCKAS, JUAN IGNACIO GONZÁLEZ PACHECO; ARIEL FERNANDO MÁRQUEZ; ORIANA ORTEGA, JUAN MANUEL ALFANO, CARLA ZARAGOZA, LEONEL LISANTI, RAMIRO RANIER, WALTER PIRAN, MARCELO MERCAÚ

<i>AVANCES EN EL DESARROLLO DE SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PATOLOGÍA DE ESPINA BÍFIDA</i>	<i>31</i>
---	-----------

YUDITH S. ONTIVEROS, NELSON DUGARTE, JUAN C. PEROZO, ANTONIO ALVAREZ, NEGMAN ALVARADO

<i>ZAPALLO TIPO "ANCO" EN ALMÍBAR PREBIÓTICO, UNA ALTERNATIVA SALUDABLE Y FUNCIONAL</i>	<i>43</i>
---	-----------

MARIELA BEATRIZ MALDONADO, JUAN IGNACIO GONZÁLEZ PACHECO; OSCAR DANIEL GALVEZ, PAULA GIORLANDO, JUAN MANUEL ALFANO, RAMIRO MEIRER, ORIANA ORTEGA, SIMÓN CONTRERAS, FLORENCIA APARICIO

<i>MEJORA DE LA CONSERVACIÓN Y EL COLOR DE CEREZAS BING (PRUNUS AVIUM): UNA METODOLOGÍA DESCRIPTIVA MEDIANTE EL USO DE ADITIVOS NATURALES</i>	<i>53</i>
---	-----------

JUAN IGNACIO GONZÁLEZ PACHECO; MARIELA BEATRIZ MALDONADO; ARIEL FERNANDO MÁRQUEZ; PAULA ANABELLA GIORLANDO; OSCAR DANIEL GALVEZ

SALMUERAS DE ACEITUNAS, ESTUDIO DE SU BIODEGRADACIÓN
CON FLORA NATIVA HALOTOLERANTE69

MARIELA BEATRIZ MALDONADO, FELIPE VALENZUELA, JUAN IGNACIO
GONZÁLEZ PACHECO OSCAR DANIEL GALVEZ, PAULA GIORLANDO, SIMÓN
CONTRERAS, LEONEL LISANTI

SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA EL MONITOREO AMBIENTAL EN LA
CÁMARA DE FRUCTIFICACIÓN DE *PLEOROTUS OSTREATUS*..... 81

MATILDE INÉS CÉSARI, CECILIA CÉSARI, VALERIA ESPARTARO, MARÍA CECILIA
CASTELLANOS, EUGENIA ALFONSO, CAROLINA PENNISI, NOELIA ROBLES, MARÍA
EUGENIA STEFANONI, DANIELA CARBONARI

EVALUACIÓN DE LA DIFUSIÓN DE ARSÉNICO EN ZANAHORIAS:
IMPACTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE COCCIÓN 95

OSCAR DANIEL GALVEZ; MARIELA BEATRIZ MALDONADO; MARÍA CRISTINA
VARGAS; JUAN IGNACIO GONZÁLEZ PACHECO

ANEMÓMETRO PARA MEDIR VELOCIDAD DE FLUIDOS BASADO EN
ARDUINO 117

TATIANA DURAN; FACUNDO OLEA, RODOLFO DEMATTE; JOSEFINA HUESPE Y
RAÚL PÉREZ

ANÁLISIS DE TEMPERATURAS ESTACIONALES EN ÁREAS URBANAS Y
NO URBANAS DE LA CIUDAD DE LA RIOJA. AÑO 2021 129

RODOLFO DEMATTE; LAURA ÁVILA Y JOSEFINA HUESPE

ANÁLISIS DEL EFECTO DE ISLA DE CALOR URBANA DIURNA Y
NOCTURNA. ESTUDIO DE CASO: CIUDAD DE LA RIOJA. ARGENTINA
..... 141

RODOLFO DEMATTE; LAURA ÁVILA, JOSEFINA HUESPE

REVISIÓN DE MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DEL
COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN CULTIVOS (2019-2023) .. 155

RODOLFO DEMATTE; FACUNDO OLEA; JOSEFINA HUESPE ERNESTO GANDOLFO
RASO

PRÓLOGO

Soñar con un mundo mejor genera una fuerza que nos mueve a la acción. La humanidad ha probado diversos caminos para poder hacer realidad dicho sueño. EL conjunto de acciones más recientes se enmarca en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

El 25 de septiembre de 2015 la Asamblea General de Naciones Unidas aprobó por unanimidad dicha agenda como un plan de acción en favor de las personas, el planeta, la prosperidad y la paz universal. Dicho plan cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas concretas a desarrollar con horizonte 2030. Dichos objetivos abarcan: 1) Fin de la pobreza, 2) Hambre cero, 3) Salud y Bienestar, 4) Educación de calidad, 5) Igualdad de género, 6) Agua limpia y saneamiento, 7) Energía asequible y no contaminante, 8) Trabajo decente y crecimiento económico, 9) Industria, innovación e infraestructura, 10) Reducción de las desigualdades, 11) Ciudades y comunidades sostenibles, 12) Producción y consumo responsable, 13) Acción por el clima, 14) Vida submarina, 15) Vida de ecosistemas terrestres, 16) Paz, justicia e instituciones sólidas, y 17) Alianza mundial para el desarrollo sostenible¹.

En el año 2015, Argentina adhiere a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Diversas acciones, con resultados dispares, se han realizado para poder alcanzar dichos objetivos^{2,3}. En este contexto, las universidades públicas en Argentina no han permanecido al margen de este compromiso.

¹ IN 2015, WORLD LEADERS AGREED TO 17 GLOBAL GOALS. Recuperado de <https://globalgoals.org>

² Agenda 2030. Objetivos de Desarrollo Sostenible, Metas e Indicadores. Versión revisada en 2020. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/objetivos_metas_e_indicadores_nacionales_alta_v6.pdf

³ LA AGENDA 2030 EN LA LEGISLACIÓN ARGENTINA 2019-2022. Recuperado de <https://www2.hcdn.gob.ar/institucional/dgads/proyectos/archivos/ods.pdf>

La Ley de Educación Superior (Ley 24.521) establece que la Educación Superior tiene por finalidad proporcionar formación científica, profesional, humanística y técnica en el más alto nivel, contribuir a la preservación de la cultura nacional, promover la generación y desarrollo del conocimiento en todas sus formas, y desarrollar las actitudes y valores que requiere la formación de personas responsables, con conciencia ética y solidaria, reflexivas, críticas, capaces de mejorar la calidad de vida, consolidar el respeto al medio ambiente, a las instituciones de la República y a la vigencia del orden democrático. En particular, establece como funciones básicas de las instituciones universitarias: a) Formar y capacitar científicos, profesionales, docentes y técnicos, capaces de actuar con solidez profesional, responsabilidad, espíritu crítico y reflexivo, mentalidad creadora, sentido ético y sensibilidad social, atendiendo a las demandas individuales, en particular de las personas con discapacidad, desventaja o marginalidad, y a los requerimientos nacionales y regionales; (Inciso sustituido por art. 3° de la Ley N° 25.573 B.O. 30/04/2002); b) Promover y desarrollar la investigación científica y tecnología, los estudios humanísticos y las creaciones artísticas; c) Crear y difundir el conocimiento y la cultura en todas sus formas; d) Preservar la cultura nacional; y e) Extender su acción y sus servicios a la comunidad, con el fin de contribuir a su desarrollo y transformación, estudiando en particular los problemas nacionales y regionales y prestando asistencia científica y técnica al Estado y a la comunidad⁴.

En línea con esta última función, en el año 2023 se realizó un encuentro de universidades comprometidas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas. Dicho encuentro tuvo como sede la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) donde representantes de 30 instituciones de

⁴ LEY DE EDUCACION SUPERIOR. Ley № 24.521. Disposiciones preliminares. Educación Superior. Educación superior no universitaria. Educación superior universitaria. Disposiciones complementarias y transitorias. Recuperado de <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/25000-29999/25394/texact.htm>

educación superior participaron del mismo^{5,6}. En forma concurrente, desde el año 2023, la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) promueve y visualiza los proyectos e investigaciones que lleva adelante la Universidad sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en el marco del Programa UTN Sustentable de la Secretaría de Coordinación Universitaria de Rectorado. Las acciones realizadas y diversos proyectos ejecutados y en ejecución se alinean con el desarrollo de los siguientes ODS: ODS N° 1: Fin de la Pobreza; ODS N° 2: Mitigación del Hambre; ODS N°3: Salud y Bienestar, ODS N°4: Educación de Calidad; ODS N°6: Agua limpia y saneamiento; ODS N°11: Ciudades y Comunidades Sostenible y ODS N°13: Acción por el Clima^{7, 8,9,10}.

En esta publicación se agrupan los trabajos que se alinean con dichos ODS y fueron presentados durante la realización del VIII Congreso Internacional de Enseñanza de Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería (ECEFI) en el año 2024. Este octavo encuentro se desarrolló los días 7 y 8 de noviembre del año mencionado en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Desde el primer evento, realizado en el año 2010, el ECEFI ha sido organizado por el Grupo de Investigaciones en Matemática Aplicada a la Ingeniería y Gestión (IEMI). En esta última oportunidad fue organizado en forma conjunta con el Centro de Estudios de Filosofía de la Ciencia, Lógica y

⁵ Participamos del encuentro "Las Universidades Argentinas y la Implementación de los ODS". Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/participamos-del-encuentro-las-universidades-argentinas-y-la-implementacion-de-los-ods>.

⁶ Universidades argentinas avanzan en la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.unc.edu.ar/extension/universidades-argentinas-avanzan-en-la-implementacion-de-los-objetivos-de-desarrollo>

⁷ UTN comprometida con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.utn.edu.ar/es/articulos-slider-principal/utn-comprometida-con-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible>

⁸ cómo empezar con los ODS en las universidades. Una guía para las universidades, los centros de educación superior y el sector académico. Edición en español. Recuperado de <https://www.utn.edu.ar/images/Secretarias/SGral/Integracion/GuiaUNiversidadesODS.pdf>

⁹ Presentación del programa UTN Sustentable en el Encuentro Nacional de Universidades. Recuperado de <https://www.utn.edu.ar/en/articulos-slider-principal/presentacion-del-programa-utn-sustentable-en-el-encuentro-nacional-de-universidades>

¹⁰ La UTN comprometida con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://universidadeshoy.com.ar/nota/75659/la-utn-comprometida-con-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Epistemología del Instituto de Filosofía de la Universidad de Valparaíso (Chile). Además, se contó con la participación de docentes de facultades, centros e institutos de la Universidad de Valparaíso (Chile), la Universidad Nacional de Cuyo, la Universidad de Mendoza, otras Facultades Regionales de la UTN y docentes de diversas universidades tanto de Argentina como de Latinoamérica. Los doce trabajos incluidos en este volumen se agrupan en las áreas de salud y alimentos (ODS N°3: Salud y Bienestar); y clima (ODS N°13: Acción por el Clima). Por lo que este Volumen se titula *"Integración de análisis de datos y ciencias naturales. Propuestas en el área de salud, alimentos y medio ambiente"*.

Cuatro trabajos se incluyen en el área de salud. Dos de ellos analizan el impacto de los alimentos en la salud. El primero de ellos, "Las potencialidades del aceite esencial de SCHINUS MOLLE L", caracteriza la composición del aceite esencial (AE) de la drupa de Schinus molle L el cuál tienen tanto potencial uso agente biocida como potencial uso como remedio medicinal siendo antiinflamatorio, ansiolítico, antidepresivo, previene problemas renales y hepáticos, antioxidante, inmunoprotector y también utilizado como anticancerígeno. El segundo de ellos, "Zapallo tipo "ANCO" en almíbar prebiótico como una alternativa saludable y funcional", busca alternativas saludables y de menor valor calórico, dado el creciente aumento de la obesidad y la diabetes alrededor del planeta y en nuestro continente que es un problema de salud y social de difícil solución. En esta línea, el postre conocido como "zapallo en almíbar", además de ser un postre de consumo frecuente, de sabor dulce es de alto contenido calórico. Este trabajo estudia la alternativa de candearlos con polialcoholes para disminuir su valor calórico y aprovechar sus propiedades prebióticas.

Los restantes dos trabajos, en esta área, se pueden incluir en el área de bioingeniería. El primero de ellos, "Avances en desarrollo de un sistema para el estudio de la respuesta emocional mediante el análisis de las expresiones faciales", presenta los avances en el desarrollo de un sistema para el estudio de expresiones faciales, empleando un método de análisis vectorial

sobre los cambios que presenta el rostro del paciente ante una evaluación médica psicológica. El segundo de ellos, "Avances en el desarrollo de sistema para el tratamiento de la patología de espina bífida"; analiza las técnicas médicas que se utilizan en el tratamiento de esta patología con el propósito de optimizar una metodología con la implementación de inteligencia artificial. Se estima que la espina bífida afecta a 1 de cada 1.300 recién nacidos, siendo más recurrente en los países del tercer mundo. Las últimas estadísticas de mortalidad emitidas a nivel regional e internacional, señalan que desde 1999 las Anomalías Congénitas ocupan el segundo lugar en las causas de mortalidad para la población infantil menor a un año. Siendo además en neonatos de 28 días o menos, el 14% de la causa de mortalidad diagnosticada.

Los siguientes cuatro trabajos se incluyen en el área de alimentos. El primero de ellos, "Mejora de la conservación y el color de cerezas BING (PRUNUS AVIUM) mediante el uso de aditivos naturales", investiga la coloración y evaluación de la calidad de cerezas confitadas con jarabe de polioles mediante el espacio CIELAB (Minolta CR-400). El análisis realizado proporciona información sobre el proceso de coloración de las cerezas confitadas y resalta la importancia de la concentración del tinte, la temperatura y las formulaciones de jarabes para lograr resultados de color deseables. Comprender la dinámica del proceso de coloración es esencial para garantizar la calidad y el atractivo visual de cerezas confitadas, lo que tiene implicaciones para la aceptación del consumidor y la competitividad del mercado.

El segundo, "Estudio de la biodegradación de salmueras de aceitunas con flora nativa halotolerante", presenta un análisis de la degradación de salmueras, efluente generado en la elaboración de aceitunas, mediante el empleo de microorganismos nativos halotolerantes o halófilos. El tercero, "Evaluación de la difusión de arsénico en zanahorias", analiza la difusión de arsénico en zanahorias cocidas en soluciones arsenicales a diferentes temperaturas y tiempos de cocción, un tema relevante para la salud pública en regiones afectadas por

la contaminación del agua con arsénico. En Argentina, al año 2024, el 50% de las provincias, que equivale al 70% de la población, está expuesta a altos consumos de arsénico en el agua¹¹.

El cuarto trabajo en esta área, "Sistema de telemetría para el monitoreo ambiental en la cámara de fructificación de PLEOROTUS OSTREATUS", busca diseñar, desarrollar e implementar un sistema de control y monitoreo electrónico basado en tecnología Arduino y plataformas IoT para la cámara de fructificación del cultivo de hongos en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Finalmente, los cuatro trabajos presentados en el área de variables climáticas se focalizan en el estudio de los vientos y el efecto de las altas temperaturas. El primero de ellos, "El diseño de un anemómetro para medir velocidad de fluidos basado en Arduino", detalla el diseño y la implementación de un anemómetro para la medición precisa de la velocidad de fluidos, destacando el uso de Arduino y una tarjeta SD como mejoras significativas en el proceso. Los resultados preliminares destacan la precisión y consistencia de las mediciones del anemómetro, validando tanto el diseño mecánico como el algoritmo implementado en Arduino. Este enfoque no solo mejora la precisión de las mediciones, sino que también facilita su aplicación en diversas áreas como la investigación científica, la monitorización ambiental y la ingeniería industrial.

El segundo estudio, "La revisión de métodos utilizados para el estudio del comportamiento del viento en cultivos", realiza una revisión sistemática que abarca las publicaciones de los últimos 5 años (2019-2023). Se relevaron las distintas técnicas experimentales y las teóricas utilizadas en el examen de la dinámica del viento dentro de los doseles vegetales protegidos con cortinas rompevientos. Los hallazgos obtenidos muestran los

¹¹ Arsénico en el agua de consumo: el 70% de la población argentina está expuesta a la contaminación. Recuperado de <https://medios.unne.edu.ar/2024/12/12/arsenico-en-el-agua-de-consumo-el-70-de-la-poblacion-argentina-esta-expuesta-a-la-contaminacion/>

progresos realizados, además de revelar líneas de investigación promisorias aún no exploradas.

El tercer estudio, "Análisis de temperaturas estacionales en áreas urbanas y no urbanas de la ciudad de La Rioja. Año 2021", examina la variación de la temperatura ambiental diurna y nocturna en las diferentes estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) en la ciudad de La Rioja, en el año 2021. La variabilidad observada en las temperaturas entre AU y ANU sugiere la necesidad de un examen más profundo para confirmar el efecto de isla de calor urbano en diferentes estaciones del año. Este trabajo es continuado en el cuarto estudio, "Análisis del efecto de isla de calor urbana diurna y nocturna. Estudio de caso: ciudad de La Rioja. Argentina". El fenómeno de isla de calor urbana se manifiesta cuando temperaturas del área urbana son mayores a las temperaturas de las áreas no urbanas más próximas. Por lo que se examina la isla de calor urbana en la ciudad de La Rioja, analizando tanto el efecto diurno como nocturno a lo largo de las estaciones del año 2021. En términos generales, los hallazgos confirman la presencia de la isla de calor urbana en La Rioja a lo largo de todo el año, destacando su variabilidad estacional y temporal. Estos resultados subrayan la importancia de considerar tanto el efecto diurno como nocturno en la planificación urbana para mitigar los impactos térmicos en las ciudades.

En las tres áreas señaladas, el lector podrá encontrar una importante variedad de temas con enfoques novedosos, que ponen de manifiesto, entre otros aspectos, el interés de los autores hacia los problemas que surgen de las ciencias de la ingeniería, así como el esfuerzo que los mismos realizan para intentar resolverlos acertadamente.

Esteban Anzoise
Mendoza, julio de 2025

AVANCES EN DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL ESTUDIO DE LA RESPUESTA EMOCIONAL MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LAS EXPRESIONES FACIALES

Nelson Dugarte¹; Antonio Alvarez¹; Buccheri Matías¹; Negman Alvarado¹; Marcelo Gomez².

¹ Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería (CeReCoN), Facultad Regional Mendoza (FRM) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Mendoza, Argentina / matiasbuccheri@gmail.com

² Cátedra BIOELECTRÓNICA, Departamento INGENIERÍA ELECTRÓNICA Facultad Regional La Rioja (FRLR) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), La Rioja, Argentina / mgomez_ar@hotmail.com

Resumen: La capacidad para medir y comprender las emociones humanas de manera precisa y no invasiva es crucial en múltiples campos, desde la salud mental hasta el marketing y la interacción humano-computadora. En este artículo se presentan los avances en el desarrollo de un sistema para el estudio de expresiones faciales, empleando un método de análisis vectorial sobre los cambios que presenta el rostro del paciente ante una evaluación médica psicológica. Los vectores se obtienen midiendo la distancia entre un grupo definido de puntos virtuales. Estos puntos virtuales se capturan en cada fotograma del video que registra el rostro del paciente durante la consulta. La variación de distancia entre cada par de estos puntos en la secuencia de los fotogramas del video, captura un indicador dinámico de los cambios de plegado de cada sección del rostro. El método de análisis vectorial, se desarrolla con el propósito de generar índices que permitan al médico especialista contar con un método de aproximación que mejore la evaluación del estado emocional e incluso la respuesta psicosomática de las personas que se sometan a este estudio. Todo el sistema se integra en un formato de historia médica electrónica, diseñado bajo los estándares HL7, desde donde se puede adquirir el video del paciente, definir el número de puntos virtuales para realizar el análisis y generar los índices de resultado en cada consulta médica.

Palabras claves: estudio de la respuesta emocional – análisis de las expresiones faciales – Procesamiento con inteligencia artificial.

INTRODUCCIÓN

El análisis de expresiones faciales mediante inteligencia artificial (IA) ha emergido como un campo de estudio fascinante y prometedor en la intersección de la tecnología y las ciencias médicas (Chen, 2019). La IA, un campo de la informática que busca crear sistemas capaces de

realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, tiene sus raíces en los años 1950, pero ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas gracias a avances en poder computacional y disponibilidad de datos. En el contexto del análisis facial, la IA combina técnicas de visión por computadora y algoritmos de aprendizaje profundo, permitiendo la detección y medición precisa de los movimientos faciales y ofreciendo una ventana única a las emociones humanas (Merritt, 2023).

Históricamente, el análisis facial automatizado surgió en el ámbito del marketing y la publicidad, donde se utilizaba para evaluar las respuestas emocionales de los consumidores. Sin embargo, su potencial en aplicaciones médicas rápidamente captó la atención de investigadores y profesionales de la salud. La capacidad de cuantificar objetivamente las expresiones faciales ha abierto nuevas vías para el diagnóstico y seguimiento de condiciones neurológicas, psiquiátricas y del desarrollo.

En el contexto médico, la medición precisa de los movimientos faciales mediante IA ofrece ventajas significativas. Permite la detección temprana de anomalías sutiles, facilita el seguimiento longitudinal de pacientes, y proporciona datos objetivos para la evaluación de tratamientos (Chen, 2019). Esta tecnología no invasiva tiene el potencial de revolucionar campos como la neurología, la psiquiatría y la rehabilitación, ofreciendo una comprensión más profunda de la expresión emocional humana y sus alteraciones en diversos estados de salud. La aplicación de la IA en este campo demuestra cómo los avances tecnológicos pueden traducirse en herramientas prácticas y valiosas para la atención médica, mejorando nuestra capacidad de entender y tratar una amplia gama de condiciones relacionadas con la expresión facial y emocional.

METODOLOGÍA

Aun cuando los sistemas modernos con IA logran una buena detección de la emoción reflejada en el rostro, no siempre detectan el estado emocional verdadero (Chen, 2019; Pascual, 2022). Esto genera un importante nivel de error en la detección de patologías compulsivas psíquicas, que en algunos casos puede llegar a extremos como el suicidio o el asesinato.

En este proyecto, el sistema se diseñó para identificar la respuesta del rostro del paciente mientras experimenta un estímulo emocional. La idea

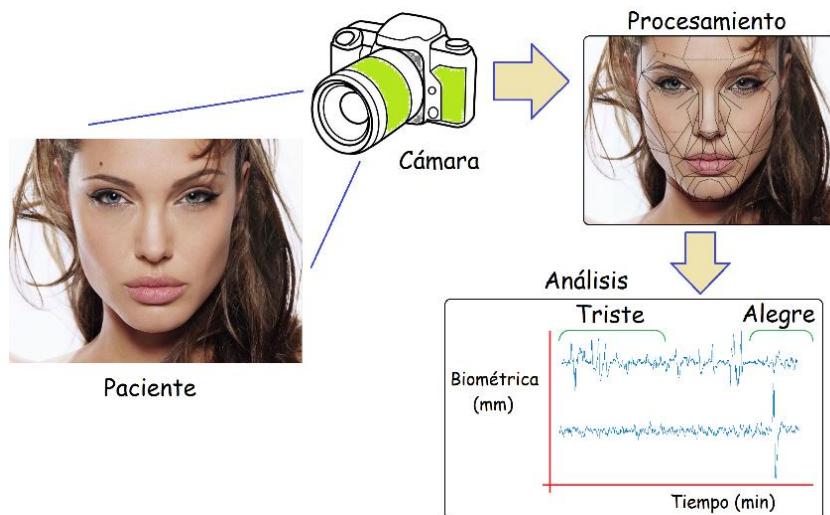
es explorar el estado emocional como respuesta a la empatía ante un video diseñado para generar cambios extremos entre emociones contrastantes. El procesamiento consiste en obtener valores métricos cuantitativos en formas de respuestas vectoriales, que sirvan como indicadores de la respuesta de empatía (Moya Albiol, 2018) reflejado por la emocionalidad del paciente y por consiguiente sirvan de referente al médico especialista para la detección temprana de patologías que pueden pasar desapercibidas.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema que permita desencadenar reacciones emocionales a partir de estímulos controlados. Los estímulos consisten en un video con secciones elaboradas con un guion que puedan cambiar el estado emocional del paciente. La idea, es analizar cada cuadro de imagen del video adquirido del paciente en relación sincrónica en el tiempo en el que visualiza los estímulos, generando múltiples vectores de parametrización que muestran los cambios de fisonomía causados por la empatía hacia los sectores del vídeo estímulo.

El sistema está compuesto por una etapa de hardware y una de software. La Figura 1, presenta un esquema simplificado del diseño.

Figura. 1

Esquema simplificado del diseño del sistema.



El hardware utiliza una cámara de vídeo que toma la imagen del rostro del paciente mientras se somete a un estímulo visual. La etapa de software del sistema se desarrolla en plataforma libre, utilizando el software de programación Python (González Duque, 2011). Consta de tres partes: identificación de puntos característicos del rostro, medición de distancias entre los puntos seleccionados y análisis de los vectores que reflejan las facciones emocionales.

Estructura del estímulo visual

El video estímulo consiste en una película, cuya duración es de ciento ochenta y siete segundos. La película contiene una secuencia de 8 segmentos cortos independientes, que no guardan ninguna relación unos con otros. El objetivo individual de cada segmento es presentar una serie de estímulos emocionales definidos por la empatía a la persona que lo está viendo.

Para este proyecto, el video estímulo sólo toma en cuenta dos emociones: alegría y tristeza. La película alterna segmentos que pueden producir alegría con segmentos que podrían generar tristeza, intercalados por segmentos cortos que muestran una serie de imágenes dinámicas no biológicas. Denominamos a estas últimas 'imágenes neutras' porque no debieran aportar estímulos emocionales adicionales. El objetivo que se persigue es captar la respuesta emocional del paciente mediante la grabación de un video de su rostro mientras visualiza el vídeo estímulo.

Procesamiento del video de respuesta

El video de respuesta emocional (VRE) se toma del rostro del paciente mientras visualiza el vídeo estímulo. Para el almacenamiento de la información, se creó una base de datos diseñada para que funcione como historia médica electrónica (HME). Esta base de datos, permite relacionar el paciente que se somete al estudio con cada una de las adquisiciones que se realicen.

El procesamiento de la información, consiste en un algoritmo que realiza una secuencia automatizada en el computador, sobre cada cuadro de imagen captado en el VRE del paciente.

El software detecta la forma del rostro dentro del marco del video, para posteriormente identificar la posición donde se ubica cada rasgo de dicho rostro. Para esto, el software detecta: los bordes de la cara, las

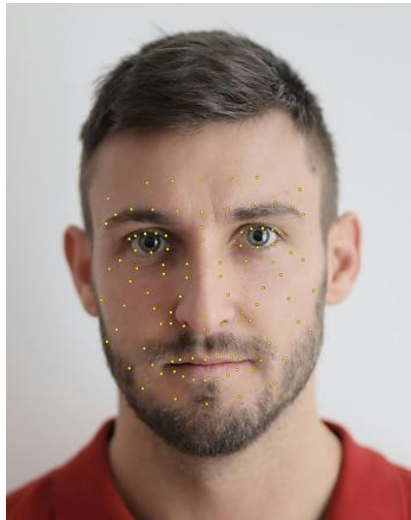
cejas, los ojos, la nariz y la boca, asignando a cada una de estas zonas mencionadas un número de puntos específicos que resultan clave para el estudio de los gestos en el rostro. La detección de puntos característicos consiste en ubicar y fijar 68 marcas virtuales sobre el rostro del paciente en una matriz de coordenadas. La Figura 2, muestra un fotograma donde se visualiza el efecto que fija los puntos virtuales sobre el rostro del paciente.

Lo que se pretende es que cada punto esté fijo a una sección del rostro y por consiguiente se desplace en el espacio siguiendo los movimientos de cada sección de forma específica. Esto permite medir los cambios de contorno de la piel en el rostro entre un fotograma y el siguiente. Para ubicar automáticamente los puntos deseados en cada fotograma, se utilizó un método proporcionado con licencia libre, que utiliza técnicas de machine learning (IA) programadas en lenguaje Python (Google AI for Developers, 2024).

Por sí solos, los puntos detectados sobre la imagen del rostro, no representan utilidad en la investigación. La información médica relevante se determina con el análisis de cómo cambian las distancias entre los puntos con respecto al tiempo.

Figura 2

Captura automática de puntos virtuales sobre el rostro del paciente.



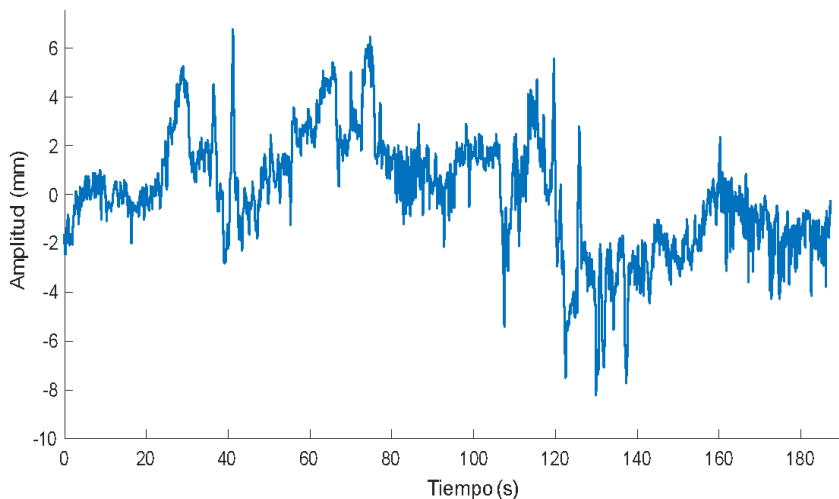
Análisis de la respuesta emocional del paciente

Los cambios del rostro en la secuencia de imágenes, se obtienen con la medición de distancias entre los puntos característicos. La secuencia de mediciones en la sucesión de imágenes del video entre dos puntos específicos determina un vector representativo del movimiento en la sección del rostro cubierta entre estos puntos, y por consiguiente puede mostrar el estado del paciente en función del mapa emocional de Ekman (Ekman and Oster, 1981).

En esta investigación se han elegido 27 pares de puntos para estudiar los movimientos del rostro, específicamente para identificar la respuesta de los estados emocionales de felicidad y de tristeza. Las mediciones entre estos pares de puntos representan 27 vectores correspondientes. La Figura 3, presenta la gráfica de uno de los vectores adquiridos. Este vector muestra la respuesta entre los puntos adyacentes en la comisura de los labios y el mentón del paciente.

Figura 3

Respuesta entre la comisura de los labios y el mentón del paciente.



RESULTADOS

Para obtener resultados cuantitativos del estado emocional del paciente es necesario comparar cada vector adquirido del vídeo estímulo con algún tipo de patrón de referencia. Dado que no existe un patrón de referencia de uso estándar de este tipo, fue necesario generar un patrón aproximado de forma práctica.

Para encontrar un patrón indicativo en cada vector, se realizó el análisis de la adquisición de 50 pacientes control. El patrón de referencia se establece promediando los intervalos correspondientes a los sectores donde los pacientes visualizaron cada estímulo emocional. Esto genera una señal patrón que sirve de referencia para estimar el estado emocional de felicidad y otro para estimar el estado de tristeza.

Los vectores patrón son más cortos que los vectores originales porque corresponden exclusivamente a los segmentos donde se evalúa un estado emocional específico.

Cuando se analiza un vector cualquiera correlacionándolo con uno de los vectores patrón se nota una elevada correspondencia con los segmentos donde el paciente refleja un estado emocional acorde con el patrón y viceversa donde el estado emocional es opuesto.

La correlación total entre el vector patrón y el vector en estudio se logra por medio de un procedimiento que desplaza el patrón sobre toda la extensión de la señal en estudio realizando la comparación entre ambas señales. El procedimiento inicia alineando el patrón con una sección del mismo tamaño al inicio del vector en estudio, la comparación entre señales se realiza calculando el coeficiente de Pearson en esa alineación (Fiallos, 2021). Luego, se desplaza el patrón en una muestra sobre el vector en estudio. Esto se repite hasta completar todas las muestras del vector en estudio, con lo cual se genera un nuevo vector con los resultados de cada comparación. El coeficiente de Pearson (r_{xy}) se puede calcular por medio de la relación dada por la Ecuación (1).

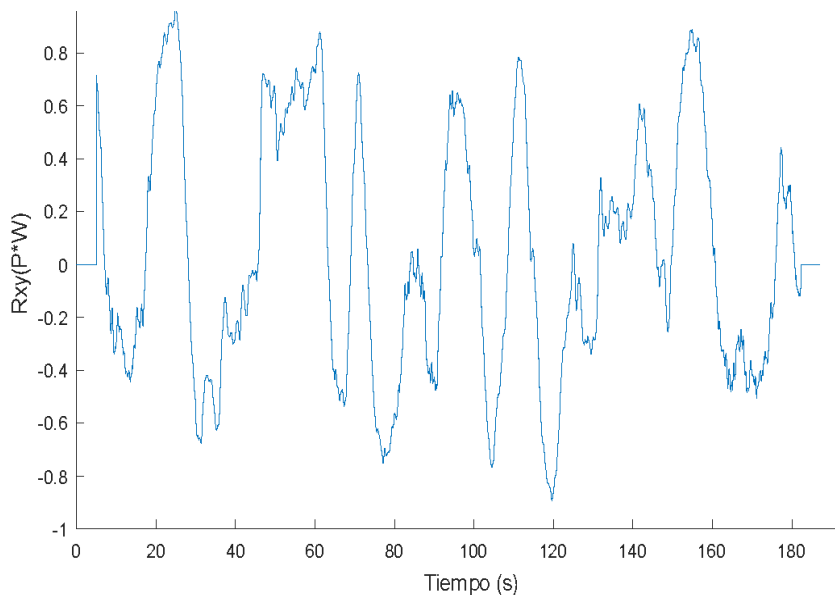
$$r_{xy}(i) = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{\sigma_x^2 * \sigma_y^2}} \quad \text{donde:} \quad -1 \leq r_{xy}(i) \leq +1 \quad (1)$$

La ecuación 1, establece la comparación entre las señales X e Y. Donde X está determinada por el vector patrón e Y representa el vector en estudio. La Figura 4, muestra la gráfica de los valores $r_{xy}(i)$ que se

obtienen al comparar el patrón de felicidad con la señal obtenida como respuesta de la comisura de los labios al mentón en el estudio de un paciente en particular.

Figura 4

Gráfica de $r_{xy}(i)$ entre el patrón de felicidad y la señal obtenida como respuesta de la comisura de los labios al mentón.



Los resultados de $r_{xy}(i)$ muestran con valores más cercanos a 1 donde la señal que se analiza es más parecida al patrón de felicidad y con valores aproximados a -1 donde posee mayor diferencia. La gráfica de la Figura 4 evidencia con valores más positivos la correspondencia de la señal del paciente con los sectores de felicidad del vídeo estímulo, y denota con valores negativos la correspondencia con los sectores donde el paciente visualizaba estímulos que le causaron tristeza.

Actualmente se trabaja en un software de análisis que interprete los 27 vectores seleccionados para generar un índice más eficiente al momento de evaluar el estado de emocionalidad del paciente.

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de análisis vectorial para el estudio de expresiones faciales representa un avance significativo en la intersección de la tecnología y la medicina. Este enfoque innovador proporciona a los profesionales de la salud una herramienta objetiva y cuantificable para evaluar las respuestas emocionales de los pacientes, lo que podría revolucionar campos como la psicología, la neurología y la psiquiatría.

Las afirmaciones sobre la eficacia del método de análisis vectorial en la captura de indicadores dinámicos de cambios faciales son prometedoras. La capacidad de medir con precisión las variaciones en las distancias entre puntos faciales específicos a lo largo del tiempo ofrece una nueva dimensión en la comprensión de las expresiones emocionales. Este enfoque no solo permite una evaluación más detallada y objetiva de las respuestas emocionales, sino que también podría facilitar la detección temprana de trastornos psicológicos y neurológicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer al grupo GENESIS y al Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) suscritos del Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería (CeReCoN), de la Universidad Tecnológica Nacional de la República Argentina, por su colaboración científica y tecnológica en el desarrollo del proyecto. Así mismo, se hace extensivo el agradecimiento a todas las personas e instituciones que han permitido que este proyecto sea factible.

REFERENCIAS

- Chen, A. (2019, julio). La IA es incapaz de identificar emociones a partir de la expresión facial. *MIT Technology Review*. <https://www.technologyreview.es/s/11336/la-ia-es-incapaz-de-identificar-emociones-partir-de-la-expresion-facial>
- Ekman, P. & Oster, H. (1981). Expresiones faciales de la emoción. *Studies in Psychology: Estudios de Psicología*, 2(7), 115-144. <https://doi.org/10.1080/02109395.1981.10821273>
- Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2491-2509, https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466.

- González Duque, R. (2011). *Python para todos*. <https://persoal.citius.usc.es/eva.cernadas/informaticaparacientificos/material/libros/Python%20para%20todos.pdf>.
- Google AI for Developers (21 de junio de 2024). *Guía de detección de puntos de referencia faciales*. Google AI Edge - Soluciones https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/face_landmarker?hl=es-419
- Merritt, R. (2023, febrero 3). *¿Qué Es la Computación de IA?*. Publicaciones NVIDIA. <https://la.blogs.nvidia.com/blog/que-es-la-computacion-de-ia/>
- Moya Albiol, L. (2018). *La empatía: Entenderla para entender a los demás* (1ra ed.). Plataforma Editorial S.L.
- Pascual, M. G. (14 de enero de 2022). El algoritmo se equivoca. La cara no siempre dice lo que uno siente. *El País*. <https://elpais.com/tecnologia/2022-01-15/el-algoritmo-se-equivoca-la-cara-no-siempre-dice-lo-que-uno-siente.html>

* * * * *

POTENCIALIDADES DEL ACEITE ESENCIAL DE *SCHINUS MOLLE L.*

Mariela Beatriz Maldonado^{1,2}, Gastón Gusmerini³, Diana Labuckas⁴, Juan Ignacio González Pacheco¹, Ariel Fernando Márquez¹, Oriana Ortega¹, Juan Manuel Alfano¹, Carla Zaragoza¹, Leonel Lisanti¹, Ramiro Meier¹, Walter Piran¹, Marcelo Mercaú¹.

¹ Laboratorio de Alimentos y Tratamiento de Efluentes (LATE), Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, C. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina
marielabeatriz1972@yahoo.com.ar

³ Investigador independiente, Córdoba, Argentina

⁴ Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Universidad Nacional de Córdoba e Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba, Argentina

Resumen: El aguaribay es originario de la región andina, estando actualmente distribuido en Argentina (desde Jujuy hasta Río Negro). Esta especie era utilizada por los incas por sus numerosas propiedades medicinales y nutraceuticas. En este trabajo se ha caracterizado la composición del aceite esencial (AE) de la drupa de *Schinus molle* L. El AE fue extraído por destilación por arrastre de vapor. Los principales componentes del AE fueron caracterizados mediante Cromatografía de Gases con Espectrometría de Masas (GC-MS). En él se encontraron los siguientes componentes: α -pineno (22%), limoneno (19%), cariofileno (11%), β -pineno (8%), γ -gurjuneno (6%), 7-tetraciclo [6.2.1,0(3,8)0(3,9)] undecanol, 4,4,11,11-tetrametilo (5%), β -cadineno (4,11%), óxido de ledeno (4%), isoleveno y β -elemeno (3%), y finalmente δ -cadineno con 2% y otros. Estos compuestos terpénicos tienen potencial uso como remedio medicinal siendo antiinflamatorio, ansiolítico, antidepresivo, previene problemas renales y hepáticos, antioxidante, inmunoprotector y también utilizado como anticancerígeno, entre otros: También tiene potencial uso agente biocida. Estas propiedades lo hacen muy adecuado tanto para terapia médica como para el posible control de plagas y microorganismos, entre otras aplicaciones.

Palabras claves: *Schinus Molle* L, terpenos, uso medicinal, aditivo alimentario.

INTRODUCCIÓN

Schinus molle L. pertenece a la familia Anacardiaceae. Este árbol es conocido como "Aguaribay", "Molle" o "Falso árbol de pimienta". En Argentina, delimita su hábitat en el centro y norte de Argentina, indicando las provincias biogeográficas de Paranaense y Espinal. Las drupas de este árbol contienen un aceite esencial con un sabor cálido y picante que se utiliza como especia o condimento. En Argentina, se incluyó en la preparación de fernet y otras bebidas como ginebra, y también como condimento para comidas. En este caso la drupa es pequeña, esférico marrón perlada tal muestra la Figura 1.

Figura 1

Drupa de Schinus molle L.



Alonso (2015), informa que el aceite esencial (AE) de las drupas contiene numerosos terpenos como: α -bergamontranseno, bourboneno, α y δ -cadineno, α y γ -calacoreno, calameneno, canfeno, carvacrol, β -cariofileno, γ -copaeno, γ -cubebeno, p-cimeno, α y β -felandreno, α y β -pineno, α -terpineol, γ -terpineno, α y γ -muuroleno, etc. Se han reportado efectos medicinales debido a la presencia de terpenos como antiviral (Adamski & Adamska, 2021), diurético, antiséptico, analgésico, antioxidante y antiinflamatorio. El AE de *S. molle* L es reconocido como sustancia generalmente reconocida como “seguro para el hombre” por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos FDA (*Schinus molle* - ESO, GRAS - 182.20).

MATERIALES Y MÉTODOS

Identificación de especies

Se recolectaron hojas, flores y drupas en febrero de 2023 para su estudio taxonómico. El material fue recogido de árboles ubicados en el Parque Escolar Kumelen, Córdoba Ciudad, GPS -31.42305 - 64.117557. El material botánicamente identificado ha sido depositado en el Herbario MEN (Herbario de Mendoza) de la Facultad de Agricultura, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. La especie fue identificada como *Schinus molle* L. Anacardiaceae, por sus "drupas esféricas, rojizas al principio y finalmente marrones al completar la madurez".

Caracterización física de las drupas

Se caracterizó físicamente una pequeña muestra de 25 frutos. Se pesó con una balanza analítica OHAUS, y se midió el diámetro con un calibre de 1:20 mm. En base a esto, se calculó el área, el volumen, la densidad aparente y la esfericidad.

Obtención del aceite esencial

Se cosechó manualmente un lote de 37013 unidades de drupas de color marrón rojizo, provenientes de ocho árboles situados en el Parque Escolar Kumelen. De dicho lote se registró un peso de mil diez gramos, con un contenido de humedad entre el 20,78% α 0,28. Posteriormente, se molió el fruto para obtener un polvo fino de aproximadamente 25 micrones con molinillo coloidal. Se obtuvieron 45 ml de aceite esencial en 4 horas por hidrodestilación, y el AE resultante se separó mediante

un embudo separador y se almacenó en el congelador a una temperatura de $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta el análisis cromatográfico.

Procesamiento de la muestra

La muestra se diluyó 1:600 con hexano PA y se colocó en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) [Clarus 580-SQ8, Perkin Elmer número de serie 648N7021501]. Se utilizó una columna: DB-5 [30 m, diámetro interno de 0,25 mm, grosor de película de 0,25 μm], marca Agilent. Las condiciones programadas en el GC-MS fueron: Gas portador: Helio a un flujo de 1 mL/min. Inyector: 250°C. Programa: Temperatura inicial 60°C (5 min), Ramp: 5°C/min hasta 240°C (10 min). La muestra se inyectó en modo Split con una relación de 1:20. Condiciones de masa: $m/z = 50$ a $m/z = 480$ (tiempo de escaneo: 0,2 s, tiempo entre escaneos: 0,1 s), con un retardo de disolvente de 5 min. Los datos se adquirieron utilizando el programa Turbo Mass 6.1. Los compuestos separados se identificaron comparando el TR y las masas con las de la base de datos.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

La Tabla 1 muestra las medidas principales de los frutos. Los compuestos identificados se presentan en la Tabla 2. Se separaron 26 compuestos, de los cuales se identificaron 11 componentes, entre los que destacan (51%) α pineno, limoneno y cariofileno (21,88%; 19,80% y 10,63%, respectivamente). Entre los minoritarios (aproximadamente 36%) β pineno, γ -gurjuneno, β -cadineno, Tetracyclo [6.2.1.0(3.8)0(3.9)] undecanol, 4,4,11,11-tetrametil, ledeno, isoledeno. Los 15 restantes no pudieron ser identificados (y presentaron áreas menores al 2%). El detalle del cromatograma se presenta en el material suplementario.

Tabla 1*Características físicas de la drupa de Schinus Molle L*

Muestra	Promedio ± Desviación
Diámetro Eje A (mm)	4,59±0,25
Diámetro Eje B (mm)	4,24±0,27
Diámetro Eje C (mm)	4,29±0,27
Masa (g)	0,027±0,01
Área calculada (mm ²)	60,29±6,48
Volumen calculado (mm ³)	44,20±7,14
Esfericidad (De Sneed & Folk)	0,89±0,07
Esfericidad (De Wadell)	1,00±0,00
Densidad Aparente	0,0006±0,00

Tabla 2*Composición química del aceite esencial de Schinus Molle L*

N°	TR	Área %	Identificación
1	6,904	21,88	α -pineno
2	8,215	0,31	
3	8,315	8,09	β -pineno
4	8,82	1,11	
5	9,925	0,74	
6	10,095	19,80	Limoneno
7	13,662	0,51	
8	13,847	0,25	
9	15,408	0,59	
10	19,544	1,27	
11	20,6	0,68	
12	21,01	2,81	β -elemeno
13	21,75	10,63	Cariofileno
14	21,985	0,51	
15	22,25	1,38	
16	22,606	1,15	
17	22,801	1,26	
18	23,171	1,07	
19	23,296	4,11	β -cadineno
20	23,686	6,39	γ -gurjuneno
21	24,091	2,02	δ -cadineno
22	24,301	1,85	7-Tetracyclo 6.2.1.0(3.8)0(3.9)]undecanol
23	25,612	4,80	4,4,11,11- tetramethyl-
24	25,747	3,82	Óxido de ledeno
25	26,477	0,35	
26	27,047	2,62	isoledeno

Entre los terpenos en el aceite esencial de *S. molle* L, clasificados según unidades de isopreno (C5), podemos mencionar monoterpenos (C10) entre ellos, los compuestos identificados como α -pineno, β -pineno, limoneno y 7-Tetracyclo [6.2.1.0(3.8)0(3.9)] undecanol, 4,4,11,11-tetrametil, y entre los sesquiterpenos (C15) los compuestos identificados como β -elemeno, cariofileno, β -cadineno, γ -gurjuneno, δ -cadineno, óxido de ledeno e isoleveno.

α y β -Pineno

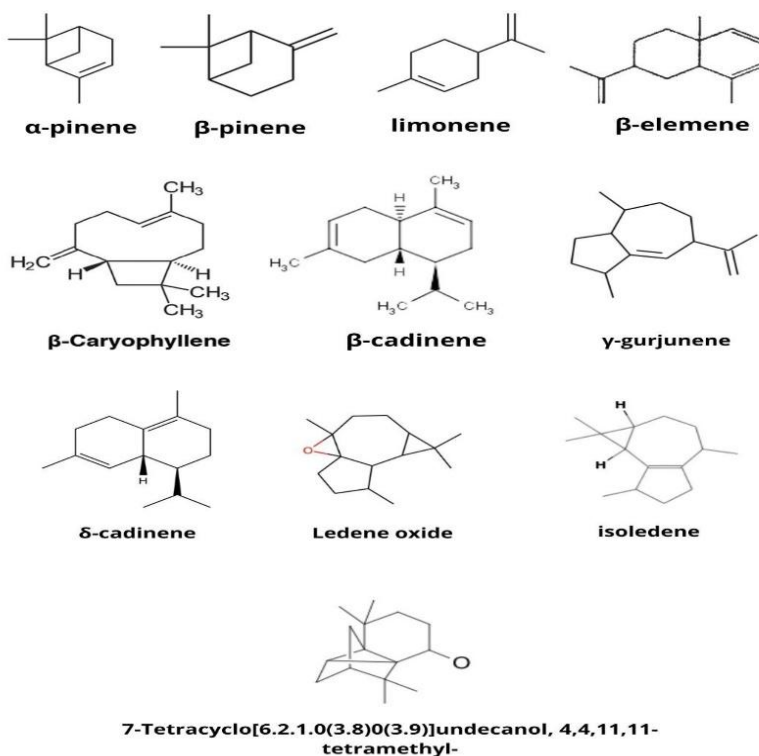
Como se puede ver en la Tabla 2 y la Figura 2, el pineno (C10) se encontró en un 21,88% y β -pineno en un 8,09%, a diferencia de la caracterización realizada por Bigliani et al. (2012), que encontró un 13,80% de α -pineno y un 5,8% de β -pineno. El α -pineno tiene un potencial como antiinflamatorio, broncodilatador, analgésico, ansiolítico, protector de la piel contra los rayos UV (Karthikeyan et al., 2018) y agente antimicrobiano junto con el β -pineno.

Limoneno

Como se ilustra en la Tabla 2 y la Figura 2, el limoneno (C10) se presentó en un porcentaje de del 19,80% del AE en comparación con el reportado por Bigliani et al. (2012), que encontró un 12,81%. En comparación, el aceite esencial analizado por Giuffrida et al. (2020) descubrió un 16,98%. El limoneno tiene propiedades quimiopreventivas y quimioterapéuticas para el cáncer de mama, piel, pulmón y estómago. El limoneno tiene la capacidad de mitigar la migraña disminuyendo la hiperalgia asociada con ella (Eddin et al., 2021).

Figura 2

Estructuras químicas identificadas mediante GC-MS



Cariofileno o β -Cariofileno

Como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 2, el cariofileno (C15) o β -cariofileno alcanzó una concentración del 10,63%, similar al 11,88% de la caracterización de Bigliani et al. (2012). A nivel terapéutico, estimula los receptores CB2 del cuerpo, que han sido relacionados con la regulación de la secreción de dopamina, por lo que están estrechamente relacionados con el manejo de la adicción (Gertsch et al., 2008). Además, tiene propiedades para ser un antidepresivo y para ser utilizado para la prevención y tratamiento de la osteoporosis. Tiene una fuerte acción anestésica local. Tanto el β -cariofileno como el óxido de

β -cariofileno pueden ser utilizados para tratamientos contra diferentes tipos de cáncer y dolor crónico (Fidyt et al., 2016). Esta sustancia también es útil para tratamientos de diabetes teniendo un potencial prometedor para la secreción y sensibilidad a la insulina (De Fronzo et al., 2015). Se ha demostrado que tiene un efecto farmacológico contra el accidente cerebrovascular isquémico (Hu et al., 2022).

Elemeno

Como se puede ver en la Tabla 2 y la Figura 2, el elemeno (C20) es encontrado en un 2,81% en el AE estudiado. Esto fue mayor que los valores: 0,39%, reportados por Bigliani et al. (2012). El β -elemeno se ha encontrado que tiene un amplio espectro de actividad antitumoral, alta eficacia y baja toxicidad, y puede cruzar la barrera hematoencefálica. En comparación con los fármacos quimioterapéuticos tradicionales, además de su efecto antitumoral, también puede tener un efecto inmunoprotector (Zhang et al., 2021). El β -elemeno tiene propiedades sensibilizadoras, y efectos antiinflamatorios y antioxidantes. Se ha utilizado ampliamente para tratar diferentes tipos de cáncer debido a su excelente actividad antitumoral, inhibición de la migración de células tumorales y efectos adversos relativamente menores (Chen et al., 2023).

Isoledeno

Como se evidencia en la Tabla 2 y la Figura 2, el Isoledeno (C15) está presente en el AE de *S. molle* L. en un 2,6%, pero no fue encontrado por Bigliani et al. (2012), ni por Giuffrida et al. (2020). En el sector agroindustrial, es parte de los aceites esenciales utilizados como pesticidas vegetales biodegradables contra la *Drosophila melanogaster*.

Óxido de Ledeno

Como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 2, la molécula de óxido de Ledeno-(I) se encontró en un 3,82% del AE de *S. molle* L, y no fue reportado por otros autores como Bigliani et al. (2012) y Giuffrida et al. (2020). Este aceite tiene actividad antidiabética y propiedades antiinflamatorias, además de propiedades antioxidantes.

β y δ -Cadineno

Como se ilustra en la Tabla 2 y la Figura 2, el δ -cadineno (C15) está presente en el AE de *S. molle* L en un 2,02% en comparación con el 1,53% encontrado por Bigliani et al. (2012), quienes también encontraron la presencia de γ -cadineno en un 0,22%. El sesquiterpeno

β -cadineno, presente en el aceite esencial de *S. molle* L en un 4,11%, no fue reportado por autores como Bigliani et al. (2012) y Giuffrida et al. (2020). El β -cadineno es un sesquiterpeno bicíclico. Entre sus posibles aplicaciones, se estudió como un posible tratamiento para infecciones bacterianas y fúngicas encontrándolo como el compuesto principal de *Acorus calamus*.

γ -Gurjuneno

Como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 2, el γ -Gurjuneno (C15) se encontró en el AE en un 6,39% mayor que el encontrado por Bigliani et al. (2012), en el mismo tipo de aceite, pero estuvo ausente en las investigaciones de Giuffrida et al. (2020). Se encuentra en *Lantana camara* y tiene propiedades insecticidas. Finalmente, el AE de *S. molle* L y sus terpenos merecen ser estudiados en profundidad, por su valor agregado que podría convertir bebidas o alimentos en alimentos funcionales con características beneficiosas para la salud.

CONCLUSIONES

El aceite esencial de *Schinus molle* L, recolectado en la ciudad capital de Córdoba, tiene principalmente compuestos de tipo terpeno en diferentes concentraciones: α y β pineno, limoneno y β cariofileno, γ -gurjuneno, β -cadineno, Tetracyclo [6.2.1.0(3.8)0(3.9)] undecanol, 4,4,11,11-tetrametilo, ledeno, isoledeno. Además de los usos tradicionales (condimentos, saborizantes, aderezos) debido a sus propiedades sensoriales y organolépticas, también se atribuyen propiedades medicinales a los componentes del aceite esencial. Su uso potencial en la medicina destaca por ser antiinflamatorio, ansiolítico, antidepresivo, recuperación de la pérdida de memoria, prevención de problemas renales y hepáticos, antioxidante, inmunoprotector y se utiliza como anticancerígeno, antimetastásico, entre otros. Además, tiene un efecto potencial antifúngico, antimicrobiano e insecticida. También se puede incorporar en bebidas o alimentos debido a su fuerte efecto medicinal.

REFERENCIAS

- Adamski, J. y Adamska, A. (2021). The Use of Essential Oils - Alpha and B-Pinene in the Treatment of Covid-19. *Annals of Clinical and Medical Case Reports*, 07(09). <https://doi.org/10.47829/acmcr.2021.7903>
- Alonso, J. (2007). *Tratado de fitofármacos y nutracéuticos* (1ra ed.). Corpus Editorial.
- Bigliani, M. C., Rossetti, V., Grondona, E., Presti, S. L., Paglini, P. M., Rivero, V., Zunino, M. P. y Ponce, A. A. (2012). Chemical compositions and properties of *Schinus areira* L. essential oil on airway inflammation and cardiovascular system of mice and rabbits. *Food and Chemical Toxicology*, 50(7), 2282-2288. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.04.025>.
- Chen, X., Huang, C., Li, K., Liu, J., Zheng, Y., Feng, Y. y Kai, G.Y. (2023). Recent advances in biosynthesis and pharmacology of elemene. *Phytochemistry Reviews*, 22(1), 169-186. <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09833-0>.
- De Fronzo, R. A., Ferrannini, E., Groop, L., Henry, R. R., Herman, W. H., Holst, J. J., Hu, F. B., Kahn, C. R., Raz, I., Shulman, G. I., Simonson, D. C., Testa, M. A., & Weiss, R. (2015). Type 2 diabetes mellitus. *Nature Reviews Disease Primers*, 1, Article Number 15019. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.19>
- Eddin, L. B., Jha, N. K., Meeran, M. F. N., Kesari, K. K., Beiram, R. y Ojha, S. (2021). Neuroprotective Potential of Limonene and Limonene Containing Natural Products. *Molecules*, 26(15), Article number 4535. <https://doi.org/10.3390/molecules26154535>.
- Fidy, K., Fiedorowicz, A., Strzdała, L. y Szumny, A. (2016). β -caryophyllene and β -caryophyllene oxide—natural compounds of anticancer and analgesic properties. *Cancer Medicine*, 5(10), 3007–3017. <https://doi.org/10.1002/cam4.816>.
- Gertsch, J., Leonti, M., Raduner, S., Racz, I., Chen, J.-Z., Xie, X., Altmann, K., Karsak, M. y Zimmer, A. (2008). Beta-caryophyllene is a dietary cannabinoid. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 105(26), 9099–9104. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803601105>.
- Giuffrida, D., Martínez, N., Arrieta-Garay, Y., Fariña, L., Boido, E. y Dellacassa, E. (2020). Valorisation of *Schinus molle* fruit as a source of volatile compounds in foods as flavours and fragrances. *Food Research International*, 133, Article number 109103. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109103>.
- Hu, Q., Zuo, T., Deng, L., Chen, S., Yu, W., Liu, S., Liu, J., Wang, X., Fan, X. y Dong, Z. (2022). β -Caryophyllene suppresses ferroptosis induced by cerebral ischemia reperfusion via activation of the NRF2/HO-1 signaling pathway in MCAO/R rats. *Phytomedicine: international journal of phytotherapy and phytopharmacology*, 102, Article number 154112. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154112>.

- Karthikeyan, R., Kanimozhi, G., Prasad, N. R., Agilan, B., Ganesan, M. y Srithar, G. (2018). Alpha pinene modulates UVA-induced oxidative stress, DNA damage and apoptosis in human skin epidermal keratinocytes. *Life sciences*, 212, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.10.004>.
- Zhang, X., Chen, Y., Yao, J., Zhang, Y., Li, M., Yu, B. & Wang, K. (2021). β -elemene combined with temozolomide in treatment of brain glioma. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 28, Article Number 101144. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.101144>

* * * * *

AVANCES EN EL DESARROLLO DE SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PATOLOGÍA DE ESPINA BÍFIDA

Yudith S. Ontiveros², Nelson Dugarte¹, Juan C. Perozo², Antonio
Alvarez¹, Negman Alvarado¹

¹Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería
(CeReCoN), Facultad Regional Mendoza (FRM) de la Universidad Tecnológica Nacional
(UTN), Mendoza, Argentina. / ndj0227@gmail.com

²Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda" UNEFM. Decanato del área
de postgrado. Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud. Coro, Venezuela. /
cidibicol@gmail.com

Resumen: La patología de espina bífida es una malformación ósea que se produce en la columna vertebral a causa de la falta de soldadura entre los arcos posteriores de una o más vértebras y que ocasiona la exposición de la médula espinal. Este tipo de patología normalmente se produce durante la gestación y se interpreta como un defecto congénito que puede ser estructural o funcional. Puede ser originada por genética, por un ataque infeccioso, daño ambiental o por mala nutrición durante el embarazo, aunque en muchas ocasiones no es posible identificar su causa. Como resultado de esta anomalía congénita, por debajo de la zona donde se encuentra la malformación aparece la pérdida o disfunción de funciones neurológicas. Al afectarse los nervios sensitivos, el niño tendrá una pérdida de sensibilidad al dolor, al calor, al frío entre otras secuelas. En el caso de que ocurra un daño en los nervios motores se presenta debilidad muscular, la cual podrá ser leve o llegar a la parálisis completa, dependiendo de la altura, en dónde esté localizada la lesión y la cantidad de nervio dañado o involucrado. Se estima que la espina bífida afecta a 1 de cada 1.300 recién nacidos, siendo más recurrente en los países del tercer mundo. Las últimas estadísticas de mortalidad emitidas a nivel regional e internacional, señalan que desde 1999 las Anomalías Congénitas ocupan el segundo lugar en las causas de mortalidad para la población infantil menor a un año. Siendo además en neonatos de 28 días o menos, el 14% de la causa de mortalidad diagnosticada. El objetivo de esta investigación es analizar las técnicas médicas que se utilizan en el tratamiento de esta patología con el propósito de optimizar una metodología con la implementación de inteligencia artificial. Para esto, se desarrolla una plataforma que se estructura como historia médica electrónica, donde se incorporan todas las herramientas de tratamiento y se realiza el seguimiento minucioso de la evolución patológica del paciente.

Palabras claves: Patología de espina bífida – Optimización de tratamiento – Técnicas con Inteligencia artificial – Historia médica electrónica.

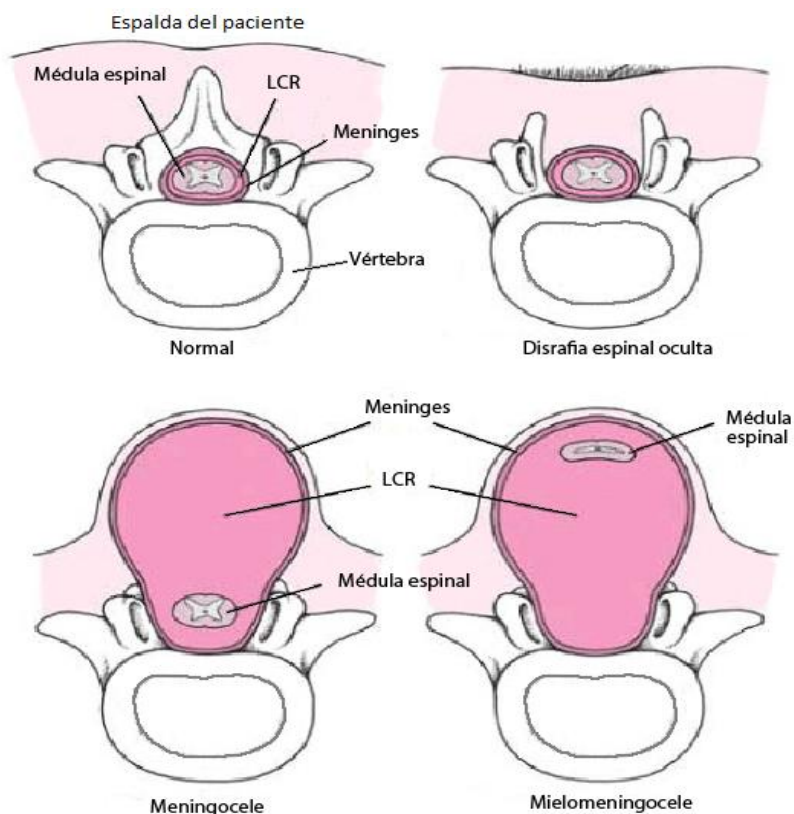
INTRODUCCIÓN

A nivel mundial un 5% de todos los nacidos vivos presentan algún tipo de anomalía o malformación congénita, de las cuales, las patologías asociadas a los Defectos del Tubo Neural (DTN) son las más frecuentes, constituyendo una importante causa de morbilidad infantil. Anualmente alrededor de 8 millones de recién nacidos en el mundo nacen con un defecto congénito grave, y cerca de 3 millones mueren antes de cumplir 5 años (Pan American Health Organization, 2023; Au et al, 2013). La espina bífida (EB) corresponde a la malformación congénita más común del DTN, donde la médula y las vértebras no se forman por completo y el tubo neural no se cierra completamente. Entre las causas de discapacidad infantil, es la segunda después de la parálisis cerebral (Copp & Green, 2013).

De acuerdo a estudios médicos y científicos, la EB se clasifica en espina bífida oculta (EBO) y espina bífida abierta (EBA). Como características predominantes en la EBO, se encuentran defectos en los componentes vertebrales, mechones de pelo en la piel, no presenta protrusión y pueden no detectarse al nacimiento. A diferencia la EBA comprende el meningocele, la mielomeningocele (caso más grave) y la lipomeningocele, caracterizadas por un saco o quiste cubierto por una fina capa de piel (Meuli & Moehrlen, 2014). La Figura 1, muestra en corte transversal del paciente una descripción gráfica de los tipos más comunes de esta patología.

Figura 1

Descripción gráfica de los tipos comunes de espina bífida.



En el caso del meningocele, el quiste contiene tejidos que cubren la médula espinal o Meninges y el líquido cefalorraquídeo. Los nervios no suelen estar gravemente dañados y pueden funcionar. El quiste no solo contiene tejido y líquido cefalorraquídeo sino también nervios y parte de la médula espinal, la cual puede estar dañada o no se ha desarrollado correctamente, siendo esta la que se encarga de transmitir todos los impulsos nerviosos a nivel motor y sensitivo (Verpoorten & Buyse, 2008).

Como resultado de esta anomalía congénita, por debajo de la zona donde se encuentra la malformación aparece la pérdida o disfunción de funciones neurológicas. Al afectarse los nervios sensitivos, el paciente tendrá una pérdida de sensibilidad al dolor, al calor, al frío entre otras secuelas. En el caso de que ocurra un daño en los nervios motores se presenta debilidad muscular, la cual podrá ser leve o llegar a la parálisis completa, dependiendo de la altura en dónde esté localizada la lesión y la cantidad de nervio dañado (Meuli & Moehslen, 2014).

La EB puede ocurrir en cualquier parte de la columna, sin embargo, es común en la columna lumbosacra, por lo que las deformidades del tobillo son las más comunes donde la afectación parcial de las fibras del nervio peroneo superficial de L4 a S1 causa parálisis del músculo peroneo y contractura del tendón de Aquiles, lo que lleva a la deformidad del pie zambo. La afectación del nervio peroneo profundo afectan algunas fibras del nervio tibial y del nervio tibial que puede causar parálisis de los músculos anterior y posterior de la tibia y el talón (Jianguo et al., 2016).

Otras secuelas de esta enfermedad congénita son la debilidad en los músculos de la vejiga, generando problemas de incontinencia urinaria y hasta en un 90% de los casos asociada también a incontinencia fecal. Otros efectos asociados a la EB son estreñimiento, enlentecimiento digestivo, disfunción eréctil u otros problemas de la esfera sexual (Barf et al., 2003; Verpoorten & Buyse, 2008).

Un alto porcentaje de casos de EB puede diagnosticarse antes del nacimiento mediante ecografía o presumirse el diagnóstico por altas concentraciones de alfa-fetoproteína en suero materno y líquido amniótico. Es común que se aplique al paciente algún tipo de reparación quirúrgica de la lesión espinal, bien sea cirugía prenatal también conocida como cirugía fetal que se realiza antes de la semana 26 del embarazo, o dentro de las primeras 72 horas después del nacimiento (Adzick et al., 2011; Copp & Green, 2013).

La complejidad de los casos, presenta un alto porcentaje de pacientes que no pueden ser curados totalmente con Neurocirugía. Actualmente existe una amplia variedad de técnicas que se aplican en el tratamiento y asistencia del paciente con este tipo de patología. Entre otras dependencias, se involucran la medicina física, el trabajo prolongado de rehabilitación y fisioterapia, la neurología, la asistencia de urología, la aplicación de ortopedia, consultas de terapia ocupacional, la educación especial, y el control estricto de la nutrición (Blount et al., 2020).

Dada la gran variedad de tratamientos posibles y la elevada sensibilidad de las lesiones a errores en el diagnóstico, se propone el desarrollo de un sistema que permita identificar con mayor precisión los detalles de la lesión y asociarlos a los pormenores patológicos del paciente. Todo esto diseñado con el propósito de enfocar el mejor tratamiento posible a cada tipo particular de lesión en el paciente.

METODOLOGÍA

El desarrollo de este sistema tiene como objetivo combinar las habilidades de diseño y resolución de problemas en el diagnóstico y tratamiento de la patología de EB mediante procesamiento con inteligencia artificial.

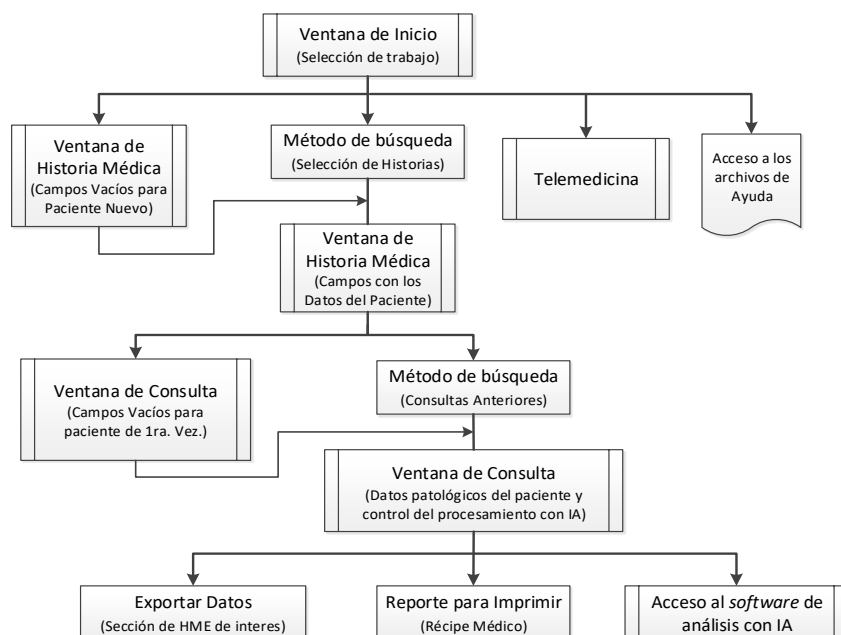
A través de la Ingeniería Biomédica se ha logrado presentar alternativas tecnológicas que han logrado disminuir el índice de morbilidad en los últimos años. Son muchas las aplicaciones manifestadas en productos y técnicas para el tratamiento de estas enfermedades, por ejemplo, la foto-biomodulación [Photo Bio Modulation (PBM)] que utiliza un láser como medio terapéutico para el tratamiento de lesiones de médula espinal (Ramezani, 2020), el diseño de sistemas biomecánicos como las plantillas ortopédicas para la malformación congénita de ambos pies (órtesis de tobillo-pie), el desarrollo sistema de análisis de movimiento, los tratamientos de fisioterapia aplicada al lumbosacro (mielomeningocele), etc.

La electroestimulación en la zona adyacente a la lesión y en los grupos musculares afectados por la EB, es una técnica novedosa que se ha propuesto como parte en este desarrollo. La idea central radica en el empleo de Inteligencia Artificial (IA), que propone como hipótesis la neuro-modulación de raíces sacras a partir de la neuroplasticidad de las redes nerviosas, así como también el fortalecimiento de los grupos musculares deteriorados. El resultado esperado se enfoca en mejorar funciones motoras de tronco y piernas (Fiorente, Mojdehdehbaher & Calabrò, 2024; Karamian et al., 2022).

Actualmente, se trabaja en el desarrollo de un sistema de historia clínica digital, también conocidos como Historia Médica Electrónica (HME) que además sirva como plataforma forma de control de todo el sistema. La Figura 2 presenta un esquema general de la secuencia de funcionamiento.

Figura 2

Esquema general de funcionamiento de la HME desarrollada.



El propósito de la HME desarrollada, es manejar el volumen de información de los pacientes. El procesamiento con IA, analiza estadísticamente todos los posibles tratamientos de EB en función de los rasgos característicos de la consulta actual y la trazabilidad de las consultas anteriores, con el propósito de ajustar el tratamiento más eficiente para el paciente (Bajwa et al., 2021; Campanella et al., 2016).

RESULTADOS

El funcionamiento del sistema comienza cuando el operador ejecuta el software de la HME. En primer lugar, se presenta una ventana que solicita la clave de acceso, exigida por norma de seguridad médica. La Figura 3 muestra la ventana de inicio que se presenta posterior al ingreso de la clave de acceso.

Figura 3

Ventana de inicio del sistema.



Los botones en la ventana de inicio permiten el acceso a la historia médica. Si se trata de un paciente nuevo, se presentan los campos vacíos para ingresar los datos generales del paciente. Si es el caso de un paciente que ya tiene un registro anterior, se despliega una lista con un método de búsqueda para acceder a su HME con los datos cargados. En la Figura 4 se presenta la ventana de HME con los datos de un paciente de prueba.

Figura 4

Ventana de historia con los datos de un paciente de prueba.

El botón marcado como “RH” (Registro Histórico), abre un método de búsqueda en el cual el médico puede acceder al registro de una o más consultas médicas realizadas con anterioridad. El botón “Editar Historia” permite complementar la información contenida. El botón “Regresar”, cierra la ventana de historia y retorna a la ventana de Inicio.

El botón marcado como “Consulta” accede a la ventana donde el médico puede anotar todos los datos y procedimientos del tratamiento que se aplica al paciente en la consulta actual. La Figura 5 muestra la ventana de Consulta que se despliega.

Figura 5

Ventana de consulta con los datos de un paciente de prueba.

The screenshot shows a web application window titled "Consulta". At the top, there are five tabs: "Datos del Paciente", "Consulta", "Diagnostico", "Conclusión", and "Archivos Adicionales". The "Consulta" tab is active. Below the tabs, there is a form with patient and consultation data:

Médico: Dr. Bellera	Fecha: 19 / 08 / 2024	Hora: 19:03:23:7	Historia: 8
Paciente: Anderson Rivas	Sexo: Masculino	Edad: 11 Años	

Below this form, there are two sub-tabs: "Terapia Realizada" and "Técnica implementada". The "Terapia Realizada" sub-tab is active, and it contains a text area with the entry "Paciente control".

At the bottom of the window, there is a row of five buttons: "Regresar" (with a power icon), "Guardar" (with a floppy disk icon), "Generar Reporte" (with a printer icon), "Exportar Archivo" (with a folder and arrow icon), and "AEM" (with a gear icon). Below these buttons is a single button labeled "Borrar Registro" with a trash can icon.

El botón marcado con “AEM” (Análisis Estadístico Médico) en la ventana de Consulta, ejecuta un algoritmo en IA que realiza el procesamiento de la información acumulada históricamente en las sesiones de consulta que tenga el paciente. La información obtenida con este análisis, detalla la evolución y permite optimizar el tratamiento médico de forma técnica.

El botón de “Exportar Archivo” crea un documento de texto tipo .txt, con los datos del paciente y de la consulta en curso. “Generar Reporte”, es un botón que será utilizado para imprimir un récipe médico con el formato estándar del centro médico que utilice este instrumento. El botón de guardar guarda los datos y cambia a editar consulta, cuando el médico finaliza la sesión. El botón “Regresar”, cierra esta ventana y retorna al control de la historia del paciente.

CONCLUSIONES

La integración de sistemas de inteligencia artificial en la gestión de la Historia Médica Electrónica permite un análisis continuo, más preciso y personalizado de los datos clínicos de los pacientes con espina bífida.

Esto es crucial, dado que la condición puede presentar complicaciones a lo largo del tiempo. La IA puede alertar a los profesionales de la salud sobre cambios significativos en la condición del paciente, facilitando intervenciones tempranas y reduciendo el riesgo de complicaciones severas.

Una HME puede actuar como plataforma de control de todo el sistema, facilitando la identificación de patrones en la evolución de la enfermedad, que orienten en la mejora de toma de decisiones clínicas, asegurando que cada paciente reciba un tratamiento adaptado a sus necesidades específicas. La capacidad de la IA para procesar grandes volúmenes de información y aprender de los resultados anteriores es fundamental para optimizar los enfoques terapéuticos y mejorar los resultados de salud a largo plazo. La ingeniería biomédica juega un papel esencial en el desarrollo de tecnologías innovadoras que complementan el uso de inteligencia artificial en el tratamiento de la espina bífida. Al combinar la ingeniería biomédica con la inteligencia artificial, se pueden desarrollar plataformas integradas que no solo abordan las necesidades médicas, sino que también promueven un enfoque holístico del bienestar del paciente, mejorando su calidad de vida y autonomía.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer al Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) suscrito del Centro Regional de Investigación y Desarrollo en Computación y Neuroingeniería (CeReCoN) de la Universidad Tecnológica Nacional en Mendoza, Argentina, y al Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda” (UNEFM) en Coro, Venezuela, por su colaboración científica y tecnológica en el desarrollo de este proyecto. Así mismo, se hace extensivo el agradecimiento a todas las personas e instituciones que han permitido que este proyecto sea factible.

REFERENCIAS

Adzick, N. S., Thom, E. A., Spong, C. Y., Brock 3rd, J. W., Burrows, P. K., Johnson, M. P., Howell, L. J., Farrell, J. A., Dabrowiak, M. E., Sutton, L. N., Gupta, N., Tulipan, N. B., D'Alton, M. E. & Farmer, D. L. (2011). A randomized trial of prenatal versus postnatal repair of myelomeningocele. *New England Journal of Medicine*, 364(11), 993-1004. DOI: 10.1056/NEJMoa1014379.

- Au, K. S., Ashley-Koch, A. & Northrup, H. (2010). Epidemiologic and genetic aspects of spina bifida and other neural tube defects. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 16(1), 6-15. Doi: 10.1002/ddrr.93
- Bajwa, J., Munir, U., Nori, A. & Williams, B. (2021). Inteligencia artificial en la atención médica: transformando la práctica de la medicina. *Future Healthcare Journal*, 8(2), e188-e194. doi: 10.7861/fhj.2021-0095.
- Barf, H.A., Verhoef, M., Jennekens-Schinkel, A., Post, M.W., Gooskens, R.H. and Prevo, A.J. (2003). Cognitive status of young adult with spina bifida. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 45(12), 813-820. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2003.tb00896.x>
- Blount, J. P., Bowman, R., Dias, M. S., Hopson, B., Partington, M. D. & Rocque, B. G. (2020). Neurosurgery guidelines for the care of people with spina bifida. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, 13(4):467-477. doi: 10.3233/PRM-200782.
- Campanella, P., Lovato, E., Marone, C., Fallacara, L., Mancuso, A., Ricciardi, W. & Specchia, M. L. (2016). The impact of electronic health records on healthcare quality: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Public Health*, 26(1), 60-64. DOI: 10.1093/eurpub/ckv122
- Copp, A. J. & Greene, N. D. E. (2013). Neural tube defects—disorders of neurulation and related embryonic processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*, 2(2), 213-227. Doi: 10.1002/wdev.71.
- Fiorente, N., Mojdehdehbaher, S. & Calabrò, R. S. (2024). Artificial Intelligence and Neurorehabilitation: Fact vs. Fiction. *Innovative Clinical Neuroscience*, 21(1-3), 10-12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38495602/>
- Jianguo W, Junwei W, Yidong L., Yurong, X. & Quande, F. (2016). Recent advances in the prevalence, diagnosis and treatment of spina bifida occulta. *Chinese Journal of Pediatric Surgery*, 37(9): 711-715. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2016.09.017
- Karamian, B. A., Siegel, N., Nourie, B., Serruya, M. D., Heary, R. F., Harrop, J. S. & Vaccaro, A. R. (2022). The role of electrical stimulation for rehabilitation and regeneration after spinal cord injury. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 23(1), 2. Doi: 10.1186/s10195-021-00623-6.
- Meuli, M. & Moehrlen, U. (2014). Fetal surgery for myelomeningocele is effective: a critical look at the whys. *Pediatric Surgery International*, 30(6), 689-697. Doi: 10.1007/s00383-014-3524-8.
- Pan American Health Organization (s.d.). Meta 3.2 - Reducir muertes prevenibles en recién nacidos y niños menores de cinco años. ODS 3 - Meta 3.2. <https://www.paho.org/es/ods-3-meta-3-2>.
- Ramezani, F., Razmgir, M., Tanha, K., Nasirinezhad, F., Neshastehriz, A., Bahrami-Ahmadi, A., Hamblin, M. R. & Janzadeh, A. (2020). Photobiomodulation for spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis. *Physiological Behavior*, 224, Article Number 112977. Doi: 10.1016/j.physbeh.2020.112977.

Verpoorten, C. & Buyse, G. (2008). The neurogenic bladder: medical treatment.
Pediatric Nephrology, 23(5), 717–725. DOI: 10.1007/s00467-007-0691-
z

* * * * *

ZAPALLO TIPO “ANCO” EN ALMÍBAR PREBIÓTICO, UNA ALTERNATIVA SALUDABLE Y FUNCIONAL

Mariela Beatriz Maldonado^{1,2}, Juan Ignacio González Pacheco¹; Oscar Daniel Galvez^{1,3}, Paula Giorlando¹, Juan Manuel Alfano¹, Ramiro Meirer¹, Oriana Ortega¹, Simón Contreras¹, Florencia Aparicio¹

¹ Laboratorio de Alimentos y Tratamiento de Efluentes (LATE), Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, C. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina

² CCT Mendoza, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina /
marielabeatriz1972@yahoo.com.ar

³ Departamento de Materias Básicas, Facultad Regional de Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, C. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina

Resumen: Desde hace ya varios años, la OMS y la OPS, vienen advirtiendo sobre el creciente aumento de la obesidad y la diabetes alrededor del planeta y en nuestro continente. Este se ha convertido en un problema de salud y social de difícil solución. Por ello se buscan alternativas saludables y de menor valor calórico. Por su parte, los edulcorantes constituyen uno de los grupos de aditivos alimentarios que están experimentando un mayor incremento en su consumo y es una de las áreas donde ha tenido mayor impacto la biotecnología, no sólo desde el punto de vista tecnológico sino económico y social. Esto es debido a la creciente demanda de alimentos bajos en calorías. Por su parte los polialcoholes son considerados edulcorantes nutritivos y tienen un poder edulcorante inferior o igual al de la sacarosa. Particularmente, el zapallo es una hortaliza con una importante presencia en la gastronomía de una gran cantidad de países y culturas desde que fue exportada a Europa. No obstante, el postre conocido como "zapallo en almíbar", además de ser un postre de consumo frecuente, de sabor dulce es de alto contenido calórico. Por esto se ha estudiado la alternativa de candealarlos con polialcoholes para disminuir su valor calórico y aprovechar sus propiedades prebióticas.

Palabras claves: zapallo Anco, polialcoholes, prebióticos.

INTRODUCCIÓN

Las zapallos son una verdura nutritiva rica en vitaminas, antioxidantes y minerales (Assous, Saad & Dyab, 2014). Aunque tradicionalmente se han utilizado en postres dulces, su potencial como sustituto del azúcar para personas diabéticas y con sobrepeso ha ganado cada vez más atención. Además, los zapallos contienen cantidades significativas de fibra dietética, que puede ayudar a la digestión y promover la sensación de saciedad (Ghendov-Mosanú et al., 2023; Kulczynski & Gramza-Michałowska, 2019). Estos beneficios nutricionales inherentes posicionan a los zapallos como una alternativa más saludable a los postres azucarados tradicionales.

Los polialcoholes, también conocidos como alcoholes de azúcar, son una clase de compuestos que se pueden utilizar como edulcorantes en diversos productos alimenticios. A diferencia de la sacarosa, los polialcoholes no son absorbidos completamente por el cuerpo, lo que resulta en un contenido calórico menor y un impacto reducido en los niveles de azúcar en sangre. La incorporación de polialcoholes, como el eritritol y el xilitol, en recetas de zapallitos confitados proporcionan una alternativa viable a las golosinas azucaradas tradicionales. Estos polialcoholes no solo imitan la dulzura del azúcar, sino que también ofrecen un menor impacto glucémico, lo que los convierte en una opción atractiva para personas con diabetes o con problemas de control de peso.

El freezing es un método de conservación de alimentos que consiste congelar los alimentos para conservar su sabor, contenido nutricional y prolongar su vida útil. Este método se utiliza comúnmente para conservar frutas, verduras y hierbas, lo que permite almacenar los alimentos durante un período prolongado sin comprometer su calidad. La cinética de congelación es importante para preservar la calidad y textura de los alimentos, dado que una congelación más rápida genera cristales de hielo más pequeños y mantiene la estructura celular.

El objetivo de este trabajo es proporcionar una metodología descriptiva de la deshidratación osmótica de zapallos tipo Anco en soluciones hipertónicas prebióticas de sacarosa-xilitol, con el fin de estudiar el ingreso de azúcares y salida de agua, y su comparación con un tratamiento previo de congelado, para posteriormente compararlos y elegir una alternativa saludable y funcional de alimentos apto para personas con diabetes, sobrepeso u obesidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del ensayo

En primer lugar, adquirimos 20 kilos de zapallo Anco, *Curcubita moschata*, los cuales fueron cubeteados y dejados en remojo en una solución de cal viva por 24 h, previo al proceso de endulzamiento (Figura 1a). Posteriormente, fueron enjuagados reiteradas veces hasta que el agua se veía limpia (Figura 1b). Así mismo, se prepararon otros ensayos con zapallos congelados, sin encalado, para su posterior candeado (Figura 1c). Luego, los frutos acondicionados (Figura 1d) fueron sumergidos en soluciones hipertónicas constituidas por sacarosa al 100%, y sacarosa 50% - xilitol 50%, de 65 Bx, a temperaturas de 60, 70 y 80°C, hasta alcanzar concentración de sólidos solubles constante en el interior de las matrices.

Figura 1

Metodología para preparación de zapallos antes de su endulzamiento.



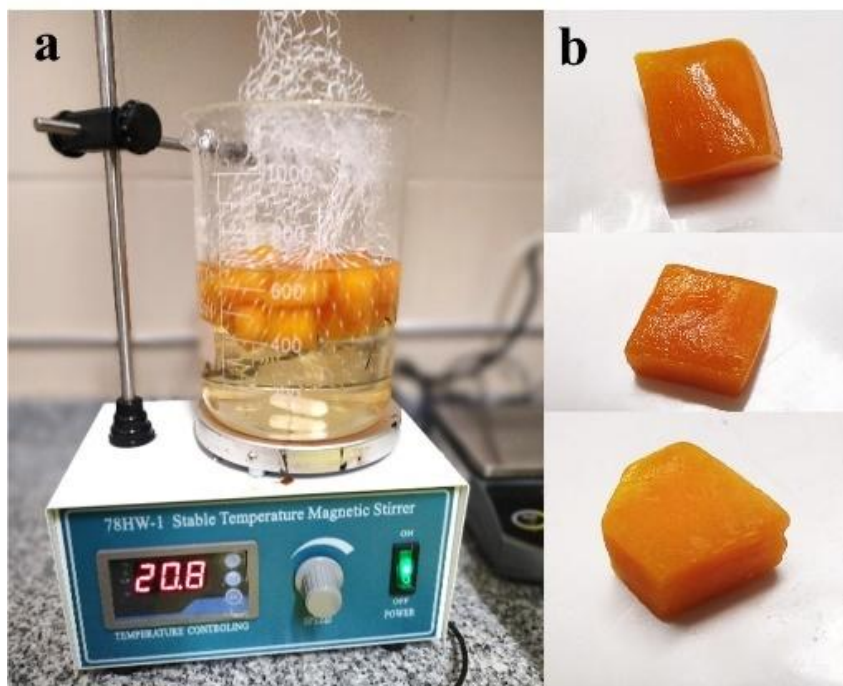
Nota: Zapallos sumergidos en solución de cal viva por 24 h (a). Zapallos filtrados sin restos de agua con cal (b). Zapallos congelados sin escaldado (c). Zapallos en condiciones de ser sumergidos en las soluciones osmóticas (d).

Muestreo

Se muestrearon al azar del interior del recipiente (Figura 2), 3 zapallos con el fin de medir por triplicado, concentración de sólidos solubles, con refractómetro Atago, salida de agua, mediante humedad por gravimetría y los parámetros L (luminosidad), a^* (tendencia al rojo o verde) y b^* (tendencia al azul o amarillo) del espacio de color CIELAB, mediante colorímetro Minolta CR-400, iluminante D65 (luz natural).

Figura 2

Proceso de impregnación de los frutos en soluciones edulcorantes de sacarosa y prebióticas de sacarosa-xilitol de 65 Bx.



Nota: Zapallos tipo Anco cubeteados, sumergidos en soluciones edulcorantes de 65 Bx y a temperaturas de 60, 70 y 80°C (a). Muestreo de zapallos para su posterior medición de sólidos solubles, humedad y color (b).

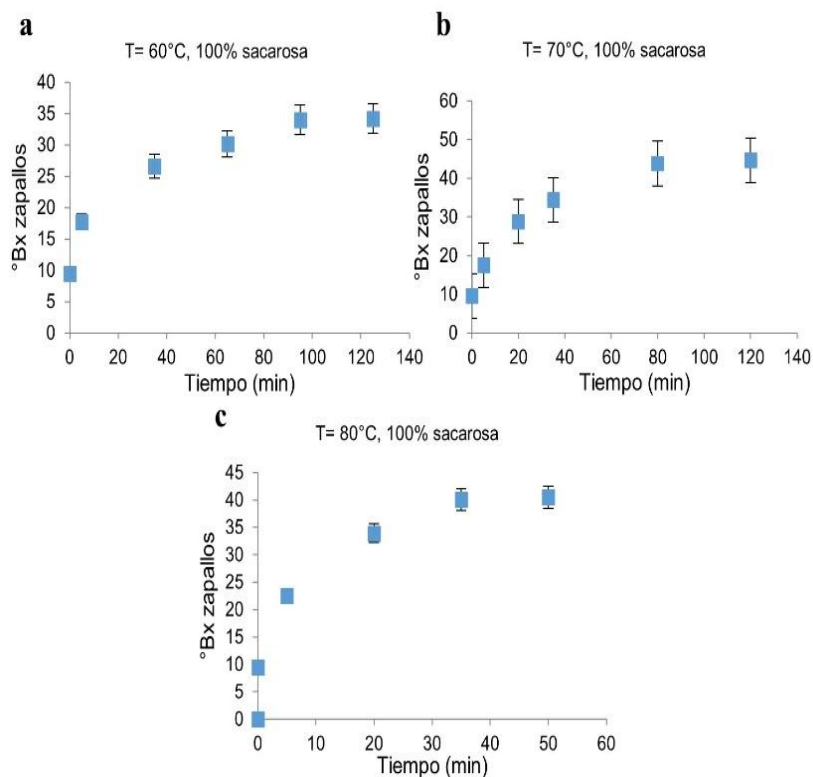
RESULTADOS & DISCUSIÓN

Se puede observar en la Figura 3 que los valores de concentración de sólidos solubles en el interior de los zapallos aumentan conforme avanza el proceso de impregnación. Se estabiliza luego de 90, 80 y 35 minutos para los ensayos realizados a 60, 70 y 80°C, respectivamente. Se piensa que la estabilización de la curva se produce mucho más rápido para los ensayos a 80°C, dado que la temperatura estaría ejerciendo un efecto potenciador en el fenómeno de penetración de sólidos en el interior de la matriz zapallo. Sin embargo, a esta temperatura se obtienen menores valores de concentración de azúcares, en el rango de 40 Bx, con relación a los 45 Bx obtenidos a 70°C, posiblemente debido a que los canalículos internos del zapallo se han saturado de azúcares mucho más rápido debido al efector acelerador de la temperatura en el transporte de especies.

En la Figura 4 también se observa el mismo patrón de evolución de la concentración de sólidos solubles y su estabilización para tiempos avanzados de impregnación. Se observa que a 70°C se obtiene un mayor ingreso de sólidos en la matriz en comparación con los ingresados a 60°C, sin embargo, a 60°C es donde se obtienen los valores de concentración más bajos debido a la saturación rápida de la matriz a mayor temperatura, tal se mencionó anteriormente. Así mismo, los zapallos se impregnaron de azúcares alcanzando mayor concentración en la formulación de sacarosa al 100%, en relación a la obtenida con sacarosa 50%-xilitol 50%, debido posiblemente a un mayor efecto osmo-deshidratante al combinarse sacarosa con xilitol.

Figura 3

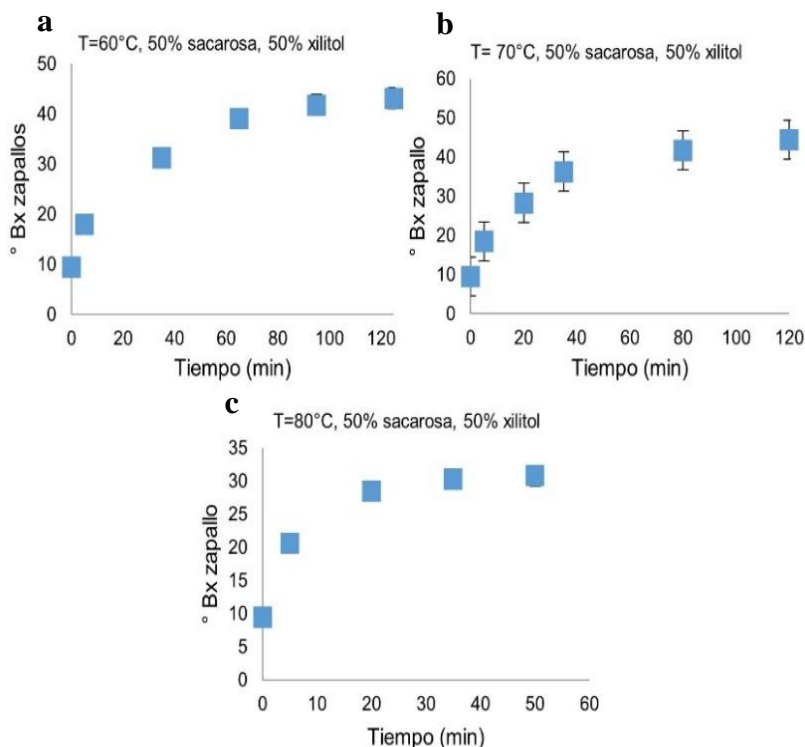
Evolución de la concentración de sólidos solubles dentro de la matriz con relación al tiempo. Solución hipertónica a 65 Bx de composición sacarosa 100%.



Nota: concentración de sólidos solubles en Bx a 60°C (a), 70°C (b) y 80°C (c).

Figura 4

Evolución de la concentración de sólidos solubles dentro de la matriz, con relación al tiempo. Solución hipertónica a 65 Bx de composición sacarosa 50%-xilitol 50%.



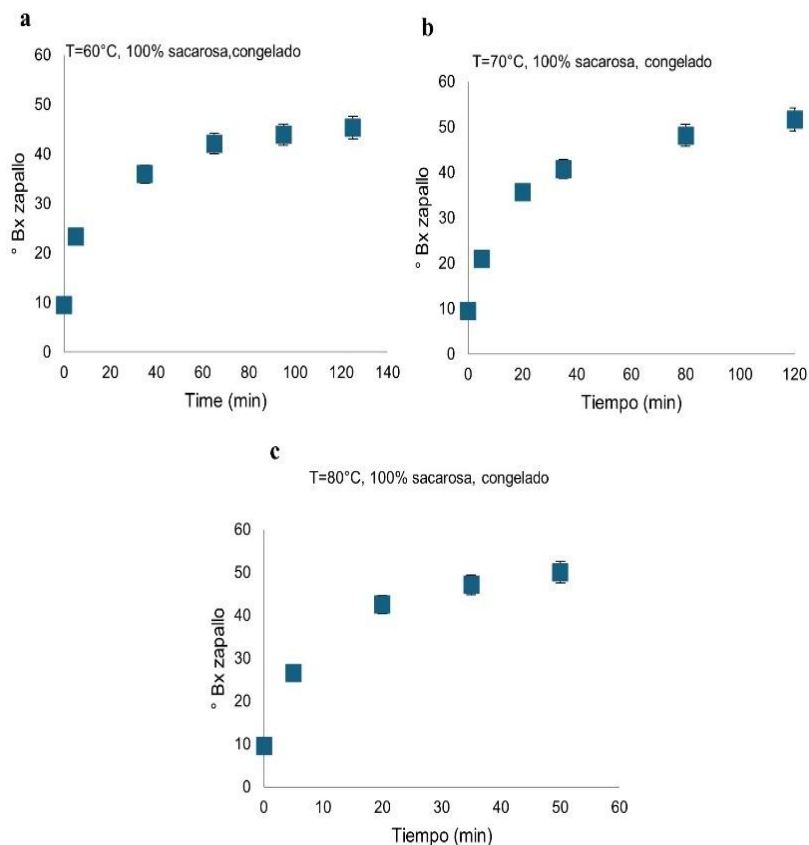
Nota: concentración de sólidos solubles en Bx a 60°C (a), 70°C (b) y 80°C (c).

En la Figura 5 también se observa el mismo patrón de evolución de la concentración de sólidos solubles y su estabilización para tiempos avanzados de impregnación. Así mismo, de la figura se desprende que los valores alcanzados de concentración dentro de la matriz zapallo son mayores a los alcanzados en los tratamientos anteriores sin pretratamiento de congelación. Esto podría deberse a la que la sacarosa tiene mayor velocidad de difusión, al ser una sola molécula, difundiendo

en la matriz de zapallo. Mientras que en el caso de la formulación sacarosa-xilitol, ambas moléculas formen una especie de polímero de mayor volumen, por lo cual se dificultaría la entrada de las mismas, en la matriz porosa biológica.

Figura 5

Evolución de la concentración de sólidos solubles dentro de la matriz con pretratamiento de congelación, con relación al tiempo. Solución hipertónica a 65 Bx de composición sacarosa 100%.

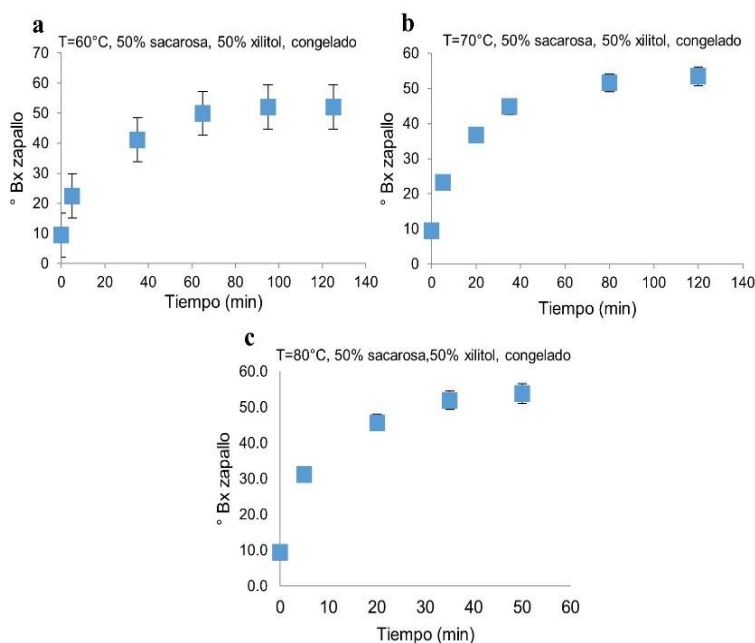


Nota: concentración de sólidos solubles en Bx a 60°C (a), 70°C (b) y 80°C (c).

En la Figura 6, tal se ha mencionado reiteradas veces, se observa el mismo patrón de evolución de la concentración de sólidos solubles de la formulación sacarosa 50%-xilitol 50% para zapallos congelados. En este caso se puede observar que los tratamientos a 70 y 80°C llegaron más rápido a la concentración cercana a la saturación de la matriz biológica, respecto del ensayo a 60°C. Esto podría deberse al aumento en la velocidad de difusividad en función de la temperatura para sólidos poroso como son los zapallos en almíbar. Si se compara con la Figura 3, cuya formulación también es sacarosa 50%-xilitol 50%, pero la matriz no ha sido previamente congelada, podría inferirse que la penetración de los sólidos en la matriz previamente congelada ha sido más rápida para todas las temperaturas, dado que el congelamiento produce roturas de tejido celular que favorece la expulsión de líquido, permitiendo alcanzar una mayor concentración de sólidos solubles en la misma.

Figura 6

Evolución de la concentración de sólidos solubles dentro de la matriz con pretratamiento de congelación, con relación al tiempo. Solución hipertónica a 65 Bx de composición sacarosa 50%-xilitol 50%.



Nota: concentración de sólidos solubles en Bx a 60°C (a), 70°C (b) y 80°C (c).

CONCLUSIONES

Se ha cuantificado la entrada de sólidos solubles en zapallo fresco y congelado, con distintas formulaciones endulzantes: sacarosa 100% y sacarosa 50%-xilitol 50%, a diversas temperaturas de 60, 70 y 80°C, con la correspondiente salida de humedad (datos no mostrados). El tratamiento de congelación favorece la entrada de sólidos solubles, lo cual, permitiría la venta de menor volumen con mayor peso, debido a la posible rotura de tejidos que el tratamiento produce, con la consecuente pérdida de líquido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UTN FRM por proporcionar recursos e infraestructura necesaria para la confección del presente trabajo, así como también agradecemos al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

REFERENCIAS

- Assous, M. T. M., Saad, E. M. S. & Dyab, A. S. (2014). Enhancement of quality attributes of canned pumpkin and pineapple. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/J.AOAS.2014.06.002>
- Ghendov-Mosan, A., Netreba, N., Balan, G., Cojocari, D., Boestean, O., Bulgaru, V., Gurev, A., Popescu, L., Deseatnicova, O., Resitca, V., Socaciu, C., Pintea, A., Sanikidze, T., & Sturza, R. (2023). Effect of Bioactive Compounds from Pumpkin Powder on the Quality and Textural Properties of Shortbread Cookies. *Foods*, 12(21), Article Number 3907. <https://doi.org/10.3390/FOODS12213907>
- Kulczynski, B. & Gramza-Michałowska, A. (2019). The Profile of Carotenoids and Other Bioactive Molecules in Various Pumpkin Fruits (*Cucurbita maxima* Duchesne) Cultivars. *Molecules* 2019, Vol. 24, Page 3212, 24(18), Article Number 3212. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24183212>

* * * * *

MEJORA DE LA CONSERVACIÓN Y EL COLOR DE CEREZAS BING (PRUNUS AVIUM): UNA METODOLOGÍA DESCRIPTIVA MEDIANTE EL USO DE ADITIVOS NATURALES

Juan Ignacio González Pacheco¹; Mariela Beatriz Maldonado^{1,2}; Ariel Fernando Márquez¹; Paula Anabella Giorlando¹; Oscar Daniel Galvez^{1,3}

¹ Laboratorio de Alimentos y Tratamiento de Efluentes (LATE), Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, C. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina / jngonzalez534@gmail.com

² CCT Mendoza, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina

³ Departamento de Materias Básicas, Facultad Regional de Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, C. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina

Resumen: Este estudio investiga la coloración y evaluación de la calidad de cerezas confitadas con jarabe de polioles mediante el espacio CIELAB (Minolta CR-400). Un lote de 10 kilogramos de cerezas *Prunus avium* tipo Bing fue adquirido en Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina y sometido a un proceso de endulzamiento. Se empleó un método de impregnación múltiple, conocido como “método francés o lento”, para lograr 55 Bx en el interior de las cerezas. Se prepararon 18 formulaciones para confitado de los frutos, así determinar la combinación más adecuada de sacarosa y polioles (lactitol, maltitol y xilitol). Se decidió sustituir parcialmente sacarosa por una formulación de sacarosa/xilitol (50%/50%) y analizar su impacto en la coloración y la calidad general de estas. Las cerezas se sumergieron en soluciones de 35 Bx y coloreadas con eritrosina y gardenia roja a 119 ppm para observar su influencia en el proceso de coloración a diferentes temperaturas (40, 50 y 60°C). Se analizó la variación temporal de los parámetros del espacio de color CIELAB (L, a*, b*) en las cerezas a lo largo del tiempo. Los resultados demostraron una disminución gradual en los valores de luminosidad (L) a medida que el tinte penetró en la matriz del fruto, estabilizándose en valores cercanos a 38 y 40, mientras que a valores cercanos a 55 y 56 para tendencia al rojo, para eritrosina y rojo gardenia respectivamente. Este estudio proporciona información sobre el proceso de coloración de las cerezas confitadas y resalta la importancia de la concentración del tinte, la temperatura y las formulaciones de jarabes para lograr resultados de color deseables. Comprender la dinámica del proceso de coloración es esencial para garantizar la calidad y el atractivo visual de cerezas confitadas, lo que tiene implicaciones para la aceptación del consumidor y la competitividad del mercado.

Palabras claves: Polialcoholes, colorantes naturales, cerezas, producción de alimentos naturales.

INTRODUCCIÓN

La utilización de colorantes en el procesamiento de alimentos ha evolucionado significativamente con el tiempo, con un cambio particular hacia alternativas de base natural debido a las crecientes preocupaciones sobre las implicaciones para la seguridad y la salud de los tintes sintéticos (Imchen & Singh, 2023; Malabadi et al, 2022). Históricamente, los tintes de origen vegetal se han utilizado ampliamente por sus diversas aplicaciones y beneficios percibidos para los organismos vivos, ofreciendo un sustituto sostenible de los colorantes artificiales. En particular, el atributo organoléptico del color juega un papel crucial al influir en las percepciones de los consumidores sobre el sabor, la calidad y la preferencia general por los productos alimenticios. En vista de esto, ha habido un aumento notable en la demanda de aditivos naturales con beneficios para la salud, lo que refleja una creciente preferencia por alternativas orgánicas y naturales como sustitutos de los ingredientes artificiales en la industria alimentaria (Maldonado, 2021).

Además, la aparición de polioles, una clase de alcoholes de azúcar ha llamado la atención como un sustituto prometedor de los azúcares tradicionales en diversas aplicaciones alimentarias, debido a su bajo contenido calórico. Estos polioles, como el xilitol, son compuestos naturales que se encuentran en varias frutas y verduras y ofrecen un efecto edulcorante comparable al de la sacarosa y, al mismo tiempo, aportan menos calorías (Martău et al, 2020). La adopción de polioles en la industria alimentaria ha cobrado impulso, impulsada por la creciente demanda de edulcorantes bajos en calorías para reemplazar los productos tradicionales a base de azúcar, remodelando así el mercado alimentario mundial (Nogueira-de-Almeida & Ribas Filho, 2021). En el ámbito de la ciencia y la tecnología de los alimentos, la investigación de los fenómenos de transferencia de masa, los modelos de difusión y sus aplicaciones prácticas en los procesos de colorantes alimentarios ha sido un área de investigación activa.

El objetivo de este estudio es analizar la variación temporal del espacio de color CIELAB en cerezas al ser sometidas a coloraciones realizadas con eritrosina y rojo gardenia a 119 ppm y diferentes temperaturas (40, 50 y 60°C) en una solución edulcorante funcional prebiótica de polioles. Este análisis podrá proporcionarnos las primeras impresiones de si es posible el reemplazo tecnológico de pigmentos naturales por artificiales y sacarosa por sustitutos de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar, se adquirió un lote de 10 kilogramos de cerezas *Prunus avium* tipo Bing en Luján de Cuyo, Mayor Drummond, Mendoza, Argentina (coordenadas en grados decimales: -33.00443364309908; -68.86583423899584).

Las cerezas fueron cuidadosamente calibradas (27 mm), deshuesadas y desulfatadas sumergiéndolas en baños de agua durante 24 horas. El proceso de confitado se inició mediante el empleo de un método de impregnación múltiple, comúnmente denominado “Método Francés o Lento”, según la metodología propuesta por González Pacheco & Maldonado (2024). Los frutos se sumergieron en soluciones hipertónicas azucaradas de baja concentración primaria (25 Bx), luego se aumentaron moderadamente hasta alcanzar la concentración deseada de 55 Bx, y la matriz reposó en la solución durante 24 horas entre cada impregnación.

Previo a iniciar el proceso de impregnación en soluciones edulcorantes, se prepararon 18 formulaciones (Figura 1), constituidas por sacarosa, polioles, como lactitol, maltitol y xilitol, así como combinaciones entre ellos, para lograr una sustitución total y/o parcial de sacarosa en solución.

Figura 1

Ilustración de las formulaciones preparadas constituidas por soluciones de sacarosa y polioles.



Nota: soluciones de composición: sacarosa 100% (p/V) (a); lactitol 100% (p/V) (b); maltitol 25% (p/V) (c); maltitol 50% (p/V) (d); maltitol 75% (p/V) (e); maltitol 100% (p/V) (f); xilitol 25% (p/V) (g); xilitol 50% (p/V) (h); xilitol 75% (p/V) (i); xilitol 100% (p/V) (j); maltitol/xilitol 75%/25% (p/V) (k); maltitol/xilitol 80%/20% (p/V) (l); maltitol/xilitol 90%/10% (p/V) (m); maltitol/xilitol 95%/5% (p/V) (n); lactitol/xilitol 75%/25% (p/V) (o); lactitol/xilitol 80%/20% (p/V) (p); lactitol/xilitol 90%/10% (p/V) (q); lactitol/xilitol 95%/5% (p/V) (r).

Luego, una combinación de sacarosa/xilitol fue la formulación utilizada para confitar las cerezas, con el objetivo de realizar una sustitución parcial del azúcar de mesa (Wiktor et al, 2022), obteniendo así una solución edulcorante que contiene sacarosa/xilitol 50%/50% (p/V), ya

que su mezcla en estas proporciones no generó la formación de precipitado o cristales durante seis meses de almacenamiento a temperatura ambiente de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (Martins et al, 2021), siendo que otras formulaciones si formaron precipitación y o enturbiamiento (Figura 2).

Figura 2

Precipitaciones y cristales formados en las soluciones edulcorantes durante su almacenamiento por seis meses.

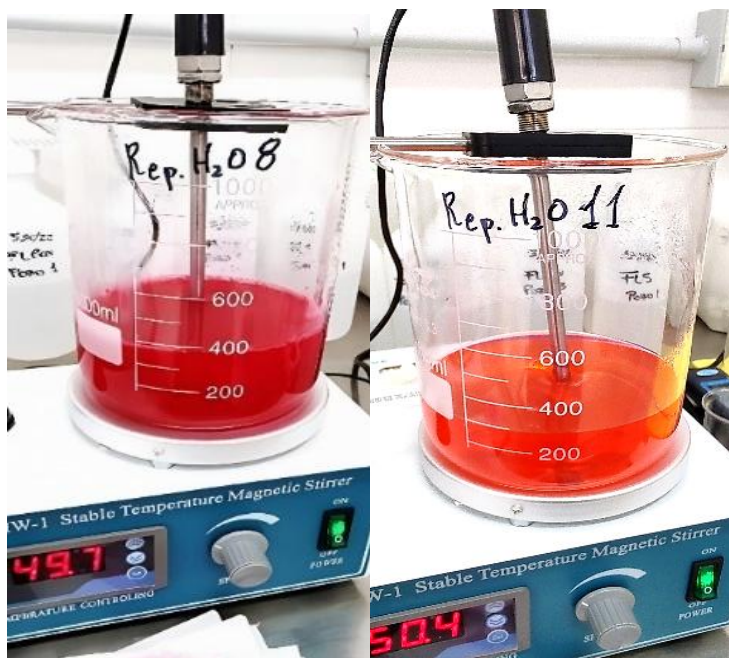


Proceso de impregnaciones y tinciones de las frutas

El proceso relacionado con impartir la solución edulcorante a las cerezas es una metodología de varios pasos. La etapa inicial consiste en hervir y enfriar una solución edulcorante con una concentración de 25 Bx (primera impregnación) a aproximadamente 50°C para evitar la aparición de plasmólisis celular y el desarrollo de arrugas en el fruto. Posteriormente las cerezas fueron introducidas en un almíbar de 35 Bx (segunda impregnación) en idénticas condiciones a las del día anterior. Durante este procedimiento se agregaron eritrosina y gardenia roja a 119 ppm para teñir los frutos y observar su influencia en la concentración. La solución se mantuvo a una temperatura constante de 40, 50 y 60 °C y fue sometida a agitación constante mediante un agitador magnetotérmico PIOWAY 78 HW-1 a 300 rpm (Figura 3), asegurando la homogeneidad de la solución.

Figura 3

Ensayos de tinción de cereza variando temperatura, tintes y concentración.



Muestreo

Se seleccionaron al azar dos muestras de cerezas de múltiples áreas del contenedor (Figura 4). Las secciones transversales de estas muestras se obtuvieron con la ayuda de un bisturí, y los parámetros luminosidad (L), enrojecimiento o verdor (a^*) y azul o amarillento (b^*) se midieron por triplicado utilizando un colorímetro Minolta CR-400, e iluminante D65 (luz natural).

Figura 4

Muestra de cerezas extraídas periódicamente antes de medir los parámetros L, a y b del espacio de color CIELAB.



Nota: Muestreo de cerezas coloreadas con eritrosina a 119 ppm, en almíbar de 35 Bx cuya composición es de 50% sacarosa – 50% xilitol, a 50°C (a). Muestreo de cerezas coloreadas con rojo de gardenia a 119 ppm, en almíbar de 35 Bx cuya composición es de 50% sacarosa – 50% xilitol, a 50°C (b).

RESULTADOS & DISCUSIÓN

Dada la cantidad de ensayos realizados, se presentará la variación temporal de a^* , b^* y L para los ensayos con eritrosina a 119 ppm y 40°C, y además con rojo de gardenia a 119 ppm y 40°C.

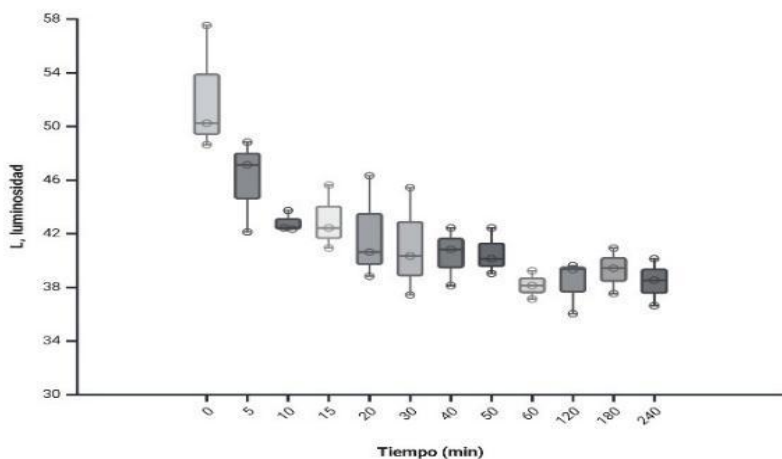
Espacio de color de los ensayos de coloración utilizando el pigmento Eritrosina a 119 ppm y 40°C.

Parámetro L , luminosidad

Se puede observar (Figura 5) que, al inicio, en los primeros 5 minutos, los valores de luminosidad fueron los más elevados, entre 42 a 57, dado que en esta etapa las cerezas se encontraban con escasa cantidad de colorante eritrosina difundido en su matriz, lo que hacía que tuvieran colores más claros (cerezas desulfatadas), sin embargo, a medida que el colorante penetró en la matriz, los valores de luminosidad fueron disminuyendo hasta estabilizarse en valores cercanos a 38.

Figura 5

Evolución del parámetro L , para cerezas coloreadas con eritrosina a 119 ppm en almíbar (35 Bx) a 40°C con relación al tiempo (datos por triplicado). Creado con BioRender.com

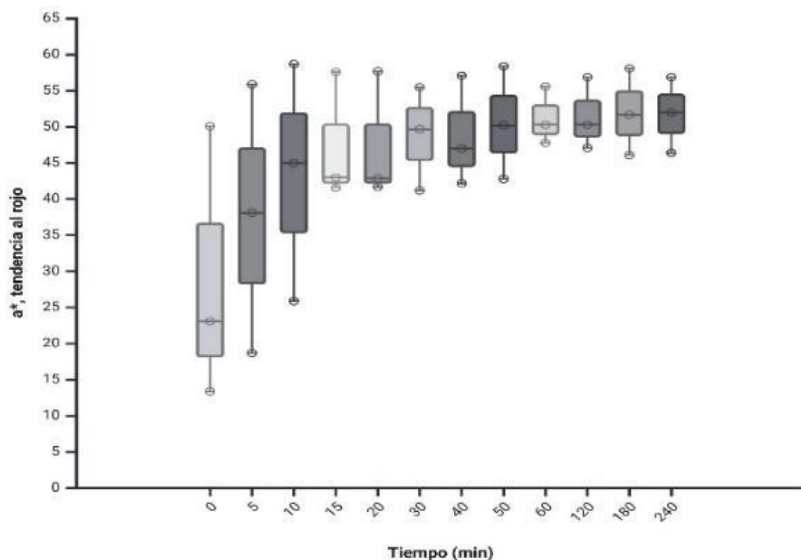


Al principio, la curva de luminosidad tenía una pendiente alta debido al fuerte gradiente de concentraciones de colorante entre la cereza y la solución edulcorante. A medida que avanzaba el tiempo (60 a 240 min), la saturación del colorante y el azúcar condujeron a una disminución significativa en la fuerza impulsora de la difusión, lo que provocó que la difusión del colorante disminuyera hasta detenerse. La estabilización de los valores "L" alrededor de 38 indicaría que la luminosidad se detiene debido a la saturación del sistema de azúcar y colorante y no necesariamente porque la diferencia de concentraciones se haya vuelto cero (M. Maldonado & González Pacheco, 2022). Esto probablemente ocurrió porque la tortuosidad de los canalículos internos de la cereza aumentó debido a la naturaleza del almíbar.

Parámetro a, tendencia al rojo

Como se observa en la Figura 6, en los primeros 5 minutos, los valores de rojo eran bajos (13 a 50) debido a la difusión limitada del tinte, lo que daba como resultado colores más claros. A medida que el tinte penetró, los valores de a^* aumentaron y se estabilizaron entre 50 y 56. Inicialmente, la pendiente pronunciada de la curva a^* indicó un gradiente de concentración de tinte alto, lo que llevó a un rápido aumento en los valores de sesgo rojo. A medida que avanzaba el tiempo (60 a 240 min), la difusión del tinte se ralentizó debido a la saturación de la matriz, lo que dio como resultado valores de a^* estabilizados (alrededor de 52) y una variabilidad reducida con el tiempo (valores muestreados de a^* cercanos).

Figura 6



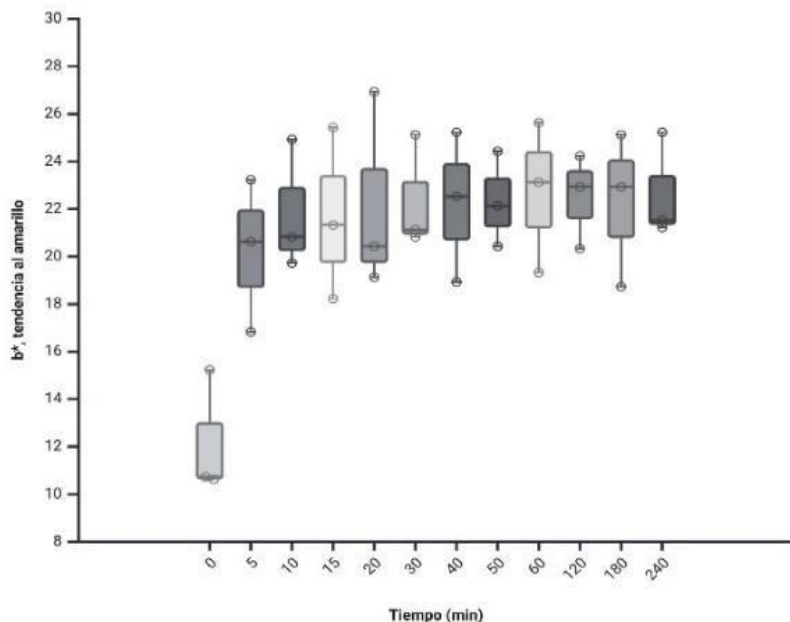
Evolución del parámetro a^ , para cerezas coloreadas con eritrosina a 119 ppm en almíbar (35 Bx) a 40°C con relación al tiempo (datos por triplicado). Creado con BioRender.com*

Parámetro b, tendencia al amarillo

Como se observa en la Figura 7, al inicio, en los primeros 5 minutos, los valores de tendencia al amarillo fueron los más bajos, entre 11 a 15, dado que en esta etapa las cerezas se encontraban con escasa cantidad de colorante eritrosina difundido en su matriz, lo que hacía que tuvieran colores más claros (cerezas desulfatadas), sin embargo, a medida que el colorante penetraba en la matriz, los valores de b^* fueron aumentando hasta estabilizarse en valores entre 22 a 24. El análisis realizado para luminosidad y tendencia al rojo también se realizó para la tendencia al amarillo.

Figura 7

Evolución del parámetro b^ , para cerezas coloreadas con eritrosina a 119 ppm en almíbar (35 Bx) a 40°C con relación al tiempo (datos por triplicado). Creado con BioRender.com*



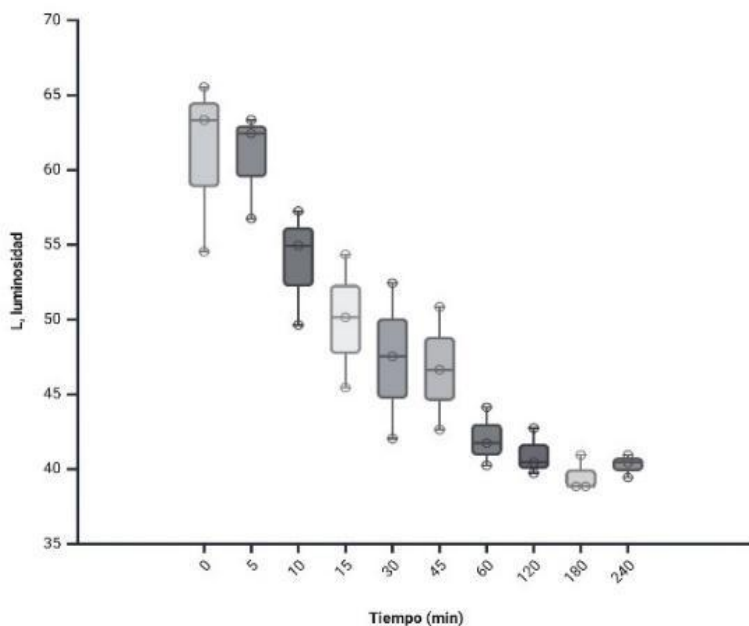
Espacio de color de los ensayos de coloración utilizando el pigmento Rojo de gardenia a 119 ppm y 40°C.

Parámetro L, luminosidad

La Figura 8 muestra que, al principio, los valores de luminosidad eran los más elevados, entre 54 y 65, ya que las cerezas tenían una pequeña cantidad de tinte rojo gardenia, lo que las hacía más claras. A medida que el tinte penetró, los valores de luminosidad disminuyeron y se estabilizaron alrededor de 40. La pendiente de la curva de luminosidad era pronunciada inicialmente, pero disminuyó a medida que la matriz se saturó con tinte y azúcares (mismo comportamiento que con eritrosina), lo que provocó que la difusión del pigmento disminuyera y eventualmente se detuviera, estabilizando los valores de L alrededor de 40.

Figura 8

Evolución del parámetro L^ para cerezas coloreadas con rojo gardenia a 119 ppm en almíbar (35 Bx) a 40°C con relación al tiempo (datos por triplicado). Creado con BioRender.com*

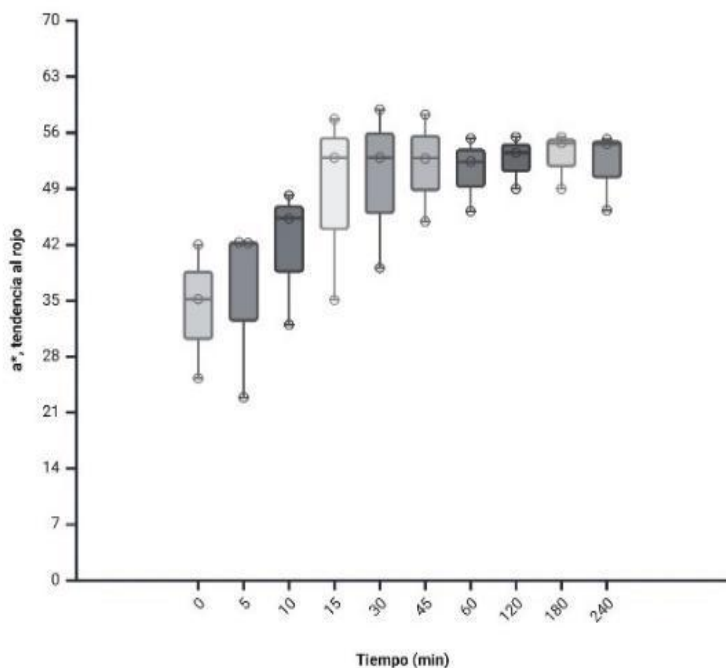


Parámetro a^* , tendencia al rojo

La Figura 9 muestra que los valores de tendencia al rojo fueron más bajos en los primeros 5 minutos, entre 22 y 42, debido a una pequeña cantidad de tinte rojo gardenia difundida en la matriz. A medida que el colorante penetró en la matriz, los valores de a^* aumentaron y se estabilizaron entre 49 y 56. La variabilidad de las mediciones disminuye más para rojo gardenia que para la eritrosina, lo que indica que el tinte de gardenia se difunde más rápido en la matriz que la eritrosina, debiéndose posiblemente a su menor tamaño y peso molecular (Gálvez et al., 2024).

Figura 9

Evolución del parámetro a^ , para cerezas coloreadas con rojo gardenia a 119 ppm en almíbar (35 Bx) a 40°C con relación al tiempo (datos por triplicado). Creado con BioRender.com*

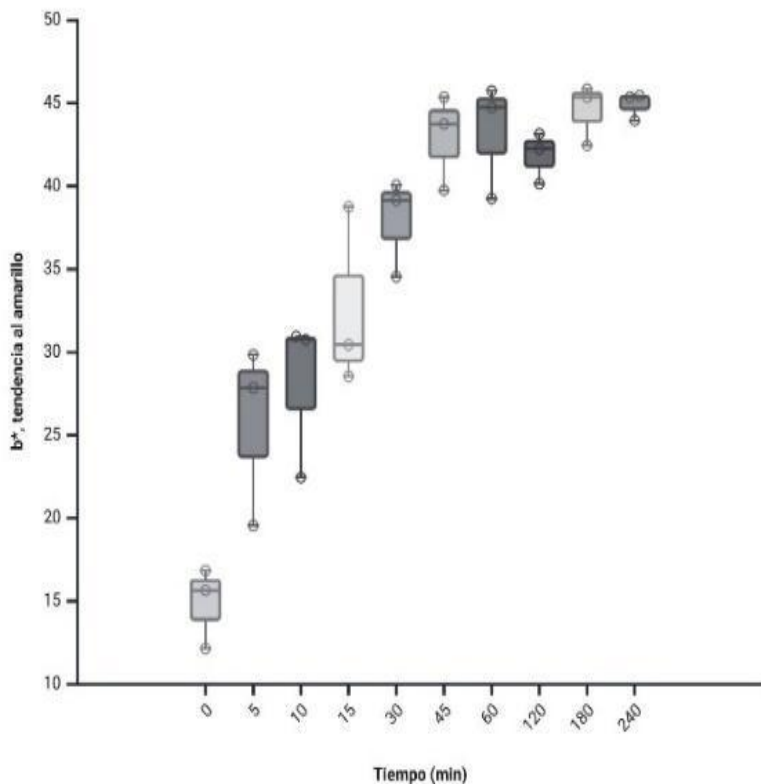


Parámetro b^* , tendencia al azul

La Figura 10 muestra que en los primeros 5 minutos, los valores de tendencia al amarillo fueron los más bajos, entre 12 y 30, ya que las cerezas tenían una pequeña cantidad de tinte rojo gardenia. A medida que el tinte penetró en la matriz, los valores de b^* aumentaron y se estabilizaron entre 40 y 46. El uso de rojo gardenia dio como resultado valores de b más altos en comparación con la eritrosina.

Figura 10

Evolución del parámetro b^ , para cerezas coloreadas con rojo gardenia a 119 ppm en almíbar (35 Bx) a 40°C con relación al tiempo (datos por triplicado). Creado con BioRender.com*



CONCLUSIONES

La variación temporal del espacio de color CIELAB en cerezas está significativamente influenciada por el tipo de tinte utilizado, su concentración y la temperatura del proceso de coloración. Los cambios en el parámetro L reflejan la penetración gradual del tinte en la matriz de la cereza, provocando una disminución de la luminosidad hasta que se produce la estabilización. De manera similar, los cambios en el parámetro a^* indican la progresión del color dentro de las cerezas, y los valores tienden a estabilizarse con el tiempo. Un análisis comparativo

entre eritrosina y rojo gardenia revela diferencias en la velocidad de difusión y la homogeneidad de la coloración, probablemente atribuidas al tamaño y peso molecular de los tintes. Estos hallazgos ofrecen información sobre la cinética de difusión de estos pigmentos en matrices alimentarias e implicaciones para optimizar procesos de coloración en la industria alimentaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Establecimiento Frutícola Carleti S.A y Meridiano S.A por el suministro de las cerezas, a DuPont por la donación de polialcoholes, a la UTN FRM por proporcionar recursos e infraestructura y a CONICET.

REFERENCIAS

- Gálvez, O. D., Maldonado, M. B., Vargas, M. C., Affranchino, G., & González Pacheco, J. I. (2024). Estimation of diffusion coefficients during carrots cooking in arsenious solution at different temperatures. *Heliyon*, 10(2), e24285. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E24285>
- González Pacheco, J. I., & Maldonado, M. B. (2024). Diffusion in biological media: a comprehensive numerical-analytical study via surface analysis and diffusivities calculation. *Nature Scientific Reports*, 14, Article 16513, 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67348-4>
- Imchen, T. & Singh, K. S. (2023). Marine algae colorants: Antioxidant, anti-diabetic properties and applications in food industry. *Algal Research*, 69(2), Article 102898. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102898>
- Malabadi, R. B., Kolkar, K. P., & Chalannavar, R. K. (2022). Plant natural pigment colorants-health benefits: toxicity of synthetic or artificial food colorants. *International Journal of Innovation Scientific Research and Review*, 04(10), 3418–3429. <http://www.journalijisr.com>
- Maldonado, M. B. (2021). Nuevos desafíos para la industria alimentaria y los nuevos conocimientos acerca del tercer cerebro. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 4(4), 92–97. <https://doi.org/10.35454/RNCM.V4N4.326>
- Maldonado, M. B. & González Pacheco, J. (2022). Mathematical modelling of mass transfer phenomena for sucrose and lactitol molecules during osmotic dehydration of cherries. *Heliyon*, 8(1), Article e08788. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2022.E08788>
- Martău, G. A., Coman, V., & Vodnar, D. C. (2020). Recent advances in the biotechnological production of erythritol and mannitol. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(5), 608-622.

<https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1751057>

- Martins, M. J. N., Augusto, P. E. D., Telis-Romero, J., & Polachini, T. C. (2021). Transport properties of saturated sucrose and maltitol solutions as affected by temperature. *Journal of Molecular Liquids*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116254>
- Nogueira-de-Almeida, C. A., & Ribas Filho, D. (2021). Positioning on the Use of Polyols as Table Sweeteners. *International Journal of Nutrology*, 14(02), 71-80. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1733907>
- Wiktor, A., Chadzynska, M., Rybak, K., Dadan, M., Witrowa-Rajchert, D., & Nowacka, M. (2022). The Influence of Polyols on the Process Kinetics and Bioactive Substance Content in Osmotic Dehydrated Organic Strawberries. *Molecules*, 27(4), Article 1376. <https://doi.org/10.3390/molecules27041376>

* * * * *

SALMUERAS DE ACEITUNAS, ESTUDIO DE SU BIODEGRADACIÓN CON FLORA NATIVA HALOTOLERANTE

Mariela Beatriz Maldonado¹², Felipe Valenzuela⁴, Juan Ignacio González Pacheco¹ Oscar Daniel Galvez¹³, Paula Giorlando¹, Simón Contreras¹, Leonel Lisanti¹.

¹ Laboratorio de Alimentos y Tratamiento de Efluentes (LATE), Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, C. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina /

² CCT Mendoza, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina

marielabeatriz1972@yahoo.com.ar

³ Departamento de Materias Básicas, Facultad Regional de Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, C. Rodríguez 273, Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina

⁴ Facultad de ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Almirante Brown 500, Lujan de Cuyo Mendoza, Argentina

Resumen: Se presenta un análisis de la degradación de salmueras, efluente generado en la elaboración de aceitunas, mediante el empleo de microorganismos nativos halotolerantes o halófilos. Se ha comparado la evolución de parámetros físicos químicos claves en un medio testigo con salmuera de aceituna esterilizado y en un medio tratamiento consistente en la salmuera de aceituna bioestimulada con sales para facilitar el crecimiento de la flora existente en el medio. Los resultados han mostrado diferencias entre ambos tratamientos. Se han evaluado el pH, Conductividad Eléctrica (CE), Demanda Química de Oxígeno (DQO), concentración de azúcares reductores y concentración de polifenoles. Los resultados del tratamiento mostraron tendencia a la degradación, y mientras que en el medio testigo los resultados tendieron a la estabilidad. Se pueden apreciar diferencias entre ambos medios, por ejemplo, la reducción de la conductividad eléctrica en el medio testigo fue del 0,1% y en el tratamiento 21,70%.

Palabras claves: salmuera, aceitunas, microorganismos halotolerantes, bioestimulación.

INTRODUCCIÓN

El sector olivícola en Argentina ha ido creciendo y desarrollándose en forma constante durante los últimos años. Según el Censo Nacional Agropecuario 2002, Argentina posee 49.010,8 ha destinadas a la producción de aceite de oliva (67%), y 23.761,2 ha destinadas a la producción de conservas (33%).

El Consejo Oleícola Internacional en su campaña de aceitunas de mesa, señaló que la producción mundial fue de 3.284 mil toneladas, donde Argentina se encontró en el sexto puesto con una producción de 106 mil toneladas anuales. No obstante, para la campaña 2019/2020 se proyectó, respecto a la campaña anterior, un aumento en la producción mundial del 14% y para Argentina del 25 %. Según la Secretaría de Agroindustrias, (2017) Mendoza es una de las cuatro provincias con mayor producción (23% de la superficie implantada con olivos del país) junto con La Rioja (28,9%), San Juan (21,1%) y Catamarca (17,6%) aproximadamente (Castro, 2018, Tagarelli, 2023).

El proceso de producción industrial implica, el consumo de grandes volúmenes de agua desde el desamalizado hasta el envasado y problemas importantes en el vertido de sus efluentes. Se estima que, en base a la producción local de aceitunas, su modo de elaboración y la eficiencia de las industrias en el uso del agua, la Industria olivícola mendocina consumiría aproximadamente 207mil m³ de agua por año, de los cuales 180 mil m³ son volcados como efluentes (Valsecchi Punzi, 2020).

Calcagno et al. (2000), aseguran que en Argentina la sostenibilidad de las fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, se encuentra gravemente amenazadas debido a las actividades antrópicas. A su vez, la Provincia de Mendoza depende casi en su totalidad de la fusión de nieves y glaciares como provisión de este recurso, ya que presenta un marcado déficit hídrico consecuencia de los bajos volúmenes de precipitación anual. La contaminación del agua también disminuye su disponibilidad para los diferentes usos, debido a que puede verse afectada por la alteración en sus propiedades.

Los vertidos se caracterizan por su alto contenido en sodio (desamalizado y lavados) y cloruro de sodio. El grado de contaminación de cada vertido varía de acuerdo con diversos factores como la variedad

de aceituna, la concentración de sales empleada, la riqueza de la aceituna, etc., de manera que cada vertido puede ser distinto en la composición de los sólidos disueltos, sólidos en suspensión y demás elementos contaminantes (Kopsidas, 1992). Estos efluentes afectan el eco-agro-ambiente, los cauces, napas freáticas y suelos produciendo un efecto perjudicial sobre la flora y fauna asociada a los ecosistemas en los que se halla inmersa.

Por su parte, los microorganismos halófilos han alcanzado recientemente un gran interés en el campo de la degradación de los residuos tóxicos y la posible biorremediación de efluentes (DasSarma and DasSarma, 2017). Estos constituyen una importante alternativa a los tratamientos microbiológicos convencionales en aquellos casos en los que éstos sean ineficaces, como son los procesos industriales que generan aguas residuales hipersalinas (Oren et al., 1993). Específicamente la industria aceitunera tiene efluentes de diversos tipos, desde los más alcalinos producto del desamarizado con lejía a los más ácidos provenientes de las salmueras o aguas de maquinado. Ha sido aplicada en algunos casos específicos como las aguas de maquinado de aceitunas con resultados muy promisorios para la industria (Maldonado et al., 2022) siendo esta una buena alternativa para disminuir la carga orgánica, DQO, DBO₅ y la conductividad entre otras. Su uso como posible biorremediador de efluentes de alta conductividad serían posibles dadas las estrategias propias de estos microorganismos de enfrentar estrés osmótico.

Las aguas residuales del procesado de las aceitunas poseen alto contenido de materia orgánica poco degradable, elevado porcentaje de sólidos en suspensión y grasas, elevada DQO, pH ácido o alcalino extremo, elevada salinidad y conductividad, fuerte coloración por el contenido de polifenoles que forman parte de la composición de los frutos. Todo esto implica la necesidad de hallar metodologías que modifiquen o reduzcan alguno de estos parámetros.

Por todo lo nombrado, entendiendo que el potencial biotecnológico de microorganismos nativos en algunos efluentes de la industria aceitunera ha sido probado en aguas de maquinado, pero no en otros efluentes del proceso, y que no se han encontrado estudios del potencial biorremediador de los microorganismos nativos halotolerantes u halófilos en este tipo de efluentes, es que se propone alcanzar el

conocimiento de este, mediante su estudio en este trabajo a fin de conocerlo, y poder cuantificar su eficacia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización del efluente utilizado en el ensayo se han realizado los siguientes análisis según American Public Health Association (APHA) (1992): pH, temperatura, conductividad eléctrica, DQO, DBO₅, nitratos amoniacales, nitrógeno, fosfatos, sólidos solubles totales, sólidos suspendidos fijos, sólidos solubles volátiles, cloruros, sulfatos, sodio, potasio, carbonatos y polifenoles totales.

El ensayo se realizó a nivel escala piloto donde se colocó el efluente de salmuera en seis erlenmeyers divididos en dos grupos: Testigo y Tratamiento T1, en agitación constante durante el tiempo que duró el ensayo (14 días). A la muestra Testigo se la esterilizó, mientras que a la muestra Tratamiento T1 no se la esterilizó. Ambos tratamientos se los bioestimuló con sales para facilitar el crecimiento de la flora existente en el medio. La bioestimulación consistió en el agregado de una mezcla de sales (PO₄HK₂, NH₄Cl Citrato de sodio, KCl, MgSO₄ y de triple 15®) y 10g/L Glucosa anhidra como fuente de carbono.

Cada erlenmeyer se colocó en un agitador Dragon Lab a 220 rpm para la incorporación de aire durante el experimento generando condiciones de aerobiosis a temperatura ambiente (25 ± 1 ° C) para lograr la estabilidad mediante un sistema de aire acondicionado.

Durante los 14 días que duró el ensayo se midió diariamente el pH y CE de cada erlenmeyer, también se tomaron muestras diarias para la posterior medición de concentración de azúcares reductores y concentración de polifenoles. Desde el día 0 del ensayo se tomaron muestras para medir la DQO del Testigo y del Tratamiento T1.

Se monitoreó la evolución de diferentes indicadores de contaminación a lo largo del tiempo para su posterior comparación con valores máximos tolerados según la Resolución N°778/96 de la Provincia de Mendoza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La contaminación del agua y los temas relacionados a ella se encuentran regulados por la Resolución N°778/96 de la Provincia de Mendoza (23/12/1996) y sus modificaciones (Resolución N°627/00), que establecen los parámetros que deben tener vertidos industriales y de aguas residuales para reutilización agrícola. Todos los establecimientos que viertan efluentes al dominio público hidráulico deben obtener la correspondiente autorización administrativa y deben contar con un sistema de tratamiento de efluentes adecuado para cumplir con los requisitos técnicos previstos en la legislación vigente. Si los establecimientos no cumplen con los requisitos necesarios para obtener dicho permiso, deberán suscribir un “Contrato de Gestión de Permisos de Descarga”, mediante el cual se les otorga un plazo para ajustar la calidad de sus efluentes y mejorar sus sistemas de tratamiento. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para ambas muestras con los parámetros más importantes contemplados por la legislación local de aguas.

Inicialmente se observa que el valor de nitratos (NO_3^-), nitrógeno amoniacal (NH_4) y fosfatos (PO_4^{-3}) para ambas muestras dieron fuera de los valores máximos tolerados según normativa, aunque la muestra Tratamiento 1 presenta valores menores que la muestra Testigo, por lo que podría mostrar importancia en el tratamiento previo que se le hace a la muestra. Al aumentar las concentraciones en el agua de estos compuestos promueve el desarrollo, mantenimiento y proliferación de los productores primarios (fitoplancton, algas bentónicas y macrófitos), y que posteriormente con su muerte y descomposición, conduce a una marcada disminución de oxígeno disuelto donde la principal manifestación es la muerte masiva de animales acuáticos, fenómeno conocido como eutrofización.

La concentración del anión sulfato (SO_4^-) fue mayor para la muestra Testigo que para la muestra Tratamiento 1, representando un problema evidente en el primer caso, pero no para el segundo ya que el máximo tolerado es de 600 mg/l.

Tabla 1*Características físicoquímicas*

Variable	Muestra Testigo	Muestra Tratamiento T1	Unidad de Medida	Valor Max. Tolerado Res. N° 778
pH	4,13	5,36	-	7
DBO ₅	27900	8060	mg/l	120
Nitratos	9,87	9,54	mg/l	6
Nitrógeno Amoniacal	23,07	21,34	mg/l	5
Fosfatos	19,88	7,07	mg/l	0,7
Sólidos Solubles Totales	25.486	9.878,86	mg/l	-
Sólidos Suspendidos Fijos	157,5	61,05	mg/l	-
Sólidos Solubles	25.328	9.818	mg/l	-
Sodio	433.000	435200	mg/l	275
Potasio	472	117,5	mg/l	-
Dureza Total	4.182	3.225	mg/l	-
Sulfatos	1.013	417,576	mg/l	600
Cloruros	664.000	664.000,55	mg/l	500

Los valores obtenidos para el sodio (Na^+) son muy elevados con respecto a los valores tolerados por la norma, sin embargo, son valores esperables debido al tipo de efluente, altamente salino. En cuanto al potasio (K^+) no es un parámetro requerido dentro de la normativa. Es un macronutriente esencial para las plantas. Su principal función es el establecimiento del potencial osmótico y el mantenimiento de la electroneutralidad celular, donde actúa como catión principal. En exceso, puede actuar como antagonista del magnesio, nutriente muy importante en el metabolismo energético, y en las aguas de riego puede causar problemas en los cultivos.

La dureza del agua está determinada por el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y ocasionalmente nitratos de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y magnesio $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, y es una característica indeseable porque puede producir incrustaciones en tuberías y calderas, y mayor consumo de jabones y detergentes. Para usos domésticos, por ejemplo, se recomiendan niveles inferiores a 500 mg/l (Drovandi, 2004). La muestra testigo posee una dureza total de 4.182 mg HCO_3^- /l y la muestra Tratamiento T1 3.225 mg HCO_3^- /l por lo cual es debidamente necesario reducir estos valores en ambos casos para cualquier tipo de reúso.

En la Tabla 2 se observa que la DQO en la muestra Testigo presentó inicialmente un valor de 815 mgO_2 /l y luego de los 14 días se redujo a 800 mgO_2 /l, con lo que la tasa de disminución fue del 1,84%. Este parámetro no disminuyó significativamente sin embargo para la muestra Tratamiento T1 la DQO presentó inicialmente un valor de 821 mgO_2 /l y posteriormente se redujo a 315 mgO_2 /l luego de los 14 días. Concluyendo con una tasa de disminución del 61,63 %, valor alto en comparación con la muestra Testigo, aunque por la Resolución 778, el valor de la DQO debe ser inferior a 250 mg O_2 /l, pudiendo ser mayor en algunos desagües y drenajes, por tiempo limitado, siempre que no se causen problemas a terceros o a cuerpos receptores.

La DBO_5 registró una disminución del 71,11 % pasando de 27900 O_2 /l inicialmente, a 8060 O_2 /l. Este valor es mayor al indicado en la legislación de 120 mg O_2 /l para uso público. No obstante, la normativa de hormigones no establece restricciones al respecto por lo que podría usarse para la elaboración de estos.

En este sentido, la DQO y la DBO₅ son medidas de la materia orgánica presente en el efluente. Por tanto, como describe Kemmer & McCallion (1989), al aumentar “el alimento” disponible en el agua residual, la actividad microbiana crece exponencialmente, por lo que las respiraciones hacen que disminuya el oxígeno disuelto en el agua. Los niveles de oxígeno pueden restablecerse si el aporte no es muy grande y no se produce con frecuencia, pero de lo contrario, pueden generar condiciones incompatibles con la vida de organismos superiores, y alteraciones en el ecosistema.

Tabla 2

Evolución de la demanda química de oxígeno

Muestra	DQO inicial (mg O ₂ / l)	DQO final (mg O ₂ / l)	% de disminución
Testigo	815	800	1,84 %
Trat. T1	821	315	61,63%

La Tabla 3 muestra la evolución de la conductividad eléctrica. Durante el ensayo, se observó una leve disminución de la conductividad promedio del 0,01 % para la muestra Testigo y una disminución del 21,7% para la muestra Tratamiento T1. No se conoce ni comprende el mecanismo por el cual se produjo la disminución de la conductividad eléctrica, aunque podría ser causa de cualquier microorganismo seleccionado y/o por su trabajo sinérgico.

Tabla 3

Evolución de la Conductividad eléctrica (CE)

Muestra	CE inicial (dS/cm)	CE final (dS/cm)	% de disminución
Testigo	12,02	12,01	0,1%
Trat T1	11,66	9,13	21,7%

Al finalizar el ensayo ambas muestras dieron un valor de conductividad eléctrica extremadamente alto, 1.201.000 μS para la muestra Testigo y 913.000 μS para la muestra Tratamiento T1, en comparación con la normativa, que es de 900 μS (máximo permitido) y de 1.800 μS (máximo tolerado). Dichos valores indican que el efluente posee grandes cantidades de sales disueltas. Las consecuencias que generan los vertidos industriales con grandes valores de conductividad eléctrica en cuerpos de agua están relacionadas con aumentos en la velocidad de corrosión del material del medio donde se transportan (si las demás condiciones: pH, temperatura y oxígeno disuelto lo favorecen), y aumentos en la solubilidad del CaCO_3 y otros materiales ligeramente solubles (Kemmer & McCallion, 1989).

Los cloruros también aportan a la conductividad, y en este caso se ha obtenido un valor de cloruros (Cl^-) de 664.000,85mg /l para la muestra Testigo y 664.000,55 mg/l para la muestra Tratamiento T1, siendo el valor máximo tolerable de 500 mg/l. El valor elevado de este elemento posiblemente se deba a un fenómeno de difusión de Cl^- desde el interior de la aceituna, remanente del proceso de colocación en salmuera (NaCl). Si estas aguas son utilizadas para riego de cultivos existiría el riesgo de salinización de suelos, consecuentemente bajando el rendimiento de los cultivos (Drovandi, 2004).

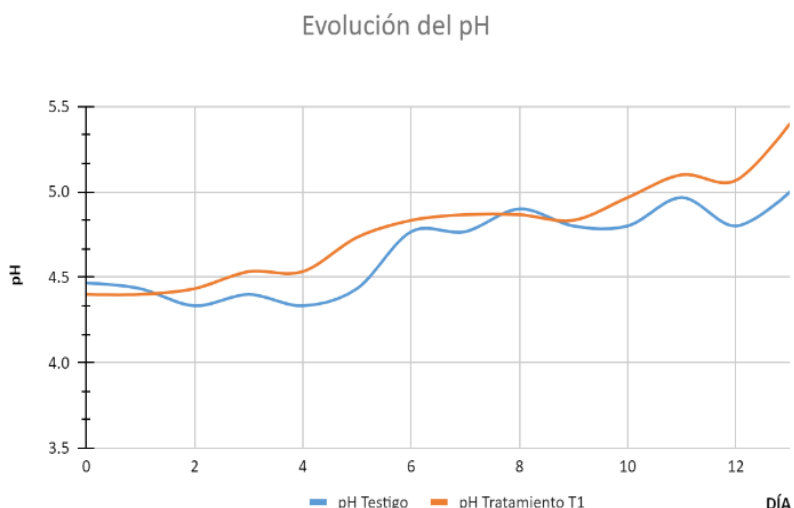
Los sólidos suspendidos totales (SST) corresponden a la fracción de sólidos totales que luego de ser secados a una temperatura de 103-105 °C, quedan retenidos sobre un filtro de 1,2 μm , que a su vez se dividen en fijos y volátiles. Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) son aquellos que se volatilizan e incineran al calcar los SST a temperaturas de 500 \pm 50 °C. A estas temperaturas la materia orgánica se oxida en forma de CO_2 y agua, que se volatilizan, y la fracción inorgánica queda como cenizas, por lo que el contenido de SSV se interpreta en términos de materia orgánica, aunque es tan sólo una aproximación, puesto que también se volatilizan ciertas sales minerales. Los sólidos suspendidos fijos (SSF) son el residuo que queda luego de la calcinación (Argandoña Zambrano & Macías García, 2013).

La normativa específica que cuando el valor de la DBO_5 es mayor a 100 mg/l directamente no se admite su presencia, tal es el caso de este efluente. Teniendo en cuenta los valores de la DBO_5 y la DQO obtenidos para ambas muestras son altos, es consistente encontrar valores de SSV (aproximación de la materia orgánica) también elevados. Por lo que

es importante su determinación y tratamiento ya que producen obstrucciones, embanques, turbidez, olores desagradables y taponamiento de suelos (Fagot et al., s.f.). Por último, en la Figura 1, se puede observar que la evolución que experimentó el pH para las muestras Testigo y Tratamiento T1. iniciaron con un pH que comprendía el rango de 4,3 - 4,4, y que comenzaron a tener cambios a partir del día 5. Finalmente, en el día 14 los valores se estabilizaron entre 5 a 5,4.

Figura 1

Evolución del pH desde el día 0 al día 14



Se logró aumentar en unos décimos los mismos, comprendiendo el nuevo rango el valor de neutralidad de $\text{pH}=7$. Esto es importante porque para la mayoría de las especies acuáticas el rango de pH favorable está comprendido entre valores de 6 a 7,2.

CONCLUSIONES

Se ha logrado llegar a valores aceptables según normativa con algunos parámetros fundamentales de los indicadores de contaminación de un efluente debido a la acción de microorganismos halófilos. La muestra Tratamiento T1 es la que presenta mejores resultados. Parámetros como DQO y DBO₅ disminuyeron aproximadamente un 70% y la conductividad un 21% en promedio. Sin embargo, no se llegó a valores satisfactorios para la muestra Testigo que fue esterilizada desde el inicio. Los microorganismos halófilos u halotolerantes son una buena alternativa de biorremediación para esta industria, ya que estos poseen mecanismos que les permite sobrevivir en medios salinos o extremófilos, pudiendo disminuir la carga orgánica (DQO y DBO₅, la conductividad entre otras). Los resultados de laboratorio son prometedores como un primer acercamiento a la biorremediación de este efluente complejo y contaminante para la industria local, ya que el agua resultante podría ser aplicada para el mezclado de morteros y hormigones especiales. La caracterización del efluente indicó que es necesario un correcto tratamiento de estos, ya que de ser liberado al medio sin las debidas correcciones produciría grandes alteraciones en el ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a UTN FRM y el subsidio del proyecto PID 8582 Deshidratado osmótico y congelación de zapallo con polialcoholes como alternativa nutricional.

REFERENCIAS

- American Public Health Association (1992) *Standard Methods for Examination of Water and waste* (18th ed.)(Report number APHA Method 9221). Mary Ann H. Franson Ed. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/apha.method.9221.1992.pdf>
- Argandoña Zambrano, L. E. & Macías García, R. G. (2013). *Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la Parroquia Colon, Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí, durante el periodo de marzo a septiembre 2013* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Manabí]. <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION%20DE%20SOLIDOS%20TOTALES%2C%20SUSPENDIDOS%2C%20SEDIMENTADOS%20Y%20VOLATILES.pdf>.
- Calcagno, A., Urbano Jáuregui, L., Planas, A. C., Gaviño Novillo, M., Mendiburo, N. (2000). Informe sobre la Gestión del agua en la República Argentina.

- DasSarma, S. & DasSarma, P. (2017). Halophiles. *eLS* (Vol. 1, pp. 1-13). John Wiley & Sons, Inc. DOI: 10.1002/9780470015902.a0000394.pub4.
- Drovandi, A. (2004). Problemática ambiental de los Recursos Hídricos en Mendoza. En Drovandi, A. (Comp.). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
- Fagot, L.; Foresi, S.; Pereyra, M.; Rauck, T. (Sin fecha). *Saneamiento del Colector Pescara. Sistema centralizado de reúso en riego de efluentes líquidos agroindustriales* [White Paper].
- Kemmer, F.N. & McCallion, J. (1989). *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones* (Vol. 1) (Matilde Eva Espinosa Rubio Trans.). Editorial McGraw Hill.
- Kopsidas, G. C. (1992). Wastewater from the preparation of table olives. *Water research*, 26(5), 629-631
- Maldonado, M., Baigori, M., Affranchino, G. (2022). Biodegradation of organic compounds and decrease in electrical conductivity by native consortium in effluents from the olive industry. *International journal of recycling organic waste in agriculture*, 11(2), pp. 177-187. doi: 10.30486/ijrowa.2021.1904679.1105.
- Castro, M. G. (2018). Sector Olivícola de Mendoza participación en el mercado argentino e inserción en el mundo. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, 132, 135-144. <https://fce.uncuyo.edu.ar/upload/castro-sector-olivicola-de-mendoza.pdf>
- Oren, A., Guverich P., Azachi M. & Henis Y. (1993) Microbial degradation of pollutants at high salt concentrations. In E. Rosenberg (Eds.), *Microorganisms to Combat Pollution* (pp. 263-274). Kluwer Academic Publishers. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1672-5_18.
- Tagarelli, A. S. (2023). *Informe Síntesis, Economía Regional, Olivo*. Secretaría de agricultura, ganadería y pesca, Ministerio de Economía. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/economias-regionales/producciones-regionales/informes/INFORME_DE_Olivo2023.pdf
- Valsecchi Punzi, J. (2020). *Degradación de efluentes líquidos provenientes del maquinado de aceitunas mediante oxidación biológica llevada a cabo con la utilización de microorganismos nativos del efluente* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cuyo]. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/15565/valsecchi-julin-tesina.pdf.

* * * * *

SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA EL MONITOREO AMBIENTAL EN LA CÁMARA DE FRUCTIFICACIÓN DE *PLEOROTUS OSTREATUS*

Matilde Inés Césari¹, Cecilia Césari² Valeria Espartaro¹, María Cecilia Castellanos¹, Eugenia Alfonso¹, Carolina Pennisi¹, Noelia Robles¹,
María Eugenia Stefanoni¹, Daniela Carbonari,¹

¹GIDeCo Grupo Regional UTN de Investigación y Desarrollo de Ecosistemas de Conocimiento - ReAVi Laboratorio de investigación Realidad Aumentada y Virtual) – Universidad Tecnológica Nacional FRM / matilde.cesari@frm.utn.edu.ar

²INTA-EEM Estación Experimental Mendoza INTA
cesari.cecilia@inta.gob.ar

Resumen: El objetivo de este estudio es diseñar, desarrollar e implementar un sistema de control y monitoreo electrónico basado en tecnología Arduino y plataformas IoT para la cámara de fructificación del cultivo de hongos en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Se recopilaban datos críticos de temperatura, humedad y CO₂, los cuales se transmitirán a la plataforma ThingSpeak para su monitoreo en tiempo real. Los resultados muestran la precisión y eficiencia del sistema en el mantenimiento de condiciones ambientales óptimas, minimizando el error humano y estableciendo las bases para un sistema de control automatizado

Palabras claves: Telemetría, monitoreo ambiental, IoT, cultivo de hongos

INTRODUCCIÓN

La adopción de tecnologías avanzadas en la agricultura moderna, particularmente en el cultivo de hongos, juega un papel crucial en la mejora de la eficiencia y la productividad. Los sistemas de monitoreo y control ambiental automatizados son esenciales para mantener las condiciones óptimas de fructificación, ya que los hongos son extremadamente sensibles a las variaciones de temperatura, humedad, CO₂ y otros factores ambientales. La producción de *Pleurotus ostreatus* puede ser abordada desde una perspectiva sustentable (Medina Miranda, Gutiérrez-Segura, Gutiérrez Cedillo & Balderas Plata, 2023).

Estos sistemas permiten un manejo preciso y constante, lo que reduce la dependencia del monitoreo manual y minimiza los errores humanos. Además, el uso de sensores y tecnologías de IoT facilita la recopilación

de datos en tiempo real, permitiendo ajustes inmediatos en las condiciones del cultivo y mejorando la calidad y el rendimiento de la producción de hongos (Kathiria et al., 2023; Seetha Rama, 2021).

El objetivo específico de este trabajo es diseñar, desarrollar e implementar un sistema de control y monitoreo electrónico basado en tecnología Arduino y plataformas IoT para la cámara de fructificación del cultivo de hongos *Pleurotus Ostreatus*, garantizando el mantenimiento de condiciones ambientales óptimas. Este proyecto se ha desarrollado en colaboración entre la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Luján de Cuyo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Facultad Regional Mendoza de la UTN.

Se han realizado diversos estudios que destacan la importancia de la telemetría y el monitoreo ambiental en la agricultura, especialmente en el cultivo de hongos *Pleurotus*. Por ejemplo, el uso de sistemas de monitoreo ambiental basados en IoT en granjas de hongos ha demostrado ser efectivo para mantener condiciones óptimas de temperatura y humedad, mejorando la calidad y cantidad de la producción. Kassim, Mat y Yusoff (2019) describen cómo la implementación de sensores de IoT en granjas de hongos puede monitorear y controlar de manera eficiente las condiciones ambientales, resultando en un manejo más preciso y una mayor productividad.

Estudios como los de Mahmud et al. (2018) han mostrado que los sistemas basados en IoT pueden proporcionar monitoreo en tiempo real de variables críticas como temperatura y humedad, asegurando que las condiciones permanezcan dentro de los rangos óptimos para el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Estos sistemas no solo reducen la dependencia del monitoreo manual, sino que también permiten ajustes automáticos que mejoran la eficiencia y reducen el riesgo de pérdida de cultivo debido a condiciones ambientales inadecuadas.

Adicionalmente, Kencanawati (2017) destacó la influencia de las condiciones ambientales en el cultivo ecológico de hongos *Pleurotus* en Indonesia, subrayando la necesidad de un monitoreo constante para asegurar un entorno de cultivo favorable. La investigación de Rahmat et al. (2020) demostró que la adición de ciertos aditivos al medio de cultivo, monitoreados mediante sistemas IoT, puede optimizar el crecimiento y la producción de hongos *Pleurotus ostreatus*.

En conjunto, estos estudios muestran que la integración de tecnologías IoT en el cultivo de hongos *Pleurotus* no solo optimiza las condiciones de cultivo y mejora la eficiencia, sino que también puede aumentar la producción y calidad de los hongos, proporcionando beneficios significativos tanto para los productores como para los consumidores.

MATERIALES Y MÉTODOS

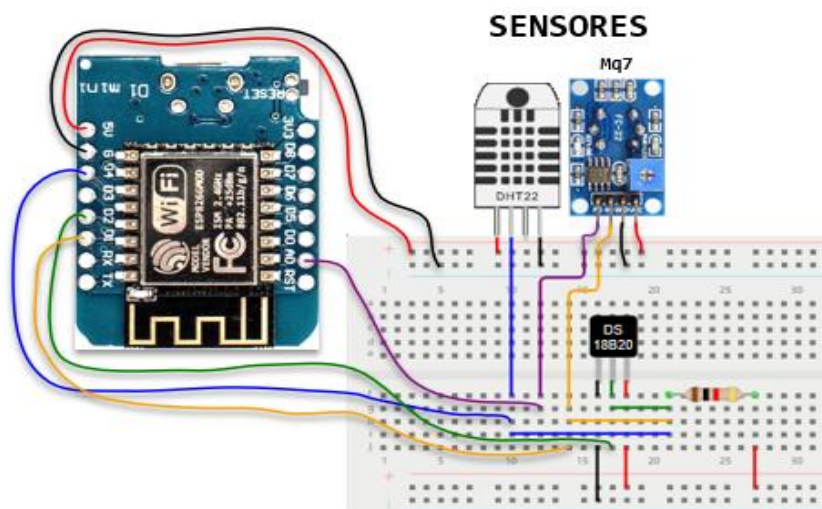
El código que se explica a continuación facilita una gestión eficiente y automatizada del entorno de cultivo, aprovechando las capacidades de IoT para el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.

La implementación del código se centró en la recolección de datos ambientales críticos utilizando los sensores seleccionados y la transmisión de estos datos a la plataforma ThingSpeak para su monitoreo remoto y en tiempo real.

Esta tecnología se enmarca dentro de las aplicaciones de IoT en la agricultura, la cual ha sido reconocida por su capacidad de mejorar la precisión y la eficiencia en el manejo de variables ambientales (Babakhouya et al., 2023).

Figura 1

Diseño del esquema electrónico



A continuación, se describe un ejemplo simplificado del proceso implementado:

1. **Inicialización:** Esta etapa involucra configurar el entorno de trabajo, inicializar las bibliotecas necesarias para los sensores y la conectividad WiFi en el controlador Wemos D1 mini. Se establece la conexión a la red WiFi y se configuran los pines digitales que leerán los datos de los sensores. El código (Código 1) comienza estableciendo la conexión WiFi utilizando las credenciales de la red (SSID y contraseña). Luego, inicializa la comunicación con los sensores DS18B20 (temperatura), DHT11 (humedad), y MQ7 (dióxido de carbono) configurando los pines correspondientes y las bibliotecas necesarias. Este paso es crucial para garantizar que todos los componentes estén listos para operar antes de recoger datos.

Código 1

Parámetros de Inicialización

```
// Inclusión de librerías necesarias
// Librería para conexión a red WiFi
#include <ESP8266WiFi.h>
// Librería para enviar datos al canal ThingSpeak
#include <ThingSpeak.h>
// Librería para el uso del sensor DS18B20
#include <OneWire.h>
// Librería para el formato de temperatura
#include <DallasTemperature.h>
// Librería para el uso del sensor DHT22
#include "DHTesp.h"
// Librería para el uso del sensor MQ7
#include <MQ7.h>
// Declaración de cliente web
WiFiClient cliente;

// Parámetros de conexión a la red WiFi (SSID y contraseña)
const char* ssid = "RedINTA"; // Nombre de la red WiFi
const char* password = "contraseña"; // Contraseña red WiFi

// Parámetros conexión al servidor ThingSpeak (canal y API)
// Servidor de ThingSpeak
const char* server = "api.thingspeak.com";
// API Key del canal Hongo_CAVA
const char* myWriteAPIKey = "XXXXXXXXXXXXXXXXXX";

// ID del canal Hongo_CAVA en ThingSpeak
unsigned long myChannelNumber = 2262755;

// Parámetros para el sensor de temperatura DS18B20
// Configuración del bus OneWire en el pin 4 del Wemos (D2)
OneWire oneWireBus (4);
// Inicialización del sensor DS18B20
DallasTemperature ds18b20Sensor(&oneWireBus);

// Parámetros para el sensor de humedad y temperatura DHT22
// Pin digital 2 del Wemos (D4) conectado al sensor DHT22
const int DHT_PIN = 2;
DHT
```

2. **Recolección de Datos:** Se leen los datos de los sensores a intervalos regulares. Por ejemplo, para el sensor de temperatura DS18S20, se solicita la temperatura actual; para el DHT11, se leen tanto la temperatura como la humedad; y para el MQ135, se mide la calidad del aire. En el loop principal (Código 2), el sistema recopila datos de temperatura ambiente y humedad con el sensor DHT11, la temperatura de la bolsa de hongo con el sensor DS18B20, y los niveles de CO2 con el sensor MQ7. Estas lecturas se realizan en intervalos regulares definidos por el tiempo de espera al final del loop (delay(20000)).

Código 2

Recolección de Datos

```
// Función de configuración inicial
void setup() {
  // Inicializa la velocidad de transmisión por puerto COM
  Serial.begin(115200);
  // Retardo de tiempo de 10 milisegundos
  delay(10);
  // Inicializa pin 5 como entrada digital del sensor MQ7
  pinMode(5, INPUT);
  // Inicializa pin entrada digital para el sensor DHT22
  pinMode(DHT_PIN, INPUT);
  // Inicia el sensor DS18B20
  sonda.begin();
  // Configura el sensor DHT22
  dhtSensor.setup(DHT_PIN, DHTesp::DHT22);
  // Llama a la función para conectar al WiFi
  setup_wifi();
}
```

```

    // Inicializa la conexión con ThingSpeak
    ThingSpeak.begin(cliente);
}

// Función para la configuración de la conexión WiFi
void setup_wifi() {
    delay(10);
    Serial.println();
    Serial.print("Conectando a: ");
    // Muestra el nombre de la red WiFi
    Serial.println(ssid);
    // Inicia la conexión a la red WiFi
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        // Espera hasta que la conexión se establezca
        delay(1000);          // Retardo de 1 segundo
        Serial.print(".");    // Indicador progreso
    }
    // Una vez conectado, muestra la dirección IP asignada
    Serial.println();
    Serial.println("Conexión WiFi establecida");
    Serial.print("Dirección IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP()); // Muestra la dirección IP
    obtenida
}

```

3. **Procesamiento de Datos:** Los datos recogidos se procesan para adecuarlos a los formatos necesarios, aplicando, si es necesario, correcciones por calibración. Esto puede incluir la conversión de señales analógicas a digitales, el ajuste de las lecturas según factores de escala, y la preparación de los datos para su transmisión. Aunque el código adapta los valores leídos a formatos adecuados para su transmisión. Por ejemplo, convierte las lecturas de temperatura y humedad a cadenas de caracteres para su visualización y prepara los datos para su envío a ThingSpeak.
4. **Transmisión a ThingSpeak:** Los datos procesados se envían a ThingSpeak utilizando la API de la plataforma. Esto generalmente se hace mediante una petición HTTP POST, incluyendo los valores de los sensores como parte del cuerpo de la petición. Cada sensor puede ser asignado a un campo diferente en un canal de ThingSpeak. Utiliza la API de ThingSpeak para enviar los datos recolectados. Cada valor de los sensores se asigna a un campo específico en un canal de ThingSpeak utilizando ThingSpeak.setField(). La conexión al servidor de ThingSpeak se

realiza mediante `cliente.connect()`, y luego se envían los datos con `ThingSpeak.writeFields()`. Este proceso se verifica con el código de estado HTTP, indicando si la actualización fue exitosa. Utiliza la API de ThingSpeak para enviar los datos recolectados. Cada valor de los sensores se asigna a un campo específico en un canal de ThingSpeak utilizando `ThingSpeak.setField()`. La conexión al servidor de ThingSpeak se realiza mediante `cliente.connect()`, y luego se envían los datos con `ThingSpeak.writeFields()`. Este proceso se verifica con el código de estado HTTP, indicando si la actualización fue exitosa.

5. **Monitoreo Remoto:** Una vez que los datos están en ThingSpeak, se pueden visualizar en tiempo real a través de su interfaz web. Los usuarios pueden configurar alertas o acciones basadas en ciertos umbrales de datos, permitiendo una respuesta rápida a las condiciones cambiantes del entorno de cultivo. Al enviar los datos a ThingSpeak, habilita la visualización y análisis de los datos en tiempo real a través de la plataforma ThingSpeak. Los usuarios pueden acceder a estos datos desde cualquier lugar, permitiendo un seguimiento continuo de las condiciones ambientales de la cámara de fructificado.

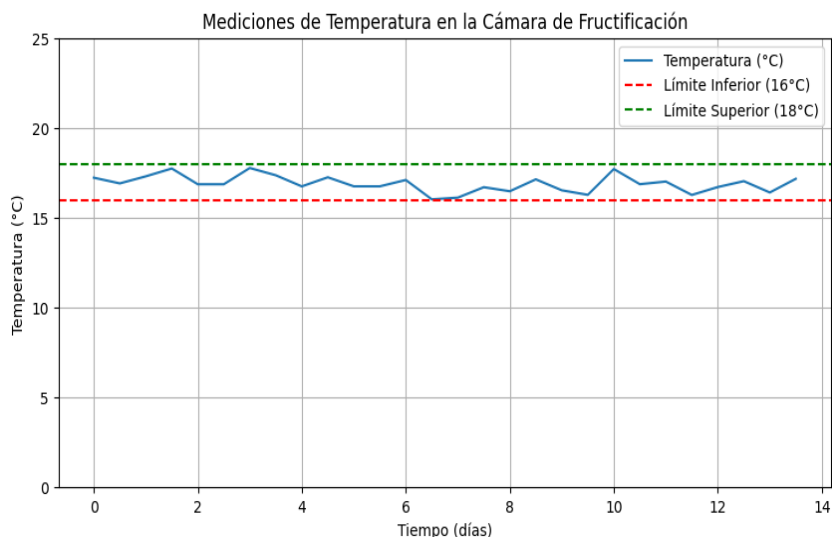
RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante las pruebas del sistema mostraron que las mediciones de temperatura, humedad y CO₂ eran precisas y consistentes con los valores esperados. Las gráficas generadas en ThingSpeak proporcionaron una visualización clara y en tiempo real de las condiciones ambientales en la cámara de fructificación, destacando la efectividad del uso de tecnologías IoT en la agricultura de precisión (Islam et al., 2016; Vijayan et al., 2024).

- Gráfica de Temperatura (Figura 2): La temperatura medida mostró fluctuaciones diarias, manteniéndose dentro del rango óptimo para la fructificación de 16-18°C. La gráfica muestra las variaciones de temperatura a lo largo de 14 días (una oleada).

Figura 2

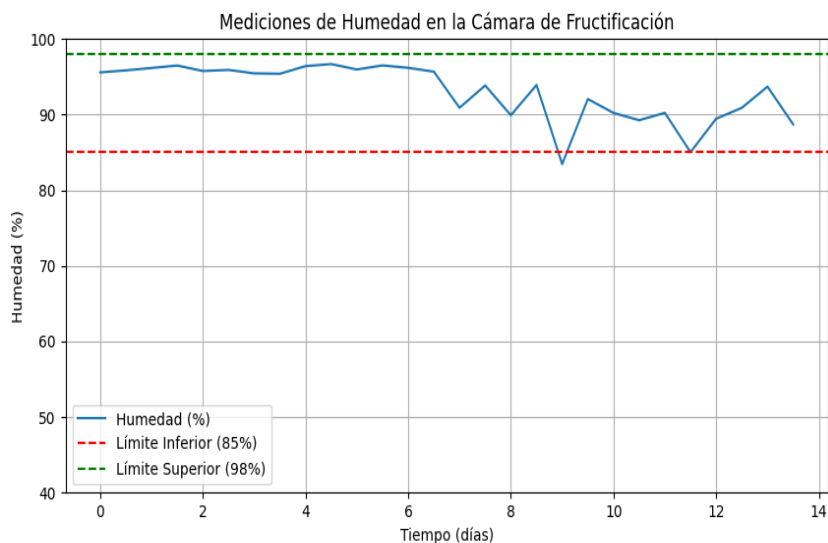
Mediciones de temperatura en la cámara de fructificación



- Gráfica de Humedad (Figura 3): La humedad relativa se mantuvo durante los primeros 7 días, dentro del rango óptimo para la formación de primordios de 95-98%. En los 7 días siguientes, se mantuvo dentro del rango óptimo para el crecimiento de los cuerpos (fructificación) de 85 a 95%. La gráfica proporciona una visión clara de cómo varía la humedad en el ambiente controlado.

Figura 3

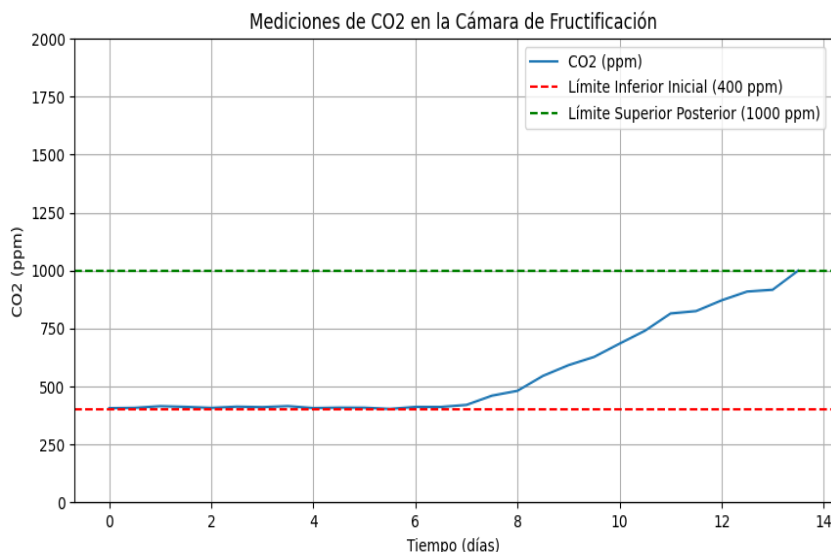
Mediciones de humedad en la cámara de fructificación



- Gráfica de CO₂ (Figura 4): Los niveles de CO₂ se mantuvieron estables alrededor de 400-420 ppm en los primeros 10 días, luego fue incrementando hasta 1000ppm, asegurando una buena ventilación y calidad del aire en la cámara de fructificación. La gráfica ilustra los cambios en las concentraciones de CO₂ durante un ciclo diario.

Figura 4

Mediciones de CO₂ en la cámara de fructificación



Las variaciones en la temperatura afectan directamente la tasa de crecimiento del micelio y la producción de frutos. Temperaturas fuera del rango óptimo pueden ralentizar el crecimiento, reducir el rendimiento y afectar la calidad de los hongos. Además, cada especie tiene sus propias preferencias y rangos óptimos, por lo que es crucial ajustar las condiciones ambientales según la especie específica de *Pleurotus* que se esté cultivando.

DISCUSIÓN

En nuestra zona, la garantía de condiciones ambientales óptimas desempeña un papel importante en la optimización de la producción de girgolas. A nivel general, la temperatura y humedad óptimas para una sala de fructificación de girgolas son de alrededor de 18 a 20 °C y 85 a 95%, respectivamente (Díaz Muñoz et al., 2019; Sánchez & Royse, 2001; Miranda et al. 2023). En el presente estudio, los resultados sugieren que se logró el establecimiento exitoso del sistema de

monitoreo ambiental para el cultivo artificial de girgolas tipo *Pleurotus ostreatus* ofreciendo una solución prometedora para aumentar el rendimiento de hongos.

Las ventajas del sistema incluyen la reducción del error humano y la capacidad de realizar ajustes inmediatos basados en datos en tiempo real. Sin embargo, se identificaron limitaciones, como la necesidad de calibrar periódicamente los sensores para mantener su precisión y la dependencia de una conexión estable a Internet para la transmisión de datos. Este enfoque de monitoreo también ha sido respaldado por investigaciones que destacan la necesidad de una vigilancia constante para mantener la eficiencia en el cultivo de hongos (Khusnul, 2022).

Es importante destacar que estos resultados son parte de una etapa preliminar enfocada en la recopilación de datos antes de la implementación de un sistema remoto en un servidor web con funciones de control avanzadas. Las mejoras futuras incluyen la integración de un sistema de respaldo para la transmisión de datos en caso de fallos de conexión y la implementación de algoritmos de control más avanzados, como la lógica difusa, para una gestión más precisa de las variables ambientales.

CONCLUSIONES

El sistema de telemetría implementado demuestra ser una herramienta efectiva para el monitoreo y control ambiental en la cámara de fructificación del cultivo de hongos. La recopilación y transmisión de datos en tiempo real permite una gestión precisa y eficiente de las condiciones ambientales, reduciendo el error humano y mejorando la calidad y rendimiento del cultivo. La colaboración entre INTA y UTN ha sido clave en el desarrollo de este sistema, que representa un avance significativo en la automatización del cultivo de hongos.

REFERENCIAS

- Babakhouya, A., Naji, A., Hnini, A., & Daaif, A. (2023). Agricultural IoT technology: An overview of usages, technologies, and challenges. *2023 3rd International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*, Mohammedia, Morocco, 1-8.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10153038>
- Díaz Muñoz, K., Casanova Guajardo, M., León Torres, C. A., Gil Ramírez, L. A., Bardales Vásquez, C. B., & Cabos Sánchez, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre

- diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3), 1177-1184.
DOI: 10.22497/arnaldoa.263.26322.
- Islam, T., Zakaria, Z., Hamidin, N., & Ishak, M. A. B. M. (2016). Optimization of humidifying procedure in controlled environment for indoor cultivation of *Pleurotus pulmonarius*. *African Journal of Biotechnology*, 15(45), 2578-2586. DOI: 10.5897/AJB2016.15621.
- Kassim, M. R., Mat, I., & Yusoff, I. M. (2019). Applications of Internet of Things in mushroom farm management. *2019 13th International Conference on Sensing Technology (ICST), Sydney, NSW, Australia*, 1-6.
DOI:10.1109/ICST46873.2019.9047702.
- Kathiria, A., Barot, P., Paliwal, M., & Shastri, A. (2023). IoT-assisted mushroom cultivation in agile environment. In: Tiwari, S., Trivedi, M.C., Kolhe, M.L., Singh, B.K. (Eds) *Advances in Data and Information Sciences. ICDIS 2023. Lecture Notes in Networks and Systems: Vol. 796* (pp. 299-308). Springer Nature Singapore. DOI: 10.1007/978-981-99-6906-7_26.
- Kencanawati, I. (2017). The influence of environmental conditions on ecological farming and production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in Kerinci, Indonesia. *The International Journal of Science & Technoledge*, 5(1), 70-73.
<https://www.internationaljournalcorner.com/index.php/theijst/article/view/123420/84582>
- Khusnul, K. (2022). Training and feasibility study of oyster mushroom cultivation at Ganda Mandiri Farmer Group in Sukamanah Village, Ciamis Regency. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, 8(2), 102-106.
DOI:10.22146/jpkkm.50748.
- Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Mokji, M. M., & Zainal Abidin, M. S. (2018). Internet of Things based smart environmental monitoring for mushroom cultivation. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(3), 847-852.
<https://doi.org/10.11591/ijeecs.v10.i3.pp847-852>
- Medina Miranda, M. D., Gutiérrez-Segura, E. E., Gutiérrez Cedillo, J. G., & Balderas Plata, M. A. (2023). Análisis de producción de *Pleurotus ostreatus* desde un enfoque sustentable. En Elia Alejandra Teutli Sequeira y Vanessa González Hinojosa (Eds.), *La esfera de la vida: De la epistemología ambiental a la inter y transdisciplinariedad. Tópicos en Ciencias Ambientales* (pp. 185-216). Editorial Torres Asociados.
https://www.researchgate.net/publication/378309655_ANALISIS_DE_PRODUCCION_DE_PLEUROTUS_OSTREATUS_DESDE_UN_ENFOQUE_SUSTENTABLE
- Rahmat, Rahim, I., Ikbal Putera, M., & Asrul, L. (2020). Growth and production of white oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) by adding coconut water to agricultural waste as a carbon source media. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The 2nd International*

Conference of Interdisciplinary Research on Green Environmental Approach for Sustainable Development, Gedung Pasca Sarjana, Indonesia, 575, Article Number 012090. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012090>

- Sánchez, J. E., & Royse, D. J. (2001). *La biología y el cultivo de Pleurotus spp.* Uteha (Noriega Editores) & Ecosur.
https://www.researchgate.net/publication/256526787_Book_La_biologia_y_el_cultivo_de_Pleurotus_spp
- Seetha Rama, V. (2021). Precision agriculture using IoT. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9, 122-127. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2021.36255>
- Vijayan, B., Haleem, A., Irbaz, A., Rehman, F., & Pasha, F. (2024). Wireless networking: Smart agriculture. *Journal of Computer Science and Policy Integration*, 3(1), 1-8.
<https://doi.org/10.46610/jcspic.2024.v03i01.005>

* * * * *

EVALUACIÓN DE LA DIFUSIÓN DE ARSÉNICO EN ZANAHORIAS: IMPACTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE COCCIÓN

Oscar Daniel Galvez¹; Mariela Beatriz Maldonado²; María Cristina Vargas²; Juan Ignacio González Pacheco²

¹Depto. Materias Básicas, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional / licdanielgalvez@yahoo.com.ar.

²Depto. Ingeniería Química, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional /
marielabeatriz1972@yahoo.com.ar
coropel@yahoo.com.ar
jngonzalez534@gmail.com

Resumen: Este trabajo analiza la difusión de arsénico en zanahorias cocidas en soluciones arsenicales a diferentes temperaturas y tiempos de cocción, un tema relevante para la salud pública en regiones afectadas por la contaminación del agua con arsénico. El estudio se llevó a cabo utilizando zanahorias híbridas del tipo Nantesa, cocidas en una solución de arsénico de 5 mgL^{-1} a temperaturas de 89°C , 94°C y 99°C , con tiempos de cocción que variaron entre 30 y 240 minutos. Se tomaron muestras en distintos intervalos y se analizó la concentración de arsénico mediante espectrofotometría de absorción atómica. El modelo matemático utilizado fue el de un cilindro homogéneo semi-infinito, basado en la segunda ley de Fick. Los resultados mostraron que la difusión del arsénico aumenta con la temperatura. A medida que la cocción progresa, la concentración de arsénico disminuye desde la epidermis hacia el centro de la zanahoria. Los coeficientes efectivos de difusión calculados para la pulpa de zanahoria variaron con la temperatura y fueron consistentes con estudios previos. Para la región superior de la zanahoria, los coeficientes obtenidos fueron de $6.83\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 89°C , $8.24\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 94°C y $4.72\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 99°C . En la región media, los valores fueron de $9.76\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 89°C , $6.36\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 94°C y $2.47\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 99°C . Para la región inferior, se obtuvieron $1.25\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 89°C , $7.38\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 94°C y $2.79\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 99°C . El estudio concluye que la temperatura es un factor determinante en la difusión del arsénico en las zanahorias, con implicaciones para la seguridad alimentaria en zonas contaminadas.

Palabras claves: Zanahoria, arsénico, coeficientes de difusión, transferencia de materia, modelo cilíndrico.

INTRODUCCIÓN

El problema asociado con la preparación de alimentos en zonas afectadas por la presencia de arsénico en el agua aún no ha sido adecuadamente estudiado. Por ello, es crucial investigar la difusión del arsénico en zanahorias, dado que este elemento altamente tóxico podría concentrarse durante el proceso de cocción. Esto genera preocupación debido a los posibles efectos adversos que el arsénico podría tener sobre la salud pública.

El arsénico (As) es un elemento natural presente en formaciones geológicas y suelos, que llega a las aguas subterráneas a través de procesos como la disolución y lixiviación. Además, las actividades industriales han contribuido a aumentar sus concentraciones en diferentes regiones, superando en algunos casos los niveles permitidos en el agua potable establecidos por las normativas. Este elemento entra en la cadena alimentaria principalmente a través del consumo y la cocción en agua contaminada con altos niveles de arsénico, la absorción por cultivos regados con dicha agua, y la ingesta de organismos marinos (RSA-CONICET, 2018; Marchetti et al., 2021; Smedley & Kinniburgh, 2002).

La transferencia de masa de pequeñas moléculas y solutos en sistemas alimentarios ocurre mediante varios mecanismos, destacando la difusión molecular como el proceso principal de transporte. El modelo que describe la difusión es el más adecuado para comprender el movimiento de agua y la dispersión de pequeñas moléculas y solutos en alimentos, ofreciendo resultados valiosos para la ingeniería y los procesos tecnológicos (Cussler, 2009; Saravacos & Maroulis, 2001; Tijskens et al., 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon zanahorias bienales híbridas del tipo varietal Nantesa obtenidas de un productor de zanahoria de Mendoza, Argentina. Se trabajó con tres niveles de temperatura de 89°C, 94°C y 99°C y tiempos de cocción de 240, 60 y 30 minutos respectivamente, a la concentración de arsénico de 5 mgL⁻¹. Se cocinaron las zanahorias enteras con su epidermis a las distintas temperaturas en un baño termostatzado marca Technicon, modelo Autoanalyzer II con agitación a 1150 rpm. El tiempo de cocción o duración del ensayo a esas temperaturas se determinó en función de un determinado valor de grado de terneza en las tres regiones superior, medio e inferior. El valor

objetivo fue igual o menor a $3,0 \text{ kg.m}^{-2}$ (Galvez et. al., 2018). La solución de As para la cocción de las zanahorias se preparó a partir de una solución stock de 1000 mgL^{-1} de arsénico, que contenía 1,320 g de trióxido de diarsénico, As_2O_3 (Anedra, grado analítico) y 4,000 g de NaOH, luego se diluyó con agua destilada (resistividad 100 mOhms) hasta 1 L (Rice et al., 2012). En cada ensayo se usaron 15 zanahorias y por cada zanahoria se obtuvieron 9 muestras para posterior determinación de arsénico total. La cantidad de arsénico total en la zanahoria se evaluó en función de la temperatura de cocción de las zanahorias en el baño termostatzado, manteniendo la concentración de la solución arsenical constante. Se extrajeron tres (3) zanahorias (triplicado) en cada intervalo de tiempo, a las zanahorias se les realizó una serie de cortes para obtener las muestras en función de la altura del corte (longitud de la zanahoria) y distancia radial de la muestra (Galvez et. al., 2019, 2024). Previo a las determinaciones de arsénico se realizó una mineralización ácida a las muestras sólidas de zanahoria, para luego medir la cantidad de arsénico total en espectrofotómetro de absorción atómica Unicam 929, empleando método normalizado 3114.C, generación continua de hidruro/espectrometría de absorción atómica (Rice et al., 2012). Previo a la inmersión de las zanahorias en solución de arsénico se recubrieron los extremos con revestimiento impermeable al agua (pintura asfáltica), para evitar transferencia longitudinal de soluto durante la cocción.

1.1 Modelo matemático: cilindro sólido semi-infinito. Estado no estacionario

Se realizó una aproximación del modelo cilíndrico sólido semi-infinito considerando al cuerpo geométrico homogéneo en su totalidad, sin discriminar las partes morfológicas de la zanahoria. El cilindro considerado estuvo compuesto por pulpa en su totalidad. El modelo matemático aplicado en esta investigación fue extraído de (Crank, 1975). La zanahoria cuenta con una concentración inicial de arsénico y su superficie estuvo expuesta a una concentración de solución arsenical constante, C_s .

El modelo cilíndrico se basó en los siguientes supuestos:

1. La difusión molecular es el único mecanismo de transporte dentro del sólido, de manera que se desprecia transporte convectivo ($v_x=v_y=v_z=0$).

2. La difusión se considera sin generación de sustancias por reacción química.
3. La pulpa de la zanahoria es homogénea e isotrópica con concentración inicial (C_i) uniforme.
4. La difusión molecular es unidireccional.
5. La epidermis adquiere instantáneamente la concentración de la solución arsenical en el momento de inmersión de las zanahorias en la misma, debido a la gran agitación (1150 rpm) del líquido rodeando las superficies (elevado número de Biot) (Ecuación 1).

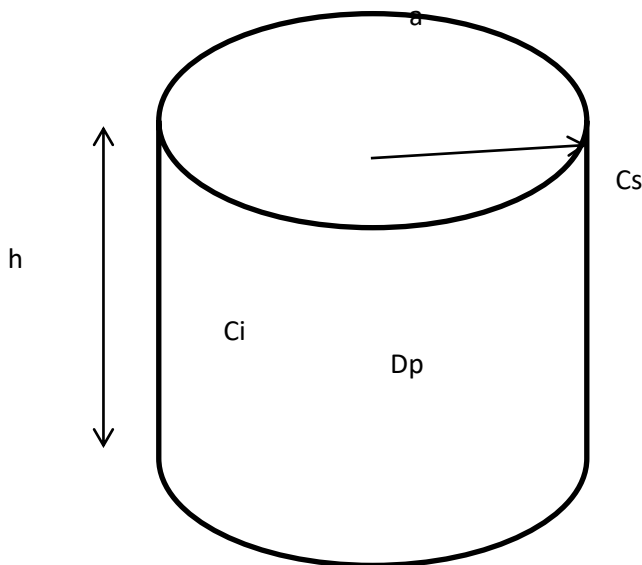
$$C_i(x_i, t) = C_{i(x_{sup})} = C_{soluc} ; t > 0 \quad (1)$$

6. Se considera proceso isotérmico.

En Figura 1 se muestra el modelo cilíndrico para la muestra región superior.

Figura 1

Modelo cilíndrico homogéneo.



Donde:

- Cs: concentración de arsénico en la superficie externa de la zanahoria en $\mu\text{g/g As}$.
- Ci: concentración inicial de arsénico promedio en $\mu\text{g As/g}$ de zanahoria, valor hallado de las muestras obtenidas de 27 zanahorias.
- Dp: coeficiente de difusión de pulpa en m^2s^{-1} .
- a: radio de pulpa de la región superior en m.
- h: altura de las porciones superior, medio e inferior en m.

Aplicando la segunda ley de Fick para un gradiente de concentración en una sola dirección, la variación de la concentración en el tiempo se puede calcular con la siguiente Ecuación 2 en coordenadas cilíndricas:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_p \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (2)$$

La cual describe los cambios de la concentración con las variables temporal t y espacial r. Donde Dp es el coeficiente de difusión de la pulpa asumido constante durante el proceso. La Ecuación 2 está sujeta a las siguientes condiciones inicial y de frontera (Ecuación 3):

$$\text{CI: } C = C_i; 0 \leq r \leq 1; t = 0 \quad (3)$$

$$\text{CF: } C = C_s; r = a; t > 0$$

La solución general de la Ecuación 2 con la condición inicial y de frontera de la Ecuación 3 está dada por la Ecuación 4:

$$C = C_s + (C_i - C_s) \frac{2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-D_p \alpha_n^2 t}}{\alpha_n} \frac{J_0(r \alpha_n)}{J_1(a \alpha_n)} \quad (4)$$

Donde los valores propios, α_n son las raíces positivas de $J_0(a, \alpha_n) = 0$

La concentración volumétrica promedio de la Ecuación 4 está dada por la ecuación 5:

$$\langle C \rangle = \frac{2}{a^2} \int_0^a r C dr \quad (5)$$

Resolviendo la integral de la Ecuación 5, obtenemos la Ecuación 6:

$$\langle C \rangle = C_s + \frac{4}{a^2} (C_i - C_s) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-D_p \alpha_n^2 t}}{\alpha_n^2} \quad (6)$$

Para tiempos de proceso largos $t \gg 0$, podemos descartar los términos mayores que 1 de la serie infinita y, por lo tanto, es posible trabajar con el primer término. Así resulta la Ecuación 7:

$$\langle C \rangle = C_s + \frac{4}{a^2} (C_i - C_s) \frac{e^{-D_p \alpha_n^2 t}}{\alpha_n^2} \quad (7)$$

Realizando un cambio de variables, $\beta_n = \alpha_n \cdot a$, obtenemos la Ecuación 8:

$$\langle C \rangle = C_s + 4(C_i - C_s) \frac{e^{-\frac{\beta_n^2 D_p t}{a^2}}}{\beta_n^2} \quad (8)$$

Los valores de los coeficientes de difusión promedio y los valores propios se calcularon de la Ecuación 8 con los datos experimentales volumétricos de concentración de arsénico y radio promedio de la región superior, medio e inferior en cada intervalo de tiempo, utilizando el método de Mínimos Cuadrados, que minimiza la Ecuación 9:

$$S = \sum_{i=1}^N \left(\tilde{C}_{i-\text{exp.}} - \tilde{C}_{i-\text{calc.}} \right)^2 \quad (9)$$

Donde:

- $\tilde{C}_{i-\text{exp.}}$: es la concentración volumétrica experimental.
- $\tilde{C}_{i-\text{calc.}}$: es la concentración volumétrica estimada.

La Ecuación 9 es una función no lineal del coeficiente de difusión efectivo de la pulpa de zanahoria y los valores propios, para ello, se utilizó el método de regresión no lineal de GraphPad Prism 8.0.1 para calcular el valor de la difusividad de la pulpa utilizando la Ecuación 8.

Limitaciones del método usado

- Se considera a la pulpa como isotrópica y homogénea, cuando en realidad tienen configuraciones morfológicas distintas. A fin de resolver el modelo difusional en la varias publicaciones consultadas (da Silva et al., 2018; Kian-Pour, 2023; Maldonado et. al., 2008; Maldonado, 2011; Maldonado et. al., 2003; Pereira da Silva et al., 2009) se utiliza la resolución de la 2° ley de Fick que determina un coeficiente de difusión D_p para la pulpa.
- Se aplica a un determinado rango de temperatura y concentración de arsénico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un control del experimento midiendo la concentración de arsénico en zanahorias crudas, sin someterlas a cocción, para determinar su contenido inicial. Los datos obtenidos corresponden al promedio de tres repeticiones, expresados en microgramos de arsénico total por gramo de zanahoria ($\mu\text{g As/g zanahoria}$). A los valores experimentales se les restó la cantidad inicial de arsénico presente. El contenido inicial arsénico fue de $0,127 \mu\text{g/g}$ de zanahoria, que corresponde al promedio de 243 muestras, obtenidas de 27 zanahorias crudas analizadas antes de comenzar los experimentos (9 muestras por zanahoria).

Perfiles de concentración de arsénico

En las Figuras 2, 3 y 4 se presentan los perfiles de concentración de arsénico de las regiones inferiores, obtenidos durante la cocción de zanahorias a las temperaturas de 89°C , 94°C y 99°C en solución

arsenical de 5 mgL^{-1} . Las distancias consignadas representan el punto medio de los cortes, medidos desde el centro de la zanahoria hacia la epidermis.

Figura 2

Concentración de arsénico versus tiempos de cocción para cada distancia media desde centro de zanahoria a epidermis en región inferior. Ensayo a 99°C en solución $\text{As } 5 \text{ mgL}^{-1}$

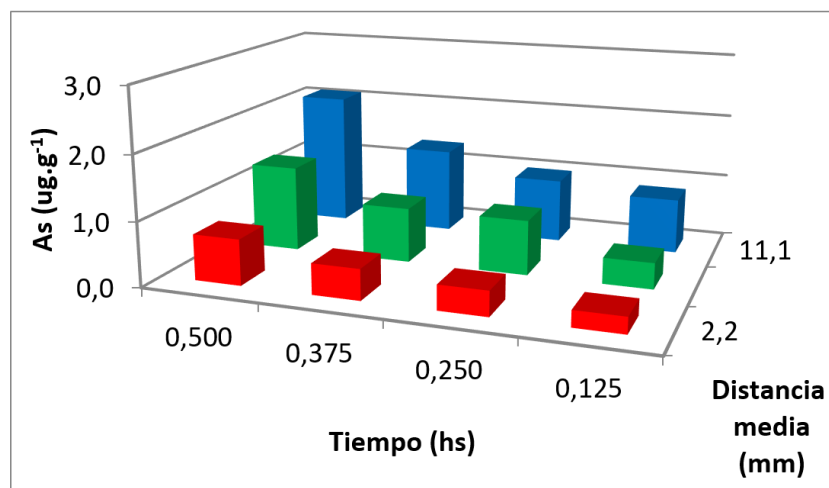


Figura 3

Concentración de arsénico versus tiempos de cocción para cada distancia media desde centro de zanahoria a epidermis en región inferior. Ensayo a 94°C en solución As 5 mgL⁻¹

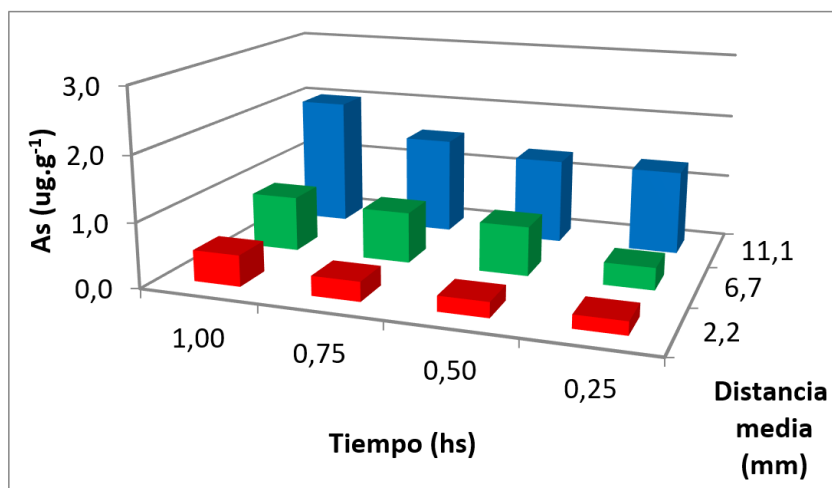
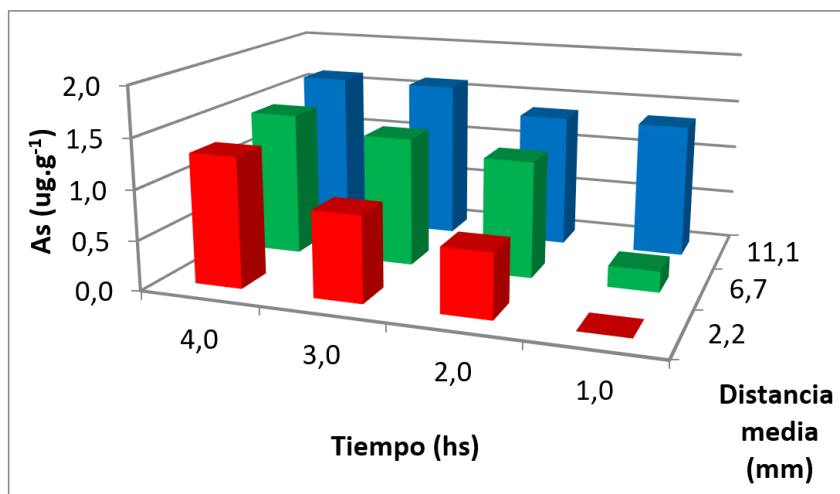


Figura 4

Concentración de arsénico versus tiempos de cocción para cada distancia media desde centro de zanahoria a epidermis en región inferior. Ensayo a 89°C en solución As 5 mgL⁻¹



En las Figuras 2, 3 y 4 se observó que la concentración de arsénico disminuyó a medida que se desplazó desde la epidermis hasta el centro de la zanahoria. Esto ocurrió en cada intervalo de muestreo y en todos los ensayos a diferentes temperaturas. Además, las figuras mostraron que, a medida que transcurría el tiempo, ingresaba más arsénico en la zanahoria. En estos ensayos también se pudieron observar que en general, las cantidades de arsénico en la zanahoria para las distintas distancias radiales (d1, d2 y d3) son mayores a medida que aumenta la concentración de arsénico en la solución de cocción. En estos experimentos se nota, en términos generales, que a medida que la temperatura aumenta, las concentraciones en las diferentes distancias e intervalos de muestreo tienden a ser mayores. Además, la concentración tiende a acercarse a valores similares a los de la solución original.

Al disminuir la temperatura decrecen las colisiones intermoleculares y disminuye la fuerza impulsora en el proceso fenomenológico de ingreso

de arsénico en la matriz de la zanahoria, con lo cual es de esperar que los tenores de arsénico decrezcan con la disminución de temperatura, sin embargo, al ser la zanahoria un material biológico fue difícil determinar a priori la difusión de arsénico dentro de la matriz, por lo tanto, se eligió como método de referencia el grado de terneza como punto final del ensayo. Al establecer el grado de terneza en la zanahoria nos permitió asumir igualdad de condiciones finales de cocción (Galvez et. al., 2018). Esto hizo que los tiempos de cocción de los ensayos a distintas temperaturas variaran en duración, haciendo que la concentración de arsénico en el primer intervalo de muestreo en la distancia media 2,2 mm fuera en el ensayo 1; con una duración de 7,5 minutos; de 0,252 $\mu\text{g/g}$ As a 99°C, de 0,203 $\mu\text{g/g}$ As a los 15 minutos y temperatura de 94°C; ensayo cuya duración fue de 60 minutos; y de 0,000 $\mu\text{g/g}$ As en ensayo 3 a 89°C a los 60 minutos. Al disminuir la temperatura decrecieron la fuerza impulsora y el grado de avance del As en el interior de la zanahoria. Sin embargo, al término de cada ensayo en la misma distancia media, en ensayo a 99°C se obtuvo una cantidad de 0,710 $\mu\text{g/g}$ As, de decayó a 0,480 $\mu\text{g/g}$ As a 94°C, aunque aumentó a 1,306 $\mu\text{g/g}$ As en el ensayo a 89°C, casi el doble de cantidad que lo obtenido en ensayo 1, esto podría deberse al tiempo de duración de este último ensayo que fue 8 veces mayor respecto del ensayo a 99°C, donde el arsénico tuvo mayor cantidad de tiempo para difundirse lentamente en la zanahoria. Situaciones similares se observaron en otras distancias medias y regiones de corte.

Se calcularon las concentraciones y distancias adimensionales. Las distancias se calcularon usando el Teorema del Punto Medio, ajustado a una función lineal a los datos experimentales. Las distancias adimensionales representan el punto medio de cada región de corte, medido desde el centro hacia la superficie de la zanahoria.

Los datos experimentales expresados como concentraciones y distancias adimensionales de las regiones inferiores de los ensayos, se presentan en las Figuras 5, 6 y 7 para solución arsenical de 5 mgL^{-1} a las temperaturas de 89°C, 94°C y 99°C. En todos los casos se consideró como tiempo inicial al momento de colocar las zanahorias en las soluciones de tratamiento.

Figura 5

Concentración adimensional de arsénico versus distancia adimensional desde el centro de la zanahoria. Tratamiento con solución arsenical de 5 mgL^{-1} a 89°C .

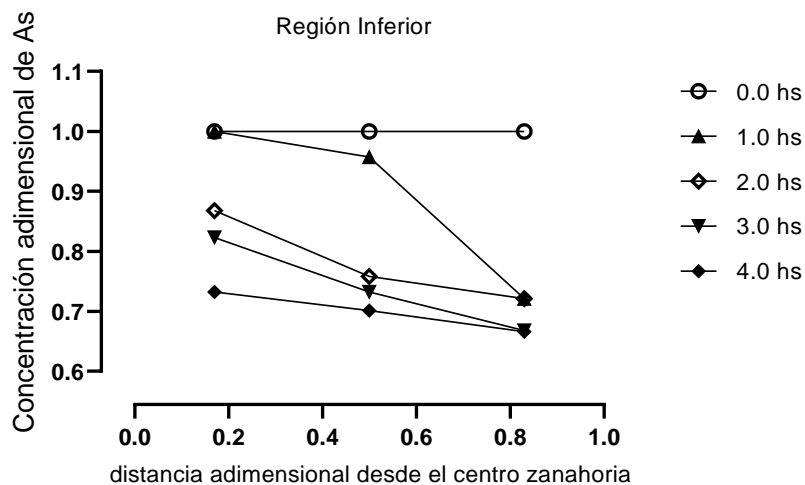


Figura 6

Concentración adimensional de arsénico versus distancia adimensional desde el centro de la zanahoria. Tratamiento con solución arsenical de 5 mgL^{-1} a 94°C .

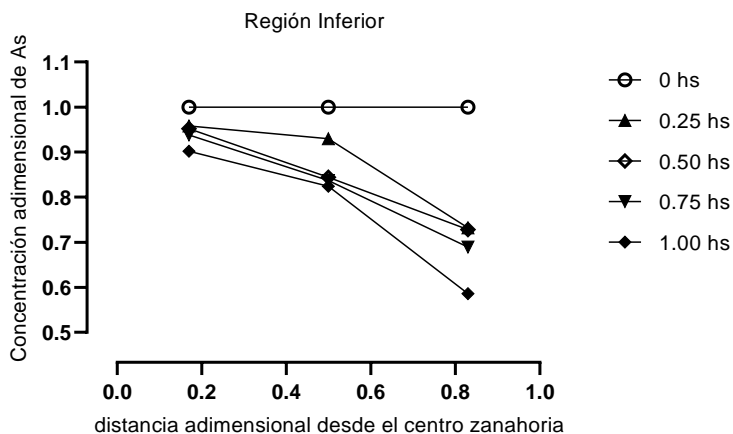
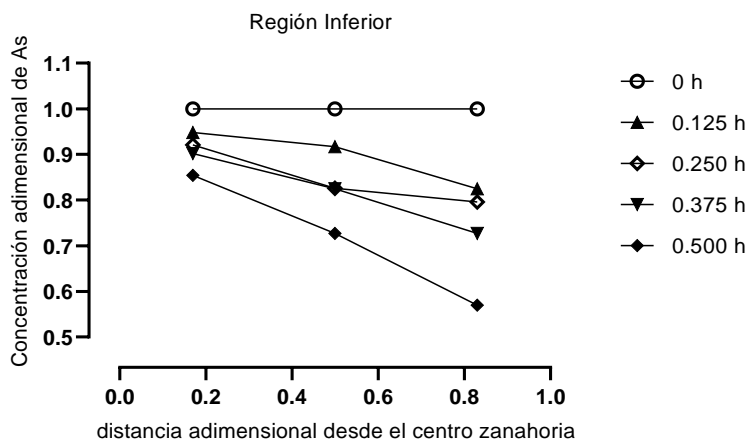


Figura 7

Concentración adimensional de arsénico versus distancia adimensional desde el centro de la zanahoria. Tratamiento con solución arsenical de 5 mgL^{-1} a 99°C .



También en estos casos, las Figuras 5, 6 y 7 muestran claramente que un incremento de temperatura aumenta la tasa de difusión del arsénico dentro de la pulpa de las zanahorias, por ejemplo, a la distancia adimensional $X = 0,126$, la concentración adimensional (C) disminuyó desde 1,000 hasta 0,964 en 11,25 hora a 15°C; hasta 0,953 en 6,00 horas a 20°C y hasta 0,945 en 4,00 horas a 25°C

También en estos casos, las figuras 5, 6 y 7 muestran que con el aumento en el tiempo de cocción en los ensayos se observaran situaciones similares al de los perfiles de concentración, por ejemplo en la región inferior la distancia adimensional igual 0,83, la concentración adimensional disminuyó desde 1,000 hasta 0,721 en 2,0 horas a 89°C; hasta 0,728 en 0,50 horas a 94°C y 0,796 en 0,250 horas a 99°C, mientras que para la distancia adimensional de 0,17 los valores de las concentraciones adimensionales fueron respectivamente de 0,868; 0,952 y 0,921.

Las concentraciones volumétricas promedio, $\langle C \rangle$, se obtuvieron sumando las correspondientes tres concentraciones puntuales para cada intervalo de tiempo. Estos valores se correlacionaron con la Ecuación 6. Los resultados de los ajustes para las tres regiones se muestran en las Figuras 8, 9 y 10 para los tratamientos con solución arsenical de 5 mgL⁻¹ a las temperaturas de 89°C, 94°C y 99°C.

Figura 8

Datos experimentales versus concentraciones adimensionales promedio de arsénico ($\langle C \rangle$) calculadas para tratamientos con solución arsenical 5 mgL^{-1} a 89°C .

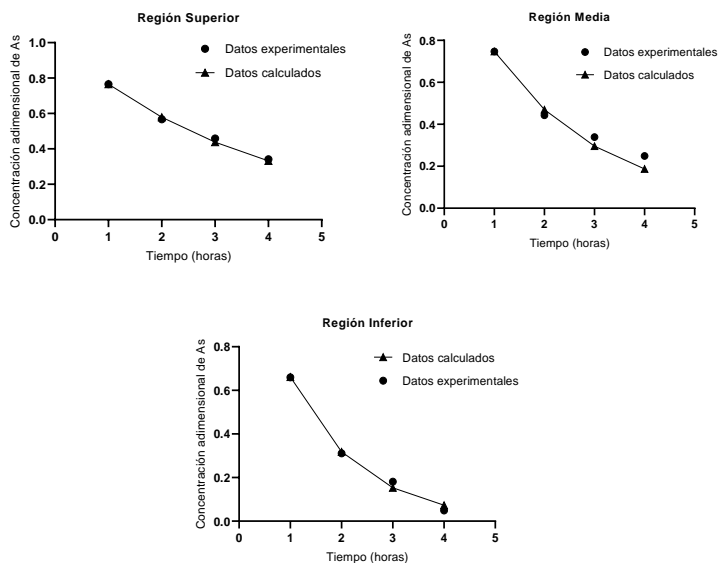


Figura 9

Datos experimentales versus concentraciones adimensionales promedio de arsénico ($\langle C \rangle$) calculadas para tratamientos con solución arsenical 5 mgL⁻¹ a 94°C.

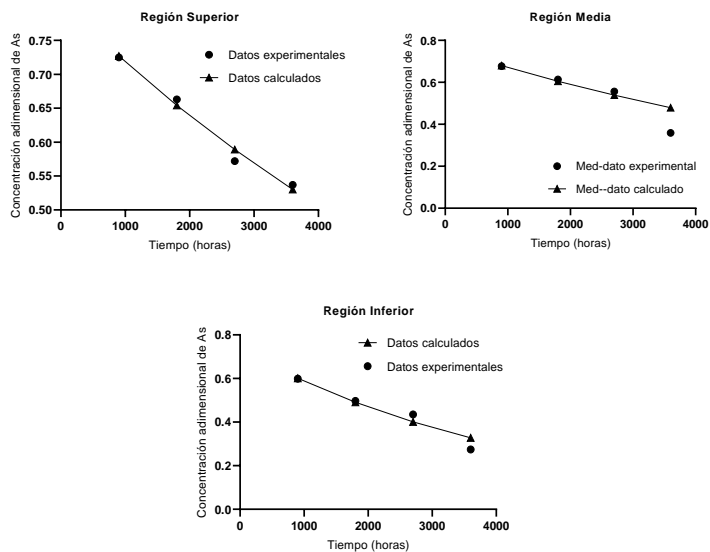
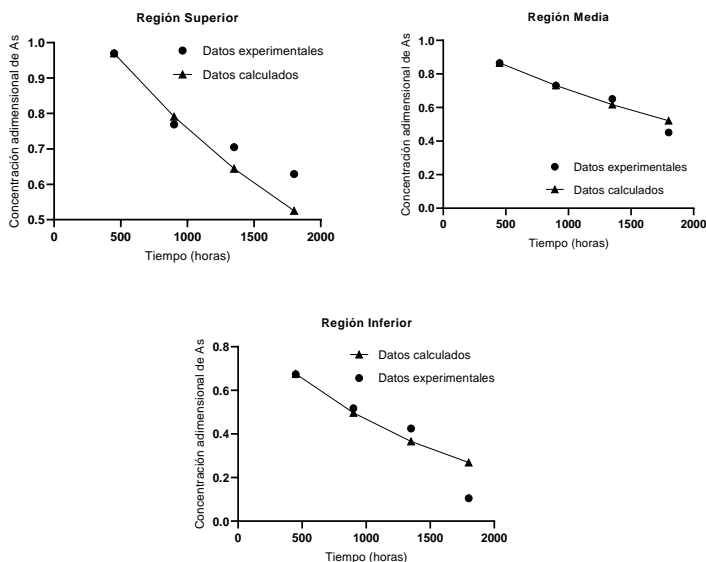


Figura 10

Datos experimentales versus concentraciones adimensionales promedio de arsénico ($\langle C \rangle$) calculadas para tratamientos con solución arsenical 5 mgL^{-1} a 99°C .



Los coeficientes efectivos de difusión de la pulpa (D_p), calculados con la Ecuación 6 se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Coefficientes de Difusión de arsénico de la pulpa (D_p) en función de la temperatura para concentración de arsénico 5 mgL^{-1} . Modelo cilindro homogéneo.

Región	89°C		94°C		99°C	
	$D_p \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$	r^2	$D_p \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$	r^2	$D_p \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$	r^2
Superior	6,83E-09	0,997	8,24E-09	0,986	4,72E-08	0,975
Medio	9,76E-09	0,989	6,36E-09	0,967	2,47E-08	0,982
Inferior	1,25E-08	0,998	7,38E-09	0,962	2,79E-08	0,925

Del análisis de Tabla 1 se observó que los valores de D_p aumentaron al incrementar la temperatura a una solución arsenical de 5 mgL^{-1} constante, durante la cocción de las zanahorias. Se observó que al aumentar el gradiente térmico aumentó la velocidad de avance de las moléculas de arsénico, lo cual también fue corroborado por Maldonado et al. (2003). Los valores hallados de difusividad de arsénico en zanahoria estuvieron en el orden de $6,36\text{E-}09$ a $4,72\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, estos fueron consistente con lo hallado por Melquíades, López & Rosas (2009), en procesos de hidratación o rehidratación con agua destilada en zanahorias peladas y cortadas en placas entre $3,46\text{E-}10$ a $4,59\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ en el rango de temperaturas entre $40\text{-}80^\circ\text{C}$ (Melquíades, López & Rosas, 2009).

Por su parte, Zambrano Zaragoza, Rodríguez & Álvarez (2007) reportó coeficientes de difusión de agua entre $6,11\text{E-}09$ a $3,18\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a temperaturas entre $50\text{-}93^\circ\text{C}$ para zanahorias liofilizadas y rehidratadas con agua y soluciones de cloruro sódico y ácido ascórbico. Della Rocca et al. (2014) hallaron un valor del coeficiente de difusión efectiva del agua de $1,57\text{E-}9 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ por Osmodehidrocongelación, deshidratando las zanahorias en inmersión de soluciones de sacarosa y cloruro sódico (Della Rocca et al., 2014; Zambrano Zaragoza, Rodríguez & Álvarez, 2007). También, Amami et al., (2014), calculó los coeficientes efectivos de difusividad de agua (D_w) y sacarosa (D_{es}), estudiando el efecto para cinco velocidades diferentes de agitación (0, 250, 500, 1000, 1500 rpm) en rodajas de plátano, manzana y zanahoria en una concentración fija de azúcar (65% p/p), a una temperatura fija (25°C), los valores hallados fueron para D_w de $14,50\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a $Re=0$ y $15,50\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a $Re=252$ y para D_{es} de $9,65\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a $Re=0$ y $10,90\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a $Re=252$ (Amami et. al., 2014). Esos valores son consistentes con los hallados en este trabajo.

También los coeficientes de difusión reportados en la Tabla 1 son consistentes con Saravacos y Maroulis (2001) quienes hallaron valores típicos de difusividad de humedad de varios productos alimenticios a distintas temperatura, entre ellos para zanahoria: $2,00\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 30°C , de $2,20\text{E-}12$ a $7,46\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ para 20°C y 100°C (Saravacos & Maroulis, 2001). Por su parte esto valores son menores que los hallados por Matusek & Merész (2002) para difusión de azúcares en zanahorias, cuyos valores fueron del orden de $10\text{-}11 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ lo cual es consistente dado que la masa molecular de los azucars es mucho mayor que la del arsénico (Matusek & Merész, 2002).

CONCLUSIONES

Se cuantificó el fenómeno de difusión en la zanahoria a las temperaturas de 89°C, 94°C y 99°C a la concentración arsenical constante de 5 mgL⁻¹. Los coeficientes efectivos promedios de difusión variaron con las temperaturas y los valores hallados para las regiones superior, medio e inferior fueron de 6,83E-09; 9,76E-09 y 1,25E-08 m²s⁻¹ para la temperatura de 89°C; 8,24E-09; 6,36E-09 y 7,38E-09 m²s⁻¹ para 94°C y de 4,72E-08; 2,47E-08 y 2,79E-08 m²s⁻¹ para temperatura de 99°C.

Se observó una correspondencia de las concentraciones de arsénico con la distancia radial y avance de penetración de la solución arsenical en el tejido de la zanahoria y la altura del corte realizado en la muestra. En las tres regiones; superior; media e inferior se observaron comportamientos similares donde el contenido de arsénico descendió desde la periferia hacia el centro de la zanahoria, consistente con los datos de los coeficientes de difusión calculados, donde el coeficiente efectivo de difusión en la región central fue menor que la distancia radial hacia afuera de la zanahoria.

REFERENCIAS

- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A. B., & Vorobiev, E. (2014). Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* 26(1), 93-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2012.10.002>
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion* (2d ed.). Clarendon Press.
- Cussler, E. L. (2009). *Diffusion. Mass transfer in fluid systems* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- da Silva, W. P., Nunes, J. S., Gomes, J. P., de Araújo, A. C. & eSilva, C. M. D. P. S. (2018). Description of jambolan (*Syzygium cumini* (L.)) anthocyanin extraction kinetics at different stirring frequencies of the medium using diffusion models. *Heat Mass Transfer* 54, 3275-3285. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2349-8>
- Della Rocca, P., Roche, L., Languasco, J., & Mascheroni, R. (2014). Modelado de la Cinética de Conservación de Zanahoria (*Daucus Carota*) por Osmodehidrocongelación. *Revista Tecnología y Ciencia*, 12(24), 141-159. <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/497/404>
- Galvez, O. D., Maldonado, M. B., Affranchino, G., & Perez, R. C. (2018, octubre 24-26). *Resultados parciales en estudios de difusión de arsénico en Daucus carota sp.* [Conference presentation]. 1º Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Procesos y Productos y 3º Congreso de Ingeniería de Procesos y Productos, Resistencia, Chaco, Argentina.

- Galvez, O. D., Affranchino, G., Maldonado, M. B. & Perez, R. C. (2019). Estudio de la Difusión de arsénico en *Daucus carota* L. Evolución Temporal de la concentración. *Libro de Actas X Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería (ENIDI)*, Mendoza, Argentina, 19-25. [http://ingenium.frm.utn.edu.ar/docs/X%20EnIDI%202019%20\(actas-proceedings\)/Proceeding-Actas%20X%20EnIDI-2019.pdf](http://ingenium.frm.utn.edu.ar/docs/X%20EnIDI%202019%20(actas-proceedings)/Proceeding-Actas%20X%20EnIDI-2019.pdf).
- Galvez, O. D., Maldonado, M. B., Vargas, M. C., Affranchino, G., & González Pacheco, J. I. (2024). Estimation of diffusion coefficients during carrots cooking in arsenious solution at different temperatures. *Heliyon*, 10(2). Article Number e24285. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24285>
- RSA-CONICET (2018). *Arsénico en agua. Informe Final*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. <https://rsa.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2018/08/Informe-Arsenico-en-agua-RSA.pdf>
- Kian-Pour, N. (2023). Effect of Biopolymer Dip-Coating Pretreatments as a Non-Thermal Green Technology on Physicochemical Characteristics, Drying, and Rehydration Kinetics of Santa Maria Pears. *Foods* 12(13), Article Number 2466. <https://doi.org/10.3390/foods12132466>
- Maldonado, M., Zuritz, C. A., & Assof, M. V. (2008). Diffusion of glucose and sodium chloride in green olives during curing as affected by lye treatment. *Journal of food engineering*, 84(2), 224-230. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.033>
- Maldonado, M. B. (2011). *El desamarizado. Difusión de sodio durante el desamarizado de aceitunas verdes de mesa*. EAE Editorial Academia Espanola.
- Maldonado, M. B., Gascón, A. D., Zuritz, C. A. & Rey García, D. (2003). Difusión de sodio en aceitunas verdes durante el tratamiento alcalino. I: Efecto de la concentración de la lejía. *Grasas y Aceites*, 54(4), 358-364. <https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/221/221>
- Marchetti, M. D., Tomac, A., & Perez, S. (2021). Perfil de riesgo para la inocuidad de alimentos: presencia de arsénico en Argentina. *Revista Argentina de Salud Pública*, 13, Article Number e47. Recuperado a partir de <https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/article/view/650>
- Matusek, A., & Merész, P. (2002). Modelling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* 46(1-2), 83-92. <https://pp.bme.hu/ch/article/view/273/167>
- Melquíades, Y. I., López, C., & Rosas, M. E. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas. *Información tecnológica*, 20(3), 65-72. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n3/art09.pdf>
- Pereira da Silva, W., Precker, J. W., e Silva, C. M. D. P. S. & e Silva, D. D. P. S. (2009). Determination of the effective diffusivity via minimization of the objective function by scanning: application to drying of cowpea. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 298-304. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.05.008

- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22th ed.). American Public Health Association.
- Saravacos, G. D., & Maroulis, Z. B. (2001). *Transport properties of foods*. CRC Press.
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied geochemistry*, 17(5), 517-568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Tijsskens, L. M. M., Hertog, M. L. A. T. M. & Nicolaï, B. M. (2001). *Food process modelling*. Woodhead Publishing Ltd..
- Zambrano Zaragoza, M. L., Rodríguez, D. B., & Álvarez, A. (2007). Estudio cinético y de superficie de respuesta para la rehidratación de zanahorias (*Daucus carota*) liofilizadas. *Información tecnológica*, 18(4), 47-56. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n4/art08.pdf>

* * * * *

ANEMÓMETRO PARA MEDIR VELOCIDAD DE FLUIDOS BASADO EN ARDUINO

Tatiana Duran^{1*}; Facundo Olea¹; Rodolfo Dematte^{1, 2}; Josefina Huespe¹
y Raúl Pérez¹

¹ Unidad Investigativa: Epistemología, Lógica y Ciencias Básicas.

Grupo IEMI Grupo orientado a la realización de Investigaciones en Matemática Aplicada a la Ingeniería y Gestión.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza Coronel Rodríguez 273, M5500 Mendoza, Argentina

² Instituto de Energías Naturales y Renovables. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica. UNLaR. Gdor. Luis Vernet & Apóstol Felipe, M5300, La Rioja, Argentina

* andretatiduran@gmail.com

Resumen: Este estudio detalla el diseño y la implementación de un anemómetro para la medición precisa de la velocidad de fluidos, destacando el uso de Arduino y una tarjeta SD como mejoras significativas en el proceso. El dispositivo utiliza componentes electrónicos simples y sensores especializados para capturar con precisión la velocidad del flujo de aire y otros fluidos. El anemómetro se construye en torno a un eje giratorio equipado con hélices que responden al flujo de fluido. Estas hélices están conectadas a sensores ópticos o magnéticos que registran la frecuencia de rotación. El algoritmo de toma de datos, implementado en Arduino, convierte esta frecuencia en velocidad lineal del fluido utilizando ecuaciones físicas derivadas. La inclusión de una tarjeta SD permite almacenar los datos de velocidad para análisis posteriores. La implementación del dispositivo se llevó a cabo en el marco del grupo IEMI, donde se realizan pruebas exhaustivas para evaluar su precisión y fiabilidad. Las pruebas comparan las lecturas del anemómetro con velocidades conocidas y analizan la estabilidad y sensibilidad del dispositivo bajo diferentes condiciones de flujo. Los resultados preliminares destacan la precisión y consistencia de las mediciones del anemómetro, validando tanto el diseño mecánico como el algoritmo implementado en Arduino. Este enfoque no solo mejora la precisión de las mediciones, sino que también facilita su aplicación en diversas áreas como la investigación científica, la monitorización ambiental y la ingeniería industrial.

Palabras claves: Anemómetro; Arduino; Algoritmo; Velocidad de fluidos.

INTRODUCCIÓN

Un anemómetro es un instrumento empleado para la medición de la velocidad del viento y es un instrumento crucial en la medición de la velocidad del aire dentro de un túnel de viento. En estos entornos controlados, se utiliza para obtener datos precisos sobre el flujo de aire y su comportamiento alrededor de los objetos en estudio, como modelos de vehículos, aviones o estructuras arquitectónicas. Los datos recogidos por el anemómetro permiten evaluar la aerodinámica, identificar áreas de alta resistencia y optimizar diseños para mejorar la eficiencia y la estabilidad. Su uso es esencial en la investigación y desarrollo en ingeniería aeroespacial, automotriz, y en la construcción, donde la comprensión detallada del comportamiento del flujo de aire es fundamental. Existen diversos tipos dependiendo del contexto en el que se utilice. Algunos de ellos se presentan a continuación.

Anemómetros rotatorios

Dentro de este tipo de anemómetros podemos encontrar los de cazoleta y de hélice. El principio de medición del anemómetro de cazoleta se basa en la velocidad angular como una función lineal de la velocidad del viento. Aunque este tipo de instrumento tiene una calibración simple y lineal, su respuesta dinámica a las fluctuaciones del viento no es lineal ya que responde más rápido al aumento de la velocidad que a la disminución. El anemómetro de hélice combina una hélice y una veleta, que proporciona tanto la dirección como la velocidad del viento. Si bien su dinámica y calibración se asemeja al anemómetro de cazoleta, el exceso de velocidad resulta menos grave para este tipo de anemómetros (Suomi & Vihma, 2018).

Anemómetros ultrasónicos

Estos anemómetros utilizan frecuencias ultrasónicas y tasas de repetición de pulsos del orden de 50-100 Hz, que luego se promedian en bloques para proporcionar frecuencias de salida de 1-20 Hz. Superan en muchos aspectos a otros instrumentos ya que las velocidades del viento se miden directamente y no hay inercia del anemómetro involucrada en la medición. Las altas frecuencias de medición permiten realizar una buena cobertura de las fluctuaciones turbulentas de todas las escalas. Sin embargo, tienen varias fuentes de error como los transductores que contienen, su alta sensibilidad a los cambios de temperaturas, los problemas que pueden tener en la lluvia y nieve que afectan la propagación de pulsos de sonido y hasta errores internos de los componentes electrónicos (Suomi & Vihma, 2018).

Anemómetros de presión

Se pueden distinguir dos grupos, los anemómetros de placa de presión y los de tubo de presión. Los de placa de presión ya no se utilizan debido a su compleja respuesta dinámica a las fluctuaciones de la velocidad del viento. Pero los de tubo de presión son ampliamente utilizados. El método de medición consiste en tomar la diferencia entre las presiones total y estática, que representa la presión dinámica causada por el viento. Dicha diferencia es proporcional a la velocidad del viento al cuadrado. Sin embargo, la calibración de este anemómetro es compleja debido a la relación no lineal entre la presión de velocidad y el caudal de aire. Además, no es utilizado en la investigación de ráfagas de viento (Suomi & Vihma, 2018).

Anemómetros basados en la tasa de enfriamiento causada por el viento

El principio de medición de estos anemómetros consiste en el efecto de enfriamiento del viento sobre un hilo caliente. Son los más sensibles a las fluctuaciones del viento por lo que pueden proporcionar mediciones de alta precisión. Sin embargo, al ser muy frágiles no pueden ser utilizados para vientos fuertes y mediciones a largo plazo. Además, requieren calibración frecuente ya que son muy sensibles a los cambios de temperatura (Suomi & Vihma, 2018).

Debido a los altos costos y la complejidad asociados con los anemómetros de hilo caliente, así como a la necesidad de almacenar datos específicos sobre la velocidad del viento, se desarrolló un prototipo de bajo costo utilizando componentes electrónicos sencillos y sensores diseñados para este propósito. Este artículo describe el desarrollo de dicho prototipo, desde su construcción hasta su implementación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hardware del prototipo

Para la construcción del prototipo se analizaron varias opciones determinando que Arduino y sus complementos eran los elementos más sencillos y adecuados debido a que es una placa muy versátil y adaptable a distintos fines con la ayuda de una gran variedad de sensores. Los elementos utilizados fueron un sensor óptico y una placa para lectura y escritura de una tarjeta SD. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

Arduino

Arduino es una placa de software libre que contiene un microcontrolador programable y una serie de pines que permiten conectar de forma sencilla, diversos complementos, sensores y placas para distintos fines (Carrillo, 2021, Flores Cortez, 2014). El software programado en el microcontrolador está basado en el lenguaje de programación C, el cual junto con una gran variedad de librerías open source permite controlar los distintos complementos conectados a la placa de Arduino. Para el anemómetro desarrollado se utilizaron placas de Arduino UNO y MEGA (Figura 1) que son las más utilizadas en diversos proyectos y prototipos.

Figura 1

Arduino MEGA



Sensor óptico o encoder

Es un dispositivo que se encarga de transformar el movimiento angular o lineal en pulsos eléctricos que pueden ser interpretados por el controlador de Arduino. Realiza la medición con un haz de luz infrarroja que se ve interrumpido por las ranuras de un disco acoplado a un eje (Ingeniería Mecafenix, 2022). El funcionamiento básico de este sensor

Figura 2
Sensor óptico



Figura 3

Discos ranurados

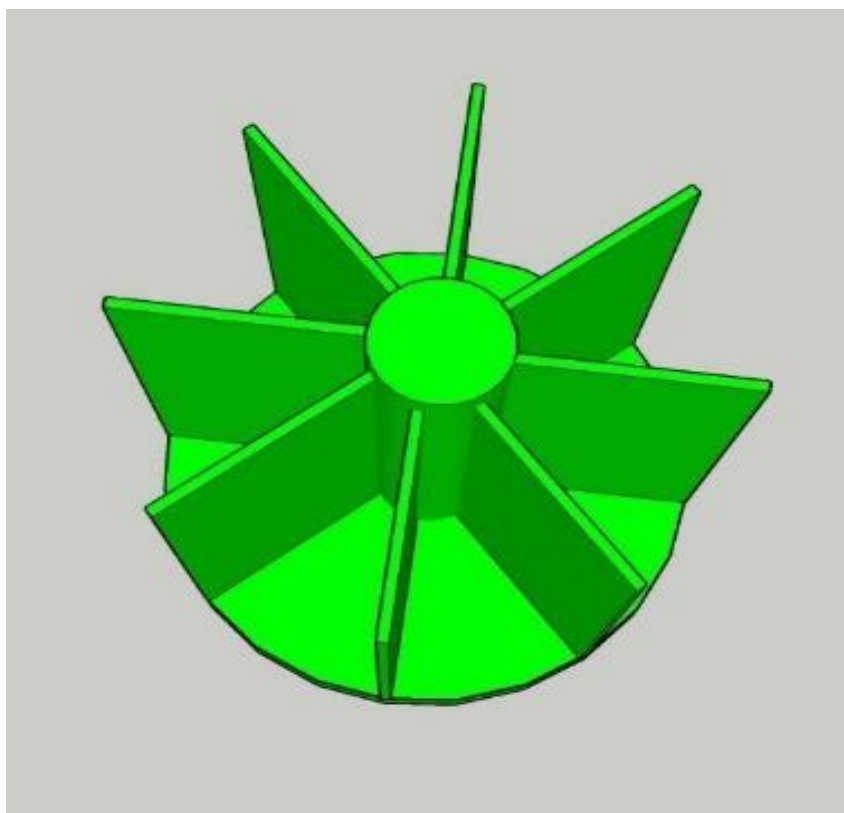


Eje giratorio

El disco ranurado utilizado para la lectura del sensor óptico se unió a un eje giratorio con hélices (Figura 4) que responden al flujo del viento para facilitar las mediciones. Esta estructura toma como base el principio utilizado por los anemómetros rotatorios.

Figura 4

Eje giratorio modelo 3D

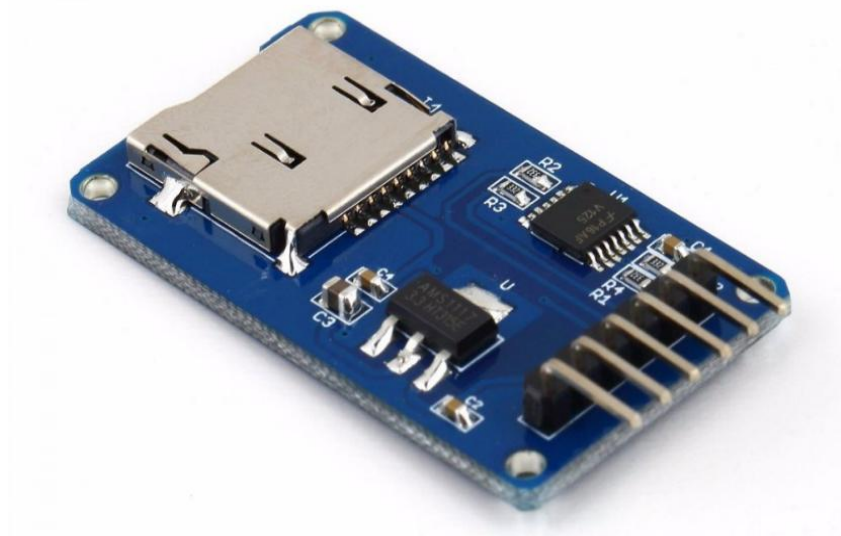


Tarjeta SD y Módulo SD para Arduino

La tarjeta SD es un tipo de memoria de tamaño pequeño pero gran capacidad que permite el almacenamiento de un volumen de datos significativo a los propósitos de este proyecto. El módulo SD para Arduino (Figura 5) es una placa que sirve como complemento para la lectura/escritura de la tarjeta SD. Esta placa se conecta al Arduino el cual se configura para que grabe y lea archivos en la tarjeta SD (Flores Cortez, 2014).

Figura 5

Módulo SD para Arduino



RESULTADOS

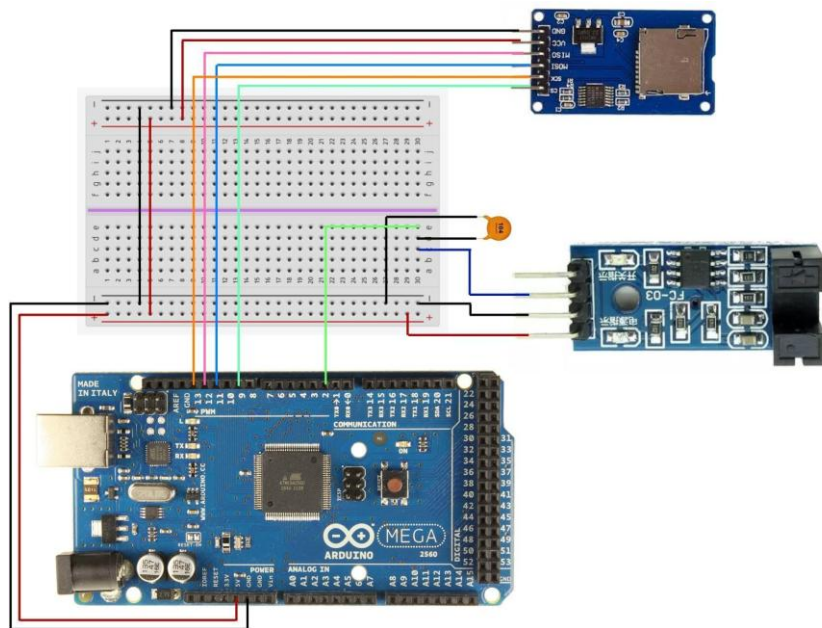
Diagrama de conexión

Como se mencionó anteriormente, Arduino cuenta con una gran cantidad de pines. A través de ellos se realizó la conexión entre Arduino, el sensor óptico y el módulo SD. Debido a que cada complemento necesita energía, cada uno se conecta a un pin de salida de 5V y uno de GND. El sensor óptico cuenta con un pin de señal digital de pulsos de salida el cual se conecta al Arduino por el pin de interrupción.

El módulo SD se conecta al Arduino a través de la interfaz SPI que contiene 4 pines. Para esto se configuran 4 pines en Arduino para que se correspondan con los del módulo SD. Además, se agregó un condensador cerámico de lenteja para corregir el ruido producido por el sensor óptico. En la figura 6 puede verse cómo se realiza dicha conexión.

Figura 6

Diagrama de conexión del prototipo



Software del prototipo

Se desarrolló un algoritmo en el lenguaje de programación C soportado por Arduino para realizar la toma y el almacenamiento de datos de las mediciones obtenidas con el anemómetro construido. Dicho algoritmo contiene 4 funciones principales que son `setup`, `encoder`, `saveData` y `loop`.

Dentro de la función `setup` se setean todas las configuraciones iniciales de Arduino para establecer la conexión con los distintos componentes electrónicos utilizados. Además, se indica el pin que debe recibir la interrupción por parte del pulso digital enviado por el encoder, la función que se ejecutará al producirse dicha interrupción y el tipo de interrupción producido.

La función *encoder* registra el tiempo transcurrido cada cierta cantidad de interrupciones, ese tiempo es utilizado para calcular la frecuencia de interrupción. Para obtener dicha frecuencia se saca un promedio de los tiempos transcurridos almacenados en un vector.

En la función *loop* se toma el tiempo en que se produce cada interrupción y a partir de la frecuencia calculada en la función *encoder* se calcula la velocidad angular utilizando la Ecuación 1

$$\omega = frecuencia . 2\pi/N \quad (1)$$

donde la frecuencia es 1 dividido el tiempo promedio transcurrido y N es la cantidad de ranuras que tiene el disco que produce la interrupción en el sensor óptico.

A partir de esta velocidad angular podemos obtener la velocidad lineal utilizando la Ecuación 2

$$v = \omega . r \quad (2)$$

donde ω es la velocidad angular calculada y r es el radio de la hélice unida al disco rasurado. Además, se llama a la función que guarda los datos obtenidos. Por último, la función *saveData* realiza la apertura del archivo que contiene la tarjeta SD, graba los datos y cierra el archivo.

Pruebas del dispositivo

Durante el desarrollo del prototipo se realizaron varias pruebas para revisar su comportamiento. Además, se realizaron los ajustes pertinentes para asegurar la fiabilidad de los resultados hasta conseguir lo descrito anteriormente. Actualmente nos encontramos en la fase de prueba dentro del túnel de viento para finalmente obtener las mediciones que necesitamos para comprobar la precisión del anemómetro.

CONCLUSIONES

El estudio de los distintos tipos de anemómetros nos brindó las características que debía tener el prototipo para que se ajustara a las mediciones que buscamos realizar de una manera precisa y eficiente. A partir de dicho estudio, se construyó un prototipo de anemómetro de bajo costo con Arduino y elementos electrónicos simples que nos permitiera almacenar los resultados obtenidos. El uso de Arduino como base permite la flexibilidad y adaptación del prototipo, así como también mejoras futuras para desarrollar mayor robustez del hardware acompañado de un refinamiento del algoritmo para que pueda adaptarse a escenarios variables. Aunque aún continúan las pruebas, se puede asegurar que es un dispositivo exacto en mediciones de velocidad en túneles de viento.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional por permitirnos desarrollar esta investigación. Al grupo IEMI en donde desarrollamos nuestros trabajos de investigación.

REFERENCIAS

- Carrillo, M. V. (2021). Introducción de Arduino. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 9(17), 4-8. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/6625/7531>
- Flores Cortez, O. O. (2014). *Aprende Arduino. Guía Teórico Práctica*. IGNAC.
- GreeLane (04 de abril de 2017). *Historia del anemómetro. La velocidad o velocidad del viento se mide con un anemómetro. Historia y Cultura*. https://www.greelane.com/es/humanidades/historia-y-cultura/history-of-the-anemometer-1991222/#google_vignette.
- Ingeniería Mecafenix (12 de julio de 2022). *Que es un encoder y cómo funciona*. Ingeniería Mecafenix. La enciclopedia de la ingeniería. Recuperado el 06/08/2024 de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/encoder/>
- Suomi, I., & Vihma, T. (2018). *Wind gust measurement techniques—From traditional anemometry to new possibilities*. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(4), Article Number 1300. <https://doi.org/10.3390/s18041300>

* * * * *

ANÁLISIS DE TEMPERATURAS ESTACIONALES EN ÁREAS URBANAS Y NO URBANAS DE LA CIUDAD DE LA RIOJA. AÑO 2021

Rodolfo Dematte ^{1,2}; Laura Ávila ¹, y Josefina Huespe ²

¹ Instituto de Energías Naturales Renovables. Universidad Nacional de La Rioja /
rdematte@unlar.edu.ar

² Unidad de Investigación: Epistemología, Lógica y Ciencias Básicas, Grupo IEMI
UTN Facultad Regional Mendoza Rodríguez 273, Ciudad Mendoza. CP (M5502AJE)
- República Argentina

Resumen: Este estudio examina la variación de la temperatura ambiental diurna y nocturna en las diferentes estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) en la ciudad de La Rioja, en el año 2021. Se recopilieron datos de temperatura en dos ubicaciones: el área urbana (AU) y el área no urbana (ANU), utilizando estaciones meteorológicas. Los datos se analizaron por estaciones del año y se clasificaron en diurnos y nocturnos. El análisis muestra que las temperaturas medias anuales en AU son alrededor de 0.98°C superiores a las de ANU. Las temperaturas nocturnas en AU son consistentemente más altas en comparación con ANU durante todas las estaciones. En primavera, las temperaturas nocturnas en AU superan a las de ANU en 3,01°C; en verano, la diferencia es de 1,49°C; en otoño, de 2°C; y en invierno, de 1,83°C. La variabilidad observada en las temperaturas entre AU y ANU sugiere la necesidad de un examen más profundo para confirmar el efecto de isla de calor urbano en diferentes estaciones del año.

Palabras claves: temperatura diurna, temperatura nocturna, temperaturas promedio estacionales, La Rioja, efecto UHI.

INTRODUCCIÓN

“El interés por el estudio del clima urbano está bien justificado, ya que las áreas urbanas constituyen unos sectores singulares dentro del clima de la región donde se localizan. Este interés responde no solo a la necesidad de lograr un conocimiento para conseguir un ambiente más agradable para los habitantes de las

ciudades, sino, también, a la de analizar y prever las modificaciones que suponen éstas y las repercusiones que pueden tener en el clima” (Moreno García, 1990, p. 99).

El clima urbano representa una alteración local del clima regional, influenciada por las características específicas del entorno urbano (Capelli de Steffens et al, 2005). Este fenómeno refleja cambios micro climáticos inducidos por las actividades humanas en las áreas urbanas. Para evaluar estos efectos, se analizan las variaciones en los parámetros meteorológicos dentro de la ciudad en comparación con su entorno circundante (Picone y Campo, 2014).

El aumento de temperaturas en las ciudades conlleva impactos negativos, como pérdidas en la productividad, mayor frecuencia de temperaturas extremas y un aumento en el consumo eléctrico, lo que genera consecuencias económicas significativas (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021). Además, tiene impacto en la salud de las personas (De Titto y Lazovski, 2024).

El efecto de isla de calor urbana (UHI, por sus siglas en inglés) es un fenómeno en el que las áreas urbanas experimentan temperaturas más altas que las áreas no urbanas. Este fenómeno está asociado a factores como la ausencia de cuerpos de agua, la alta emisión de gases, la falta de áreas verdes, y la rápida urbanización, entre otros (Marincic Lovriha, 2022; UNEP, 2021). La influencia del UHI también está relacionada con la insolación solar directa y las actividades antropogénicas, destacando la importancia de las áreas vegetadas en la moderación del gradiente de temperatura (UNEP, 2021).

La ciudad de La Rioja, ubicada en el Departamento Capital, se encuentra en una región con un clima continental árido y una fuerte insolación diaria, caracterizado por baja nubosidad y vientos secos (Rosa, 2000). La irradiación solar diaria promedio es de 5.2 kWh/m², con un total de 2.781 horas de irradiación anual. La Rioja, clasificada como clima desértico o árido de sierras y campos, experimenta temperaturas subtropicales y escasas precipitaciones (Morello et al., 2012). Según la clasificación bioambiental de Argentina, La Rioja se encuentra en la categoría 1A - clima muy cálido (ENARGAS, 2021). Si bien existen estudios sobre las características climáticas de la región cuyo, en la que se realizan estudios de temperaturas de La Rioja, pero no muestran en gran detalle el comportamiento térmico de la ciudad (Ferrelli, 2022).

Objetivo

El presente trabajo propone analizar la variación de la temperatura ambiental diurna y nocturna en las diferentes estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) en la ciudad de La Rioja, en el año 2021.

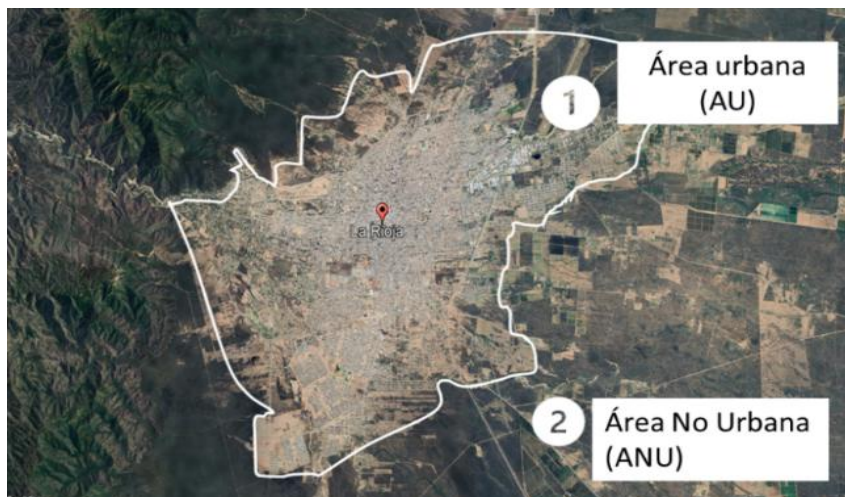
MATERIALES Y MÉTODOS

1- Recolección de datos

Los datos de temperatura en el área urbana (AU) provienen de la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicada en el Aeropuerto local de la ciudad de La Rioja (-29.38 S, -66.79 O; 443 msnm) (Servicio Meteorológico Nacional, 2024). Las mediciones del área no urbana (ANU) provienen de una estación meteorológica ubicada en la zona rural (-29.47 S, -66.78 O; 421 msnm) distante a 10 km del área urbana de la ciudad de La Rioja (Figura 1). Para evitar efectos de sesgos y factores de correcciones, entre AU y ANU la altura entre ubicaciones no supera los 30 metros (Martin-Vide et al., 2015).

Figura 1

Mapa de la ciudad de La Rioja. Áreas analizadas. Fuente Google Earth ®.



Los datos de temperaturas diarios se midieron con una frecuencia de cada hora. Los datos se recolectaron entre enero y diciembre de 2021. Los datos fueron validados con dispositivos Ibutton Thermochron®.

2-Tratamiento de los datos

Se clasificaron 17.518 datos de temperatura, en función de las estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno. Luego se organizaron los datos en mediciones diurnas y nocturnas. El criterio de clasificación para horas diurnas y nocturnas se basó en la hora de entrada y salida de sol promedio para cada estación del año.

3- Análisis de los datos clasificados

Análisis estadístico descriptivo de las temperaturas de AU y ANU. Se calcularon valores medios y desvíos. Rango de temperatura, identificando la mediana, los valores máximos y mínimos de cada estación del año con la metodología descrita en Picone y Campo (2014).

RESULTADOS

1- Análisis estadístico anual

Por sus características geográficas y climáticas La Rioja tiene temperaturas medias con amplios rangos térmicos (Tabla 1). El análisis estadístico anual puede no ser muy representativo ya que, en todas las estaciones del año, la alta variabilidad en las diferencias de temperatura entre el día y la noche distorsiona el promedio de las temperaturas medias. Sin embargo, es posible observar que la variación de temperatura de todas las mediciones realizadas durante el año 2021 en AU (Figura 2) y ANU (Figura 3), hacia finales de agosto y principio de abril las temperaturas medias ascienden, coincidente con el final del invierno. Existen altas temperaturas en la primavera y el verano e inicios de otoño. Los meses más fríos del año son mayo, junio y julio donde las temperaturas medias descienden considerablemente.

Tabla 1

Temperaturas del área urbana (AU) y área no urbana (ANU). Variación anual.

Temperatura	AU	ANU	diferencia de temperaturas (AU - ANU)
Promedio diario anual (°C)	20,43	19,46	0,98
Desvío estándar (°C)	7,94	8,64	2,21
Temperatura máxima registrada (°C)	40,80	41,00	18,60
Temperatura mínima registrada (°C)	-3,90	-6,10	-9,30
Mediana (°C)	20,90	19,90	0,80
Moda (°C)	21,40	19,80	-

Figura 2

Temperaturas del área urbana (AU). Variación anual.

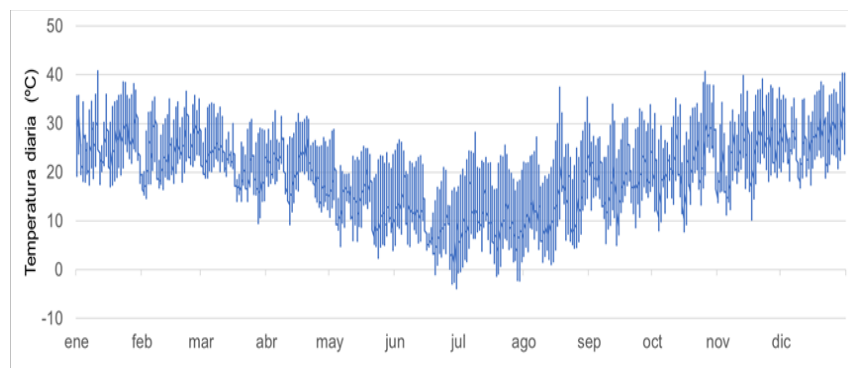
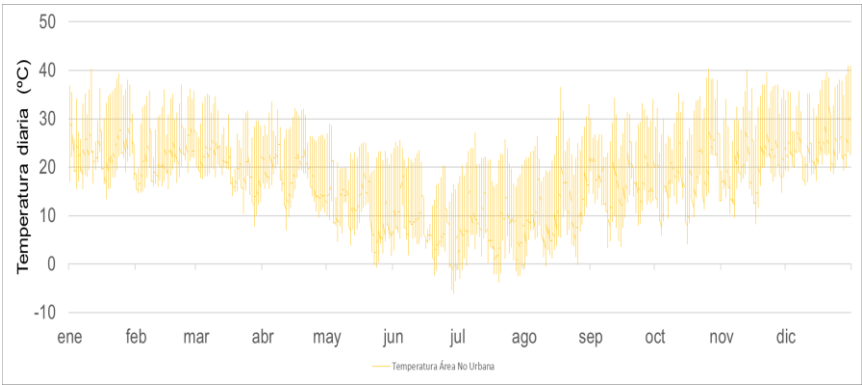


Figura 3

Temperaturas del área no urbana (ANU). Variación anual.



2- Análisis estacional

2.1 Primavera 2021

2.1.1 Temperaturas diurnas

Los datos analizados corresponden entre el 21 de septiembre al 20 de diciembre de 2021. Las temperaturas analizadas corresponden al horario de 7:00 a 18:00. En la primavera la temperatura diurna se caracteriza por tener temperaturas medias de 26,12°C +/- 6,41°C en AU y en ANU de 26,78°C +/- 6,47°C. (Tabla 2).

Tabla 2
Temperaturas diurnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Primavera 2021.

Temperatura	AU	ANU
Promedio diurno (°C)	26,13	26,78
Desvío estándar (°C)	6,41	6,47
Temperatura máxima diurna registrada (°C)	40,70	40,30
Temperatura mínima diurna registrada (°C)	7,90	5,70

2.1.2 Temperaturas nocturnas

Las temperaturas analizadas corresponden entre el horario de las 19:00 a las 06:00 de la mañana. La temperatura promedio nocturna en primavera en el área urbana es de 22.52 °C +/-5.30°C. en el área no urbana es de 19.51+/-5.39 °C. Los valores promedios nocturnos del área urbana superan a los del área no urbana (Tabla 3).

Tabla 3

Temperaturas nocturnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Primavera 2021.

Temperatura	AU	ANU
Promedio nocturno (°C)	22,52	19,51
Desvío estándar (°C)	5,30	5,39
Temperatura máxima registrada (°C)	36,9	33,9
Temperatura mínima registrada (°C)	9	4,1

2.2 Verano 2021

2.2.1 Temperaturas diurnas

El análisis corresponde al periodo comprendido entre el 21 de diciembre y el 20 de marzo de 2021. Para el área urbana de la ciudad de La Rioja, la temperatura media es de 26.58 +/-5.77°C. En el área no urbana la temperatura media es de 26.76+/-6.35°C. La temperatura en ANU supera a AU en 0.18° (Tabla 4).

Tabla 4

Temperaturas diurnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Verano 2021.

Temperatura	AU	ANU
Promedio diurno (°C)	26,58	26,76
Desvío estándar (°C)	5,77	6,35
Temperatura máxima diurna registrada (°C)	40,80	41,00
Temperatura mínima diurna registrada (°C)	14,00	13,40

2.2.2 Temperaturas nocturnas

Las temperaturas analizadas corresponden al horario de 19:20 a 5:30 de la mañana. En verano, la temperatura promedio nocturna en el área urbana es de $24.84 \pm 4.60^{\circ}\text{C}$. En el área no urbana es de $23.35 \pm 4.86^{\circ}\text{C}$. Los valores promedios del área urbana superan a los del área no urbana (Tabla 5).

Tabla 5

Temperaturas nocturnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Verano 2021

Temperatura	AU	ANU
Promedio nocturno ($^{\circ}\text{C}$)	24,84	23,35
Desvío estándar ($^{\circ}\text{C}$)	4,60	4,86
Temperatura máxima nocturna registrada ($^{\circ}\text{C}$)	39,10	36,20
Temperatura mínima nocturna registrada ($^{\circ}\text{C}$)	14,00	13,70

En el caso de los valores medios de las temperaturas nocturnas en verano, el área urbana tiene una diferencia de temperatura 1.5°C superior al área no urbana. Tanto las temperaturas máximas como las temperaturas mínimas registradas son mayores en el área urbana.

2.3 Otoño 2021

2.3.1 Temperaturas diurnas.

El análisis de la temperatura comprende el periodo comprendido entre el 21 de marzo y el 20 de junio de 2021. La temperatura media para el área urbana de la ciudad de La Rioja es de $20.16 \pm 6.57^{\circ}\text{C}$. En el área no urbana la temperatura promedio de la estación es $20.34 \pm 6.90^{\circ}\text{C}$ (Tabla 6).

2.3.2 Temperaturas nocturnas.

En otoño, el área urbana presenta temperaturas promedio mayores al área no urbana, entre ambas locaciones existe una diferencia de temperatura de 2°C . El promedio de temperatura nocturna en el área urbana es de $15.48 \pm 5.64^{\circ}\text{C}$. La temperatura promedio nocturna para el área no urbana es de $13.48 \pm 6.41^{\circ}\text{C}$ (Tabla 7).

Tabla 6

Temperaturas diurnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Otoño 2021.

Temperatura	AU	ANU
Promedio diurno (°C)	20,16	20,34
Desvío estándar (°C)	6,57	6,90
Temperatura máxima diurna registrada (°C)	34,20	37,00
Temperatura mínima diurna registrada (°C)	-1,00	-2,00

Tabla 7

Temperaturas nocturnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Otoño 2021.

Temperatura	AU	ANU
Promedio nocturno (°C)	15,48	13,48
Desvío estándar (°C)	5,64	6,14
Temperatura máxima nocturna registrada (°C)	30,50	29,40
Temperatura mínima nocturna registrada (°C)	-0,80	2,30

2.4 Invierno 2021

2.4.1 Temperaturas diurnas

Para el estudio del efecto de isla de calor urbana diurna para invierno, se analizó la variación de temperaturas entre la franja horaria de las 7h y las 17 h que corresponde a 10 horas solares. La temperatura diurna promedio en invierno, en el área urbana es de 17.32+/-7.39. En el área no urbana es de 16.59+/-7.56°C. Existe una diferencia de temperatura de 0.9°C entre AU y ANU. El rango de temperaturas es muy amplio, en las primeras horas de la mañana las temperaturas son muy bajas. Al mediodía las temperaturas son elevadas (Tabla 8).

Tabla 8

Temperaturas diurnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Invierno 2021.

Temperatura	AU	ANU
Promedio diurno (°C)	17,32	16,59
Desvío estándar (°C)	7,39	7,56
Temperatura máxima diurna registrada (°C)	37,40	36,50
Temperatura mínima diurna registrada (°C)	-3,20	-6,10

2.4.2 Temperaturas nocturnas.

En invierno, el área urbana presenta temperaturas promedio mayores al área no urbana, entre ambas locaciones existe una diferencia de temperatura de 1.8°C. El promedio de temperatura nocturna en AU es de 11.91+/-6.02°C- La temperatura promedio nocturna para ANU es de 10.08+/-6.91°C. Es notorio el descenso de temperatura entre el día y la noche (Tabla 9).

Tabla 9

Temperaturas nocturnas del Área Urbana (AU) y Área No Urbana (ANU). Invierno 2021.

Temperatura	AU	ANU
Promedio nocturno (°C)	11,91	10,08
Desvío estándar (°C)	6,02	6,91
Temperatura máxima nocturna registrada (°C)	33,20	34,80
Temperatura mínima nocturna registrada (°C)	-3,90	-6,00

CONCLUSIONES

La Rioja presenta temperaturas medias con amplios rangos térmicos debido a sus características geográficas y climáticas. En general, el área urbana (AU) tiene temperaturas medias anuales superiores a las del área no urbana (ANU) en 0,98°C. Las temperaturas máximas y mínimas registradas también muestran diferencias notables entre AU y ANU, en el área urbana registra temperaturas mínimas más altas y temperaturas máximas más bajas.

El análisis estadístico muestra que las diferencias de temperatura entre el día y la noche son significativas, lo que puede distorsionar el promedio de las temperaturas medias anuales.

El análisis de temperaturas medias estacionales indica una aproximación real al comportamiento térmico ambiental de la ciudad de La Rioja. Durante la primavera de 2021, las temperaturas diurnas promedio en el área urbana (AU) y el área no urbana (ANU) fueron casi iguales, con 26,12°C y 26,78°C respectivamente. No obstante, las temperaturas nocturnas en AU fueron más altas en 3,01°C en comparación con ANU, lo que sugiere un efecto de isla de calor urbano. En verano, aunque AU mostró una temperatura diurna promedio de 26,58°C, ligeramente inferior a la de ANU (26,76°C), las temperaturas nocturnas en AU superaron en 1,49°C a las de ANU, reforzando la presencia de este fenómeno en los meses cálidos. En otoño, AU presentó temperaturas diurnas promedio algo más bajas (20,16°C) en comparación con ANU (20,34°C), pero las temperaturas nocturnas en AU fueron consistentemente más altas por 2°C. Finalmente, durante el invierno, AU tuvo una temperatura diurna promedio de 17,32°C, superior a la de ANU (16,59°C), y las temperaturas nocturnas en AU fueron más altas en 1,83°C, indicando la persistencia del efecto de isla de calor urbano incluso en los meses más fríos.

Para una detección precisa del efecto de isla de calor urbano, es crucial realizar un análisis detallado de las temperaturas estacionales diurnas y nocturnas. La variabilidad observada en las temperaturas entre AU y ANU sugiere la necesidad de un examen más profundo para confirmar el efecto de isla de calor urbano en diferentes estaciones del año. Este análisis permitirá identificar patrones específicos y evaluar cómo las características urbanas contribuyen a las variaciones térmicas observadas.

REFERENCIAS

- Capelli de Steffens, A., Piccolo, M., y Campo de Ferreras, A. (2005). Clima urbano de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 15, 183-186. <https://www.scielo.org.ar/pdf/reuge/v15n1/v15n1a11.pdf>
- De Titto, E., y Lazovski, J. (2024). Islas urbanas de calor (o cómo nos cocinamos a fuego lento). *Revista ISALUD*, 19(91), 22-29. <http://repositorio.isalud.edu.ar/xmlui/handle/123456789/1624>.
- ENARGAS (2021). *Ampliación del Régimen de Zona Fría Ley N°27.637. Norma IRAM 11603:2012. Clasificación bioambiental de la República Argentina.* Recuperado de

https://www.enargas.gob.ar/secciones/zona-fria/mapa_bioambiental.pdf

- Ferrelli, F. (2022). Caracterización climática de la región de Cuyo (Argentina) con datos in situ y del reanálisis NCEP/NCAR. *Boletín geográfico*, 44(1), 13-38. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/344/3443321004/>
- Marincic Lovriha, I. (2022). Una revisión sobre la isla de calor urbana y sus particularidades en zonas desérticas de México. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 6(12), 9-25. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.196>
- Martin-Vide, J., Sarricolea, P., y Moreno-García, M. C. (2015). On the definition of urban heat island intensity: the "rural" reference. *Frontiers in Earth Science*, 3, Article 24. [doi:10.3389/feart.2015.00024](https://doi.org/10.3389/feart.2015.00024)
- Morello J; S. D. Matteucci; A. F. Rodríguez y M. E. Silva (2012) *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos* (1ra ed.). Editorial Orientación Gráfica.
- Moreno García, M. D. C. (1990). Bibliografía sobre Climatología urbana: la "isla de calor", I. *Revista de Geografía*, 99-109.
- Picone, N., y Campo, A. M. (2014). Comparación urbano-rural de parámetros meteorológicos en la ciudad de Tandil, Argentina. *Revista de Climatología*, 14, 13-23.
- Rosa, H. (2000). *Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina*. Recuperado de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap16.htm#inhalt>
- Servicio Meteorológico Nacional (2024). *Estadísticas Climáticas Normales Período 1991-2020* [Dataset]. Servicio Meteorológico Nacional <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>
- United Nations Environment Programme (2021). *Beating the Heat: A Sustainable Cooling Handbook for Cities* (Informe №: DTI/2392/PA). Iain Campbell, Sneha Sachar, Julia Meisel & Rushad Nanavatty Editores. <https://www.unep.org/resources/report/beating-heat-sustainable-cooling-handbook-cities>.

* * * * *

ANÁLISIS DEL EFECTO DE ISLA DE CALOR URBANA DIURNA Y NOCTURNA. ESTUDIO DE CASO: CIUDAD DE LA RIOJA. ARGENTINA

Rodolfo Dematte ^{1,2}; Laura Ávila ¹, Huespe Josefina ²

¹ Instituto de Energías Naturales Renovables. Universidad Nacional de La Rioja /
rdematte@unlar.edu.ar

² Unidad de Investigación: Epistemología, Lógica y Ciencias Básicas
Grupo IEMI Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273, Ciudad Mendoza. CP (M5502AJE). República Argentina

Resumen: El fenómeno de isla de calor urbana se manifiesta cuando temperaturas del área urbana son mayores a las temperaturas de las áreas no urbanas más próximas. Este estudio examina la isla de calor urbana en la ciudad de La Rioja, analizando tanto el efecto diurno como nocturno a lo largo de las estaciones del año 2021. La investigación utilizó datos de temperatura obtenidos de estaciones meteorológicas ubicadas en el área urbana y no urbana para evaluar las diferencias térmicas. Se observaron variaciones significativas en los patrones de temperatura: en primavera y verano, La Rioja mostró un claro efecto de la isla de calor urbana tanto diurno como nocturno, con temperaturas urbanas consistentemente más altas que las rurales. En otoño, el área urbana presenta menores temperaturas que el área no urbana, pero actúa como una isla de calor urbana durante la noche. Durante el invierno, la ciudad se comportó como una isla de frío diurna desde principios de junio hasta finales de julio, con una inversión del fenómeno a partir de agosto, cuando el área urbana mostró temperaturas más altas que las rurales. En general, el estudio confirma la presencia de la isla de calor urbana en La Rioja a lo largo de todo el año, destacando su variabilidad estacional y temporal. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar tanto el efecto diurno como nocturno en la planificación urbana para mitigar los impactos térmicos en las ciudades.

Palabras claves: urban heat island, isla de calor urbana, La Rioja

INTRODUCCIÓN

El efecto de isla de calor urbana (*urban heat island* por sus siglas en inglés - UHI) es un fenómeno donde las áreas urbanas experimentan mayores temperaturas que las áreas no urbanas, como consecuencia de la disminución de cobertura verde, aumento del calor residual de las actividades humanas y productivas (Organización de las Naciones

Unidas [ONU], 2021). Algunos autores sostienen que el fenómeno de la UHI es más frecuente en metrópolis, por las características morfológicas de los espacios y las propiedades ópticas y térmicas de los materiales usadas en las envolventes de los edificios, bajo niveles de vegetación y elevado calor antropogénico (Colli et al., 2020).

Alcance geográfico de la UHI

La variabilidad geográfica en los estudios del efecto de isla de calor (UHI) puede analizarse tanto a escalas locales, como una ciudad (Aragón et al., 2020) o un área específica (Ruiz et al., 2022), como a escalas más globales (Casadei et al., 2021). Muchos estudios a escala local utilizan el área rural o periurbana circundante como referencia para el análisis espacial. El fenómeno de UHI urbano está estrechamente asociado con la geografía del área de estudio y con factores como la ausencia de cuerpos de agua, la cantidad de gases emitidos, la falta de áreas verdes, la presencia de áreas deforestadas, la alta densidad poblacional, la rápida urbanización y alta densidad constructiva, las bajas precipitaciones medias y el elevado uso del suelo (ONU, 2021).

La UHI no está asociada a un periodo en particular. Se pueden presentar islas de calor urbanas nocturnas que están relacionadas con la absorción de energía solar durante todo el día y la ausencia de disipación térmica (Casadei et al, 2021). Además, existen variaciones estacionales de las islas de calor urbano de cada ciudad ya que dependen del régimen climático y de la vegetación local (Ruiz et al, 2022).

Asociado al efecto de UHI, se presenta en contraposición el efecto de isla de frío urbano (*urban cold island* - UCI por sus siglas en inglés), que analiza el uso de diferentes materiales, cubiertas y vegetación para mitigar el efecto UHI (Casadei et al., 2021, Xu et al., 2024).

Métodos para medir el efecto de isla de calor

Actualmente, se utilizan diversos métodos para determinar el fenómeno de isla de calor urbana [Urban Heat Island (UHI)], destacando la medición directa de la temperatura del aire y el uso de imágenes satelitales para evaluar el efecto de la isla de calor urbana superficial [Superficial Urban Heat Island (SUHI)].

La medición in situ de la UHI se realiza con sensores de temperatura y estaciones meteorológicas móviles que permiten la toma de transectas de temperatura, proporcionando datos precisos y frecuentes, pero con una cobertura espacial limitada, adecuada para estudios en áreas

reducidas (Asar et al., 2021). Por otro lado, la medición del SUHI a través de imágenes satelitales, utilizando satélites como Landsat 8 y 9, Terra EOS AM-1 y Aqua EOS-PM 1, y MODIS, ha ganado relevancia desde 2005, permitiendo una cobertura más amplia y detallada de la superficie terrestre (Aragón et al., 2020; Berg et al., 2022).

Sin embargo, la relación entre la temperatura de superficie y la temperatura del aire ambiental puede verse afectada por variables como la cobertura de nubes, el viento, la hora del día, la estación y la cobertura terrestre circundante (Berg et al., 2022). Ambos métodos, aunque útiles en estudios de clima urbano, presentan ventajas y desventajas, y su elección depende del objetivo del estudio y del contexto en el que se apliquen.

Caracterización del área de estudio. La Rioja

La ciudad de la Rioja está ubicada en el Departamento Capital. Los límites del área urbana de la ciudad de La Rioja se extienden desde el punto NO en la zona denominada La Quebrada (-29.40 S; -66.92 O), el punto NE en la zona de la colonia frutihortícola (-29.36 S; -66.78 O), al SO cerro del Velasco -29.49 S; -66.88 O) hasta el punto SE (-29.49 s; -66.81 O).

Isla de calor en La Rioja

Casadei et al. (2021) presentó un análisis regional de las UHI en Argentina en el que toma las 55 ciudades más grandes del país a través de análisis de datos satelitales MODIS de la temperatura de la superficie terrestre y en función de los índices de vegetación. El estudio determinó que en la ciudad de La Rioja se presenta el efecto de UHI (obtenido como la diferencia entre la temperatura de la superficie terrestre urbana y la temperatura de la superficie terrestre no urbana). La investigación *Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina* (Casadei et al., 2021) calculó las diferencias de temperaturas entre los años 2011 a 2015 analizando la variabilidad espacial a una distancia de 10 km desde el centro de la ciudad. Los resultados indican una diferencia térmica con un aumento promedio de temperatura diurna de 0.41°C respecto a las zonas no urbanizadas. Además, describe la intensidad de la UHI nocturna que tiene una temperatura promedio de 1.25 °C mayor respecto al área no urbanizada (Casadei et al., 2021). A diferencia de otras ciudades, La Rioja es una UHI tanto de día como de noche (Casadei et al., 2021).

Las islas de calor se pueden presentar en forma diurna pero también se pueden formar en la noche a causa de la acumulación del calor presente en los diferentes materiales de construcción urbana y por la capacidad calorífica que estos cuentan, y por qué en la noche se desprende formando la geometría de las Islas (Aragón et al, 2020 p. 42).

Si bien muchas ciudades se comportan como islas de calor urbano en verano, en invierno se comportan como islas de frío urbano (Casadei et al., 2021). Se realizó un estudio de la UHI, en el que se analizaron las diferencias de temperatura del año 2021. Los resultados indicaron que la UHI se produce en todos los meses, tanto en verano como en invierno (Casadei et al., 2021).

Objetivo del trabajo

Por las características climatológicas y geográficas descritas y en base a las investigaciones que indican que existe el fenómeno de isla de calor, el presente trabajo propone analizar el fenómeno de UHI en su fase diurna y nocturna en las diferentes estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) en la ciudad de La Rioja, en el año 2021.

MATERIALES Y MÉTODOS

1- Recolección de datos

Los datos de temperatura en el área urbana (AU) provienen de la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicada en el Aeropuerto local de la ciudad de La Rioja (-29.38 S, -66.79 O). Las mediciones del área no urbana (ANU) provienen de una estación meteorológica ubicada en la zona rural (-29.47 S, -66.78 O) distante a 10 km del área urbana de la ciudad de La Rioja.

2-Tratamiento de los datos

Se clasificaron 17.518 datos de temperatura, en función de las estaciones del año. Posteriormente se organizaron en mediciones diurnas y nocturnas. El criterio de clasificación para horas diurnas y

nocturnas se basó en la hora de entrada y salida de sol promedio para cada estación del año.

3- Análisis de los datos clasificados

Para el conjunto de datos del área urbana y no urbana de la Ciudad de La Rioja, se calculó la diferencia de temperaturas y analizó la presencia del efecto de isla de calor urbana según la metodología descrita por Cuadrat et al. (2022) y Martín-Vide et al. (2015) analizando la variabilidad temporal de la UHI.

RESULTADOS

1. Primavera 2021

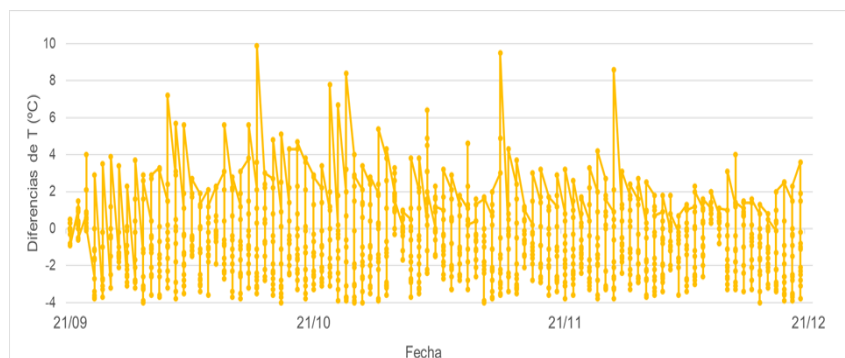
1.1 Efecto de isla de calor diurna

Para el estudio del efecto de isla de calor urbana diurna para primavera, se analizó la variación de temperaturas entre la franja horaria de las 5:30 horas y las 19:20 horas.

En la Figura 1, se puede observar que las diferencias de temperaturas entre el área urbana y no urbana de la ciudad de La Rioja varían en función de la hora del día. Existe gran variabilidad en los resultados. A simple vista, el fenómeno de isla de calor urbano es variable en este período. La diferencia de temperatura entre AU y ANU no tiene un patrón definido.

Figura 1

Variación de temperaturas diurnas entre área urbana y área no urbana. Primavera 2021



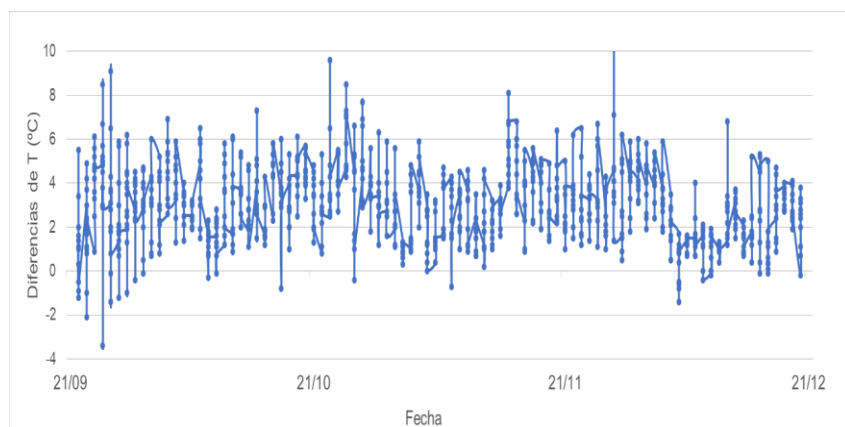
Si se analiza por franja horaria, entre las 12 horas y las 16 horas el AU presenta menores temperaturas que el área no urbana, actuando como isla de frío urbana (descrito en otras ciudades por Casadei et al., 2021).

1.2 Efecto de isla de calor nocturna

En primavera, entre septiembre y diciembre el área urbana de la ciudad de La Rioja actúa como isla de calor nocturna, ya que las diferencias de temperaturas respecto al área no urbana son mayores. Este efecto se observa con mayor impacto en la franja horaria entre las 21:00 y las 7:00 de la mañana, AU se comporta como isla de calor urbana nocturna. Este fenómeno está asociado a incremento de las temperaturas diurnas y la dificultad de disipación del calor en la noche (Figura 2).

Figura 2

Variación de temperaturas nocturnas entre área urbana y área no urbana. Primavera 2021.



2. Verano 2021

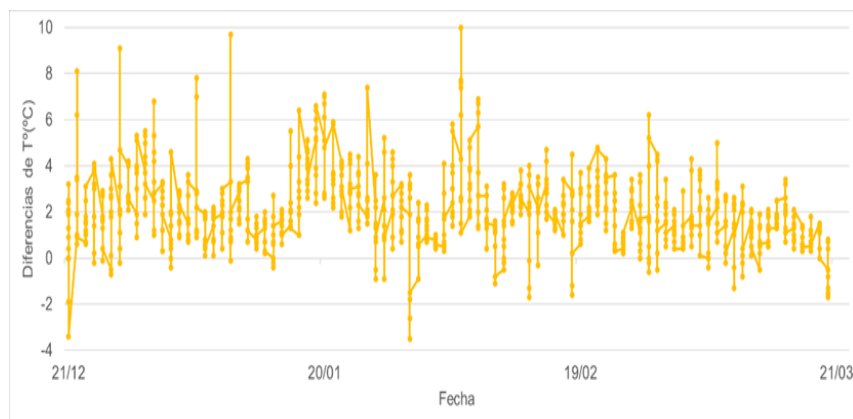
2.1 Efecto de isla de calor diurna

Para el estudio del efecto de isla de calor urbana diurna, se analizó la variación de temperaturas entre la franja horaria de las 6 de la mañana y las 18 horas, lo que corresponde a 13 horas solares. El verano es la temporada del año donde se produce mayor irradiación solar y mayor

cantidad de horas con sol. Los valores positivos indican que la temperatura AU es superior a la ANU (Figura 3).

Figura 3

Variación de temperaturas diurnas entre área urbana y área no urbana. Verano 2021.



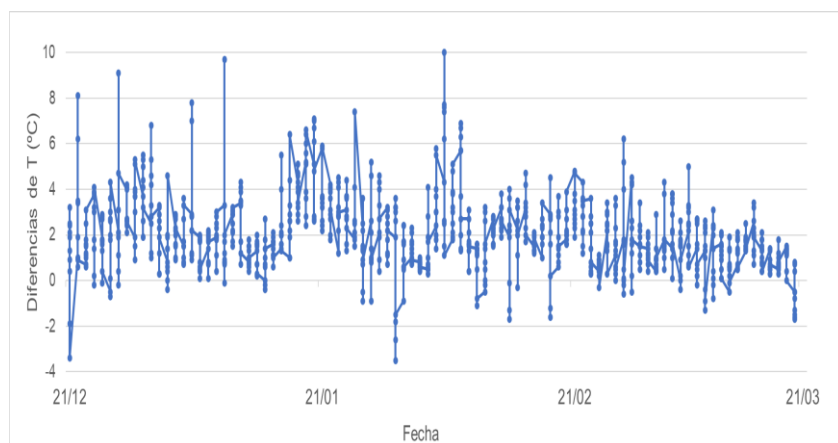
En este periodo hay pocos eventos donde la temperatura del ANU es superior a la temperatura del AU. La ciudad de la Rioja en verano actúa como isla de calor debido a que las temperaturas diarias son elevadas, si bien en esta estación hay mayor frecuencia de precipitaciones no es suficiente para reducir la temperatura del área urbana. En cambio, en ANU disipa rápidamente el incremento de temperatura producida en las horas con sol.

2.2 Efecto de isla de calor nocturna

En verano, el efecto de isla de calor nocturna queda evidenciado. En la Figura 4 se puede observar que existen diferencias entre las temperaturas ambientales del área urbana y no urbana. Son escasos los eventos en que la temperatura del ANU supera a la temperatura AU.

Figura 4

Variación de temperaturas nocturnas entre área urbana y área no urbana. Verano 2021.



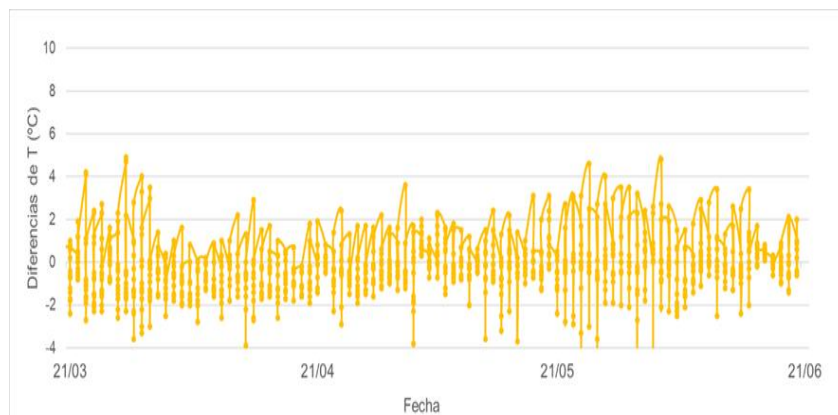
3. Otoño 2021

3.1 Efecto de isla de calor diurna

Para el estudio del efecto de isla de calor urbana diurna para otoño, se analizó la variación de temperaturas entre la franja horaria de las 7:00 y las 18:00 horas, lo que corresponde a 11 horas solares. En la Figura 5 se puede observar que las diferencias de temperaturas entre el área urbana y no urbana de la ciudad de La Rioja. Los resultados varían en función de la hora del día (al igual que en primavera). Los valores negativos indican que la temperatura ANU es superior a AU, hay unas horas del día donde la temperatura del ANU es superior a la temperatura del área urbana. Los resultados indican la presencia de lo que se denomina una isla de frío entre las 10:00 y las 17:00 horas, cuando la temperatura del ANU es mayor que el AU. Esto se debe a que ANU tiene una gran insolación diaria. En cambio, AU por su estructura edilicia presenta muchas áreas de sombra que obstaculizan el paso del sol e impide el calentamiento. Sólo entre las 7:00 y 10:00, AU presenta temperaturas superiores a ANU.

Figura 5

Variación de temperaturas diurnas entre área urbana y área no urbana. Otoño 2021.



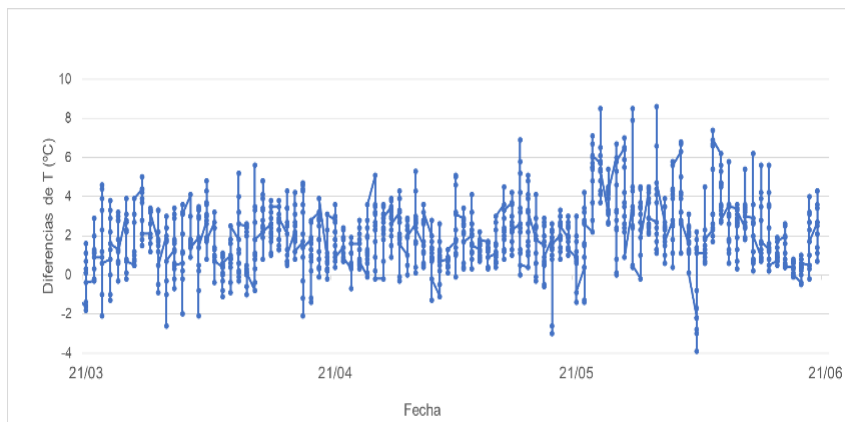
3.2 Efecto de isla de calor nocturna

En otoño, el efecto de isla de calor urbana nocturna queda evidenciado en la Figura 6 donde se pueden observar diferencias de temperatura entre el área urbana y no urbana. Como se analizó en el caso de la isla de calor urbana diurna para el otoño 2021 (Figura 5), el análisis de datos determina que el área urbana se comporta como una isla de frío en el horario de 10:00 a 17:00 horas. En cambio, en el horario nocturno por la diferencia de temperaturas entre el área urbana y no urbana se transforma en una isla de calor urbano.

El fenómeno de UHI nocturna es consecuencia de la radiación solar absorbida por el área urbana durante todo el día, y en la noche se disipa el calor almacenado en las estructuras y en los materiales.

Figura 6

Variación de temperaturas nocturnas entre área urbana y área no urbana. Otoño 2021.



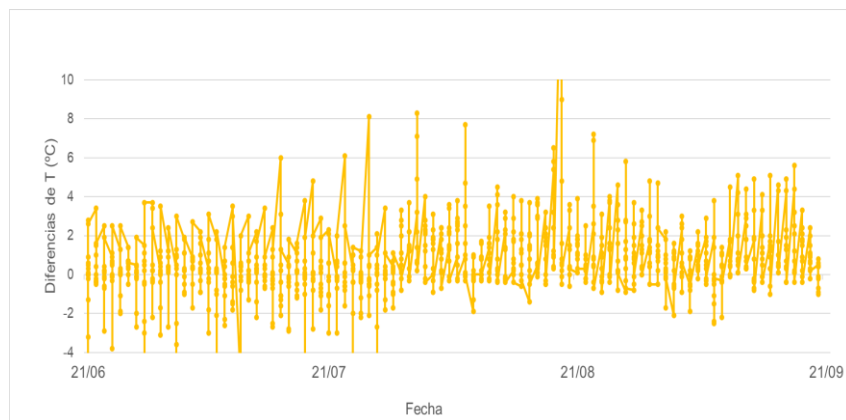
4. Invierno 2021

4.1 Efecto de isla de calor diurna

El área urbana se comporta como una isla de frío urbano diurna. En la Figura 7, se puede observar que el fenómeno sucede entre junio y julio. Existe una diferencia de temperatura donde la temperatura de ANU supera a la temperatura de AU. Entre agosto y septiembre, los resultados indican que el área urbana se comporta como isla de calor urbano diurna. La temperatura de AU es mayor que la temperatura de ANU.

Figura 7

Variación de temperaturas diurnas entre área urbana y área no urbana. Invierno 2021.

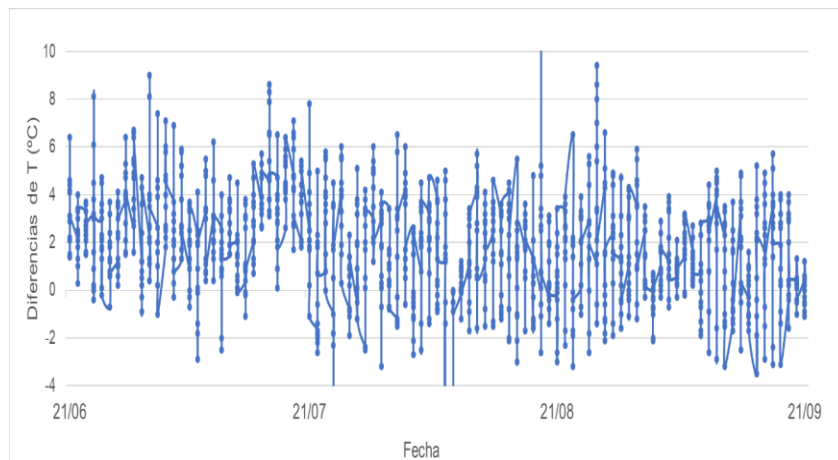


4.2 Efecto de isla de calor nocturna

En invierno, el efecto de isla de calor urbana nocturna queda evidenciado en la Figura 8, se pueden observar diferencias de temperatura entre el área urbana y no urbana. Como se analizó en el caso de la isla de calor urbana nocturna para el otoño 2021 (figura 6), los resultados indican que AU es una isla de calor en el horario de 18:00 a 7:00 de la mañana. El fenómeno de UHI nocturna es consecuencia de la radiación solar absorbida por el área urbana durante todo el día, y en la noche los materiales disipan el calor almacenado durante el día. Existe una gran variabilidad entre los datos desde principios de agosto hasta el final del invierno 2021. La diferencia de temperaturas coincide con el cambio de estación, debido a que existe una transición térmica entre el invierno y la primavera donde se produce un gran contraste de temperaturas.

Figura 8

Variación de temperaturas nocturnas entre área urbana y área no urbana. Invierno 2021.



CONCLUSIONES

En base a los resultados del análisis de las temperaturas del área urbana y no urbana de la ciudad de La Rioja durante el año 2021, se puede concluir que existe una significativa variabilidad térmica entre ambos puntos de medición y por lo tanto se puede afirmar contundentemente que el fenómeno de la isla de calor urbano (UHI) está presente en el área urbana de La Rioja. En primavera y verano se presenta el efecto de UHI diurno y nocturno. En otoño, existe el efecto de isla de frío urbano entre el horario de las 10:00 a 17:00, y en la noche se presenta el efecto de isla de calor urbana. En invierno, se destaca el efecto de isla de frío urbana desde inicios de invierno hasta finales de julio. A partir de agosto el efecto se revierte transformándose en isla de calor urbano. En tanto, en la noche la ciudad actúa como isla de calor urbano disipando el calor absorbido en el día.

REFERENCIAS

- Aragón, J. A., Rodríguez, E. D., Varon, G. A., y Sánchez, G. A. (2020). Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y SIG en el área urbana de la Sabana de Bogotá. *Geographicalia*, 72, 39–64. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2020724571
- Asar, M. L., Estallo, E. L., Benítez, E. M., Di Benedetto, H. M. & Ludueña Almeida, F. F. (2021). La isla de calor urbano entre 2018 y 2020 en la ciudad de Córdoba, Argentina. En Natalia Giovenale (Ed.), *106° Reunión Anual de la Asociación Física Argentina. Segunda Webinar* (p. 286). Asociación Física Argentina. http://rafa.fisica.org.ar/wp-content/uploads/2021/12/libro-de-resumenes-106rafa_final.pdf
- Berg, E. & Kucharik, C. (2022). The Dynamic Relationship between Air and Land Surface Temperature within the Madison, Wisconsin Urban Heat Island. *Remote Sensing*, 14(1), Article Number 165. <https://doi.org/10.3390/rs14010165>
- Casadei, P., Semmartin, M. & Garbulsky, M. F. (2021). Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. *Ecología Austral*, 31(1), 190–203. <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.1.0.970>
- Colli, M. F., Correa, É. N. & Martínez, C. F. (2020). Aplicación del método WUDAPT en la ciudad de Mendoza-Argentina para definir zonas climáticas locales. *Revista Urbano*, 23(42), 18–31. <https://doi.org/10.22320/07183607.2020.23.42.02>
- Cuadrat, J. M., Serrano-Notivol, R., Barrao, S., Saz, M. Á. & Tejedor, E. (2022). Variabilidad temporal de la isla de calor urbana de la ciudad de Zaragoza (España). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1), 97–110. <https://doi.org/10.18172/cig.5022>
- Martin-Vide, J., Sarricolea, P., y Moreno-García, M. C. (2015). On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. *Frontiers in Earth Science*, 3, Article 24. doi:10.3389/feart.2015.00024
- Ruiz, M. A., Colli, M. F., Martinez, C. F. & Correa-Cantaloube, E. N. (2022). Park Cool Island and built environment: A ten-year evaluation in Parque Central, Mendoza-Argentina. *Sustainable Cities and Society*, 79, Article Number 103681. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103681>
- Servicio Meteorológico Nacional (2024). *Estadísticas Climáticas Normales Periodo 1991-2020* [Dataset]. Servicio Meteorológico Nacional <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>
- United Nations Environment Programme (2021). *Beating the Heat: A Sustainable Cooling Handbook for Cities* (Informe No: DTI/2392/PA). Iain Campbell, Sneha Sachar, Julia Meisel & Rushad Nanavatty Editores. <https://www.unep.org/resources/report/beating-heat-sustainable-cooling-handbook-cities>.

Xu, C., Wang, W. & Zhu, H. (2024). Spatial gradient differences in the cooling island effect and influencing factors of urban park green spaces in Beijing. *Buildings*, 14(5), Article Number 1206. <https://doi.org/10.3390/buildings14051206>

* * * * *

REVISIÓN DE MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN CULTIVOS (2019-2023)

Rodolfo Dematte ^{1,2}; Facundo Olea¹; Josefina Huespe ¹y Ernesto Gandolfo Raso¹

¹ Unidad Investigativa: Epistemología, Lógica y Ciencias Básicas.
Grupo IEMI Grupo orientado a la realización de Investigaciones en Matemática Aplicada a la Ingeniería y Gestión.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza Coronel Rodríguez 273, M5500 Mendoza, Argentina

² Instituto de Energías Naturales Renovables. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica. SeCyT. UNLaR. Gdor. Luis Vernet y Apóstol Felipe, M5300, La Rioja, Argentina

* rdematte@gmail.com

Resumen: Se realizó una revisión sistemática que abarca las publicaciones de los últimos 5 años (2019-2023). Se relevaron las distintas técnicas experimentales y las teóricas utilizadas en el examen de la dinámica del viento dentro de los doseles vegetales protegidos con cortinas rompevientos. Materiales y métodos: se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva en los repositorios académicos ScienceDirect® y Google Scholar®, empleando palabras clave específicas relacionadas con estudios del comportamiento del viento en contextos agrícolas. El alcance temporal de la búsqueda se limitó al período comprendido entre 2019 y 2023. Se recopilaron y analizaron los avances más recientes en el campo de la investigación de la interacción viento - planta. Los hallazgos obtenidos muestran los progresos realizados, además de revelar líneas potenciales de investigación aún no exploradas. Se destacan nuevas técnicas emergentes que aún están en etapas de desarrollo.

Palabras claves: Viento, cultivos, cortinas rompevientos, túnel de viento, Fluido Dinámica Computacional.

INTRODUCCIÓN

El viento puede influir de manera significativa en los doseles de los cultivos. Entre los aspectos positivos, el viento ayuda a transportar el polen y las semillas, contribuye a regular la temperatura de los cultivos y favorece a la difusión de los gases que generan, a su vez influye en el fortalecimiento de la resistencia mecánica de las plantas como respuesta adaptativa. Si bien el viento tiene aspectos beneficiosos en los cultivos, también influye de manera negativa, dependiendo de la velocidad del viento puede producir en las plantas: desecación, daño físico, dispersión de enfermedades, pérdida de floración y caída de frutos; además afectar el ambiente circundante a causa de la erosión eólica y la pérdida de nutrientes en el suelo. En paralelo, la acción del viento moviliza las partículas de suelo que permanecen en el aire (Golberg, 2010) y su permanencia en el ambiente afectan a la salud humana (Miri, Dragovich & Dong, 2017).

Algunas de las investigaciones apuntan a estudiar sólo el efecto del viento en los cultivos (Miri, Dragovich & Dong, 2017; Sherman, 2020), pero esta metodología también sirve para analizar los fenómenos de dispersión en la aplicación de agroquímicos y evaluar la cantidad de erosión del suelo (Golberg, 2010; Miri, Dragovich & Dong, 2017). Por otra parte, existen diversas investigaciones que se focalizan en el análisis de la incidencia del viento sobre las cortinas forestales utilizadas desde hace mucho tiempo para mitigar los efectos adversos del viento (Oberschelp et al., 2020).

Como punto de partida se analizó la revisión *Turbulent Flow in Plant Canopies: Historical Perspective and Overview* (Brunett, 2020) en el que hace un análisis histórico ex post facto sobre el estudio del flujo turbulento en el dosel de las plantas y arboledas. Esta revisión histórica abarca el periodo de 50 años (1970-2020), evalúa las diferentes variantes del estudio del comportamiento del viento sobre los cultivos vegetales, este análisis está focalizado en cultivos con doseles homogéneos. Mucho se ha investigado sobre el tema, pero la información se encuentra dispersa, por ello el presente review surge de la necesidad de sintetizar el conocimiento generado en los últimos 5 años.

A partir de la investigación de Brunett (2020) se propone en el presente Review evaluar cuál es el estado actual de las investigaciones sobre los métodos de evaluación del impacto de viento en cultivos en el periodo 2019-2023.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica utilizando varios repositorios y bases de datos académicas, incluidos en ScienceDirect ® y Google Scholar ®. Se utilizaron palabras clave específicas relacionadas con el estudio del viento en cultivos, incluyendo "*wind tunnel*", "*CFD*", "*windbreakers*", "*crops*", y "*canopy*". La búsqueda se limitó al período de tiempo comprendido entre 2019 y 2023 para asegurar la inclusión de los estudios más recientes. Los artículos seleccionados fueron evaluados en base a criterios predefinidos. Se incluyeron aquellos estudios que abordaban específicamente el estudio del viento en cultivos utilizando técnicas como túneles de viento, dinámica de fluidos computacional (CFD) y/o evaluaciones de la efectividad de barreras cortavientos. Se excluyeron los artículos que no estaban disponibles en texto completo, y aquellos que no abordaban directamente el tema de interés.

RESULTADOS

Solamente 34 artículos superaron esta instancia. Se resumieron y analizaron los hallazgos clave de cada artículo, centrándose en los métodos utilizados para estudiar el viento en cultivos y su impacto en los doseles. Se identificaron tendencias emergentes, lagunas en la investigación y áreas de interés para futuros estudios en el campo (Tabla 1).

Tabla 1

Detalle de las publicaciones evaluadas en la presente revisión

Autores	Tema del artículo	Metodología	Objeto analizado	Método de contrastación
Año 2019				
Gonzales, et al.	Drag coefficients	CFD OpenFOAM	Vegetation canopy	Empirical models
Phillips & Soligo	Wind flow dynamics	Review	Buildings and crops	Comparatives studies
Cheng, et al.	Wind flow dynamics	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Experimental dataset
Shnapp et al.	Lagrangian wind flow dynamics	Real-time image analysis system	Vegetation canopy	Wind tunnel experiment
Zhu	Additive manufacture technology models	CFD OpenFOAM	Objects	Wind tunnel experiment
Hesp, et al.	Wind flow dynamics	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Experimental dataset
Año 2020				
Gonçalves, Linhares & Yojo	Drag coefficients	Review		Comparatives studies
Gough et al.	Wind pressure	Wind-tunnel	Buildings	CFD OpenFOAM
Ismail et al.	Wind turbulence models	CFD OpenFOAM	Turbulence models	Wind tunnel experiment
Kim et al.	Wind flow dynamics	CFD OpenFOAM	Green	HNVR-SYS
Kučera et al.	Wind erosion	Optical porosity in windbreaks	Agricultural landscape	Empirical models
Makedonas et al.	Wind flow dynamics	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Experimental dataset
Qin, et al.	Wind flow dynamics in seeds	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Experimental dataset
Zhang	Wind pressure	Wind-tunnel	Buildings	Experimental dataset
Brunet	Wind flow dynamics	Review	Vegetation canopy	Comparatives studies
Sherman et al.	Wind flow dynamics	Review	Objects	Comparatives studies

Tabla 1 (Continuación)

Autores	Tema del artículo	Metodología	Objeto analizado	Método de contrastación
Año 2021				
Guo, et al.	Vegetative windbreaks	CFD OpenFOAM	Vegetation canopy	Wind tunnel experiment
Gardiner et al.	Wind flow dynamics	Review	Vegetation canopy	Comparatives studies
Año 2022				
H'ng, et al.	Wind flow dynamics	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Empirical models (continua...)
Ismail et al.	Design wind tunnel	Wind-tunnel	Wind tunnel	Wind tunnel experiment
Mo et al.	Drag coefficient	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Wind tunnel experiment
Qin, et al.	Wind flow dynamics in seeds	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Experimental dataset
Scagnellato et al.	Spraying in canopy	Algorithm	Vegetation canopy	Simulations
An et al.	Permeability windbreaks	Wind tunnel experiment	Vegetation canopy	Phonics software
Torkelson, Price & Stoll	Wind flow dynamics	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Experimental dataset
Yan et al.	Wind flow dynamics	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Empirical models
Año 2023				
Cintolesi, et al.	Wind flow dynamics	CFD OpenFOAM	Isolated forest	Experimental dataset
Chockalingam, Afshari & Vogel	Wind profiles in objects	CFD OpenFOAM	Objects	Machine learning
Yusof et al.	Modelling flow for vegetated channel	CFD OpenFOAM	Vegetation canopy	Experimental dataset
BenMoshe, et al.	Wind flow dynamics	Machine learning	Buildings	Comparatives studies
Ru et al.	Permeability windbreak - spraying	Wind-tunnel	Vegetation canopy	Experimental dataset
Ulmer, et al.	Wind flow dynamics	simulation-winds	Vegetation canopy	Empirical models
Lincango Casa	Design wind tunnel	Ansys	Objects	Wind tunnel experiment
Renault, et al.	Wind flow dynamics	Quick canopy model	Vegetation canopy	Model WFT
Wang et al.	Windbreak effectiveness	CFD	Vegetation canopy	Wind tunnel experiment

De acuerdo con los resultados analizados en la bibliografía estudiada para el presente trabajo, se puede observar una evolución temporal desde 2019 hasta 2023, en el cual las técnicas de simulación numérica cobran importancia a partir de comparar los datos con las técnicas

experimentales. En el análisis de los artículos evaluados en la presente revisión (Tabla 1), el túnel de viento (40%) y las simulaciones CFD (29%) son las principales metodologías para evaluar el comportamiento del viento en cultivos.

En el estudio del comportamiento del viento en dosel vegetal, tanto los ensayos en túneles de viento como las simulaciones en CFD han producido resultados coincidentes (Rosenfeld et al, 2010; Shnapp, 2019). La simulación numérica es indispensable para la investigación, se deduce que ambos métodos son complementarios, aunque algunos autores sostienen que el CFD podría reemplazar algunas pruebas de túnel de viento (Phillips & Soligo, 2019; Zhu, 2019).

En los últimos años hace su aparición el uso del machine learning como nueva técnica para evaluar el comportamiento del viento en cultivos. Los algoritmos de machine learning utilizan datos que provienen de CFD y de túnel de viento para predecir el comportamiento del viento (BenMoche et al, 2023; Chockalingam, Afshari & Vogel, 2023) se presenta como variante al CFD ya que el cálculo computacional se hace muy costoso y demora mucho tiempo a la hora de hacer simulaciones computarizadas. Estos autores utilizan Redes Neuronales Artificiales (ANN) y otros autores el algoritmo K-Vecinos más Cercanos (k-NN) son técnicas utilizadas en el campo del aprendizaje automático del machine learning. Ambos son enfoques que caen dentro de la categoría de aprendizaje supervisado, donde se utilizan datos etiquetados para entrenar modelos y realizar predicciones.

En cuanto a las simulaciones tanto en túnel de viento como en OpenFOAM las predicciones obtenidas por medio de machine learning son coincidentes con los datos obtenidos en túnel de viento como así también las simulaciones CFD.

Aplicación y uso de las técnicas utilizadas para el estudio de la influencia del viento en cultivos

El estudio del viento es importante para conocer su comportamiento dentro de estructuras y doseles vegetales, en función de las estrategias de análisis utilizadas se clasificó los artículos analizados en función de:

1. Enfoque de análisis del viento dentro del dosel

El 98% de las investigaciones en las que se analiza el movimiento del fluido en puntos fijos donde se evalúan diferentes parámetros en el dosel

(Afshari & Vogel, 2023; Chockalingam, Renault, et al. 2024; Gonzales et al., 2019, Guo et al, 2021; Hesp, et al., 2019, entre otros). Como una alternativa novedosa se propone el estudio del comportamiento del viento y de la turbulencia en viñedos desde el punto de vista lagrangiano, siguiendo la trayectoria de las partículas (Shnapp et al, 2019) en su análisis hace un estudio pormenorizado de la distribución de la velocidad en túneles de viento validados con CFD. Con éxito se miden trayectorias lagrangianas de partículas trazadoras dentro de una capa de dosel modelada en un túnel de viento ambiental a gran escala como resultado se obtienen resultados que representan el flujo turbulento lagrangiano en el modelo del dosel homogéneo.

2. Las características de la estructura del dosel

La estructura en la que se organiza el cultivo es importante al momento del estudio del comportamiento del viento, en la actualidad debido al alto grado de tecnificación de la producción agrícola muchos de los cultivos se organizan en parcelas o cercas organizados de forma homogénea donde los cultivos tienen distribuciones específicas, lo que permite mejor aireación de las plantas, manejos agrícolas uniformes (cosecha, poda y fumigaciones). El modelo de dosel homogéneo es una aproximación simplificada de la geometría donde se asume que la vegetación es uniforme en términos de altura y densidad (Guo, 2021; Ulmer et al., 2023).

Para plantaciones de viñedos surgen nuevos modelos teóricos que estudian el comportamiento del viento de un entorno completo de respuesta rápida para simular el transporte escalar en los doseles homogéneos organizados en filas (Ulmer et al., 2023).

Se han estudiado en los doseles homogéneos, la mecánica de la erosión eólica y su efecto en la vegetación en pie. Para distintas configuraciones se determinó la cantidad de abrasión que se produce dentro de un dosel vegetal simulado. Los resultados de las simulaciones en CFD y su validación en túnel de viento demuestran que los coeficientes de arrastre efectivos no muestran diferencias significativas entre los resultados experimentales y simulados (Gonzales et al., 2019; Phillips & Soligo, 2019)

En contraposición, Torkelson, Price & Stoll (2022) evaluaron el efecto de la heterogeneidad del dosel de viñedos, analizando la velocidad del viento, los procesos de transporte y las turbulencias generadas. En base a los datos obtenidos se identificaron las distintas zonas de la turbulencia en superficies vegetales dispersas y organizadas. Cintolesi et al. (2023) hace su análisis en áreas con heterogeneidad forestal, en

esa área se evaluó el flujo de viento y su turbulencia para determinar las regiones de movimiento del viento en base a los parámetros dinámicos del sistema. A partir de esos datos tomados in situ, se validaron exitosamente en simulaciones en OpenFOAM. El estudio determinó las distintas capas de movimiento del viento vertical en el dosel arbóreo no homogéneo

3. Los estudios relacionados con la variedad, sus características físicas y morfológicas del dosel

La variedad y tipo de planta determinan el nivel de frondosidad del dosel y está relacionado con la porosidad del mismo. Estudios demuestran que es de importancia el análisis del grado de porosidad de la cortina forestal y su impacto, ya que es una medida de densidad de dosel, para determinar este parámetro, la técnica más utilizada es mediante el análisis de fotografías de la superficie frontal del cultivo donde incide el viento, lo que permite determinar el grado de porosidad óptica de las barreras de viento (Kučera et al., 2020). Otros autores proponen nuevos métodos para calcular la porosidad óptica de un cultivo con un sistema de escaneo láser móvil en túneles de viento donde se evalúa la variación de velocidad, estos nuevos métodos tienen un mayor grado de validación (Ru et al., 2023).

4. Los estudios orientados a la mitigación de los efectos nocivos del viento

En los últimos 5 años, las investigaciones están orientadas a evaluar la disposición, dimensiones y eficiencia de las cortinas rompevientos. (Cheng et al., 2019 ; Guo et al., 2021, Hesp et al., 2019; Ulmer et al., 2023).

Las grandes estructuras vegetales sirven de barrera para los flujos turbulentos, las cuales pueden disipar tanto partículas como el momento del viento dentro de un dosel y también funcionan como método de prevención para la erosión eólica dentro de los campos de cultivo (Qin et al., 2022).

5. Evaluación de los coeficientes de arrastre

Otra de las variables de análisis es el cálculo de la resistencia al viento de la vegetación, diversos autores estudian el coeficiente de arrastre. Para profundizar un poco más sobre ese aspecto Gonçalves, Linhares & Yojo (2020) hace una revisión de las publicaciones entre los años 1957 y 2018 en el que hace un estudio histórico pormenorizado sobre los coeficientes de arrastre en árboles urbanos comparando diversos estudios para comprender la interacción de los cultivos con el viento,

resaltando aspectos claves y consideraciones a tener en cuenta en las próximas investigaciones.

6. Avances en el estudio del comportamiento del viento

Se presentan nuevos modelos de simulación a través de softwares creados ad hoc (Renault et al., 2024). Otros autores han desarrollado modelos teóricos que describen el comportamiento del viento y la distribución de la velocidad del aire alrededor de cada planta, y modeliza la transición de la velocidad del flujo de aire de plantas individuales a plantas múltiples (Cheng et al., 2019).

Además de las variables estudiadas, se analiza el efecto de refugio, si bien aún no se comprende del todo, se cree que parte de esta reducción de la resistencia general parece ser una disminución de la presión y desaceleración del viento cuando grandes ráfagas impactan en las plantas. Se continúa con el estudio y evaluación de un sistema cortavientos en zonas con riesgo de erosión eólica para determinar el grado de protección como influye la porosidad óptica y la altura de los cortavientos

7. Otros estudios de interés

Cabe destacar que hay avances en la búsqueda de aumentar la eficiencia de los trabajos agronómicos, particularmente para el caso de viñedos se ha diseñado un algoritmo computacional que predice en función de la dirección del viento cómo se realiza la pulverización de fertilizantes y agroquímicos (Scagnellato et al., 2022). Algunas investigaciones evaluaron por diferentes métodos el nivel de pulverización y penetración de gotas en un dosel arbóreo (Ru et al., 2023). Estudios relacionados a la temática también evalúan los efectos de dispersión de semillas por el viento a través de cortinas forestales (Qin et al., 2022). Otros autores se dedican al estudio de la dirección de incidencia del viento (H'ng et al., 2022) y la presión en los flujos de viento que inciden en los obstáculos que encuentra a su paso (Zhang, 2021). Estos estudios podrían tener aplicabilidad en la agricultura, en el análisis del comportamiento del viento en los cultivos. Se presenta una recopilación de la evolución del estudio del impacto del viento en los cultivos desde el punto de vista de los procesos de transporte y la resistencia aerodinámica del cultivo. Además, se ofrecen nuevas perspectivas del estudio del viento que están poco estudiadas o no contempladas en estudios previos. En la modelación del flujo turbulento se abordan los métodos teóricos de simulación computarizada y experimentales como el uso de túneles de viento. Entre las ventajas de uso del CFD se destacan la rapidez, reducción de costos, y proporciona

más información, pero el comportamiento de estos programas son cajas negras y dependen de la construcción de la geometría representada.

CONCLUSIONES

más utilizadas en el estudio del comportamiento del viento. Surge el uso del machine learning para predecir el comportamiento del viento en base a datos obtenidos por datos experimentales de los túneles de viento y datos proporcionados por las simulaciones CFD.

Gran parte de las investigaciones se realizan en doseles homogéneos. Aunque hay autores que avanza sus investigaciones en doseles heterogéneos. Es necesario avanzar en el estudio en doseles altos y en doseles con variaciones significativas en la altura de sus elementos.

En el análisis del fluido, la mayoría de las investigaciones están orientadas al uso del enfoque euleriano de la trayectoria de las partículas, analizando en general el flujo del viento. Se considera que también es importante analizar el fenómeno desde el enfoque lagrangiano ya que es útil para estudiar el transporte de contaminantes, partículas en suspensión de suelo, polen o semillas, así como para simular el movimiento de objetos arrastrados por el viento ya que esto permite conocer en detalle las trayectorias que siguen las partículas y su deposición final.

En los aspectos relacionados con aplicabilidad de estas metodologías se considera que tienen un gran potencial de uso en el estudio de otras interacciones fluido - cultivos, por ejemplo 1) en la propagación de incendios, 2) en el examen del comportamiento físico de las vegetación con el viento, 3) en la evaluación del comportamiento de los bioaerosoles, 4) en el estudio de microclimas, 5) en la fertilización foliar de vegetales, 6) en el análisis de los flujos de las dispersiones de semillas y polen, 7) en la floración de plantas, y 8) en el estudio de la erosión eólica en cultivos.

A pesar de los avances significativos realizados en los últimos cinco años, es importante continuar con investigaciones que aborden la temática ampliando el estudio desde otras perspectivas tales como las que propusimos en el presente trabajo. Aún sigue siendo necesario indagar el grado de porosidad y la influencia varietal de los elementos que conforman las cortinas rompevientos, ya que aún sigue siendo un

método vigente para la disipación y el control del viento en los campos de cultivos.

REFERENCIAS

- An, L., Wang, J., Xiong, N., Wang, Y., You, J., & Li, H. (2022). Assessment of permeability windbreak forests with different porosities based on laser scanning and computational fluid dynamics. *Remote Sensing*, 14(14), 3331. <https://doi.org/10.3390/rs14143331>
- BenMoshe, N., Fattal, E., Leidl, B., & Arav, Y. (2023). Using machine learning to predict wind flow in urban areas. *Atmosphere*, 14(6), 990. <https://doi.org/10.3390/atmos14060990>
- BenMoshe, N.; Fattal, E.; Leidl, B.; & Arav, Y. (2023) Using Machine Learning to Predict Wind Flow in Urban Areas. *Atmosphere*, 14(6), Article Number 990. <https://doi.org/10.3390/atmos14060990>
- Brunet, Y. (2020). Turbulent Flow in Plant Canopies: Historical Perspective and Overview. *Boundary-Layer Meteorology* 177, 315–364. <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00560-7>
- Cheng, H., He, W., Liu, C., Zou, X., Kang, L., Chen, T., & Zhang, K. (2019). Transition model for airflow fields from single plants to multiple plants. *Agricultural and Forest Meteorology*, 266-267, 29–42. DOI: [10.1016/j.agrformet.2018.11.039](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.039)
- Chockalingam, G., Afshari, A. & Vogel, J. (2023). Characterization of Non-Neutral Urban Canopy Wind Profile Using CFD Simulations—A Data-Driven Approach. *Atmosphere*, 14 (3). Article Number 429. <https://doi.org/10.3390/atmos14030429>
- Cintolesi, C., Barbano, F., Trudu, P. L., Finco, A., Gerosa, G., & Di Sabatino, S. (2023). Characterisation of flow dynamics within and around an isolated forest, through measurements and numerical simulations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 339, Article Number 109557. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109557>.
- Gardiner, B. (2021). Wind damage to forests and trees: A review with an emphasis on planted and managed forests. *Journal of Forest Research*, 26(4), 248–266. <https://doi.org/10.1080/13416979.2021.1940665>
- Golberg, A. D. (2010). El viento y la vida de las plantas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 221-243. <https://bdigital.uncu.edu.ar/3558>
- Gonçalves, R., Linhares, C., & Yojo, T. (2020). Drag coefficient in urban trees. *Trees*, 37(4), 13-145. DOI: 10.1007/s00468-019-01951-1.
- Gonzales, H. B., Tatarko, J., Casada, M. E., Maghirang, R. G., Hagen, L. J., & Barden, C. J. (2019). Computational fluid dynamics simulation of airflow through standing vegetation. *Transactions of the ASABE*, 62(6), 1713–1722. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13449>

- Gough, H., King, M.-F., Nathan, P., Grimmond, C. S. B., Robins, A., Noakes, C. J., Barlow, J. F. (2019) Influence of neighbouring structures on building façade pressures: Comparison between full-scale, wind-tunnel, CFD and practitioner guidelines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 189, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.03.011>
- Guo, Z., Yang, X., Wu, X., Zou, X., Zhang, C., Fang, H., & Xiang, H. (2021). Optimal design for vegetative windbreaks using 3D numerical simulations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 323, 298–299, Article Number 108290. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108290>
- Hesp, P. A., Dong, Y., Cheng, H., & Booth, J. L. (2019). Wind flow and sedimentation in artificial vegetation: Field and wind tunnel experiments. *Geomorphology*, 337, 165–182. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.02>
- H'ng, Y. M., Ikegaya, N., Zaki, S. A., Hagishima, A. & Mohammad, A. F. (2022). Wind-tunnel estimation of mean and turbulent wind speeds within canopy layer for urban campus. *Urban Climate*, 41. Article Number 101064. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101064>.
- Ismail, J. J., Pane, E. A., Suyitno, B. M., Rahayu, G. H. N. N., Rhakasywi, D., & Suwandi, A. (2020). Computational fluid dynamics simulation of the turbulence models in the tested section on wind tunnel. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 1201–1209. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.012>
- Ismail, J. J., Pane, E. A., & Rahman, R. A. (2022). An open design for a low-cost open-loop subsonic wind tunnel for aerodynamic measurement and characterization. *HardwareX*, 12, e00352. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00352>
- Kim, R. W., Hong, S. W., Norton, T., Amon, T., Youssef, A., Berckmans, D., & Lee, I. B. (2020). Computational fluid dynamics for non-experts: Development of a user-friendly CFD simulator (HNVR-SYS) for natural ventilation design applications. *Biosystems Engineering*, 193, 232–246. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.005>
- Kučera, J., Podhrázká, J., Karásek, P., & Papaj, V. (2020). The Effect of Windbreak Parameters on the Wind Erosion Risk Assessment in Agricultural Landscape. *Journal of Ecological Engineering*, 21(2), 150–156. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/116323>.
- Lincango Casa, W. E. (2023). *Diseño y construcción de un túnel de viento a escala para obtener datos mediante pruebas aerodinámicas* [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio UISEK. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5040>
- Makedonas, A., Carpentieri, M., & Placidi, M. (2021). Urban boundary layers over dense and tall canopies. *Boundary-Layer Meteorology*, 181(1), 73–93. <https://doi.org/10.1007/s10546-021-00635-z>

- Kučera, J., Podhrázká, J., Karásek, P., & Papaj, V. (2020). The Effect of Windbreak Parameters on the Wind Erosion Risk Assessment in Agricultural Landscape. *Journal of Ecological Engineering*, 21(2), 150-156. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/116323>.
- Miri, A., Dragovich, D., & Dong, Z. (2017). Vegetation morphologic and aerodynamic characteristics reduce aeolian erosion. *Scientific Reports*, 7, Article Number 12831. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13084-x>.
- Mo, Z., Liu, C. H., Chow, H. L., Lam, M. K., Lok, Y. H., Ma, S. W., & Yip, P. Y. (2022). Roughness sublayer over vegetation canopy: A wind tunnel study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 319, Article Number 108880. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108880>
- Oberschelp, G. P. J., Harrand, L., Mastrandrea, C. A., Salto, C. S., y Florez Palenzona, M. H. (2020). *Cortinas forestales: rompevientos amortiguadores de deriva de agroquímicos*. Ediciones INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/21382>
- Phillips, D. A., y Soligo, M. J. (2019). Will CFD ever replace wind tunnels for building wind simulations? *International journal of High-Rise Buildings*, 8(2), 107-116. <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2019.8.2.107>
- Qin, X., Liang, W., Liu, Z., Liu, M., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Xin, Z., Wang, Z. & Zhou, Q. (2022). Plant canopy may promote seed dispersal by wind. *Scientific Reports*, 12(1). Article Number 63. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03402-9>
- Renault, M. A., Bailey, B. N., Stoll, R., & Pardyjak, E. R. (2024). A rapid method for computing 3-D high-resolution vegetative canopy winds in weakly complex terrain. *Frontiers in Earth Science*, 11, Article Number 1251056. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1251056>
- Rosenfeld, M., Marom, G., & Bitan, A. (2010). Numerical simulation of the airflow across trees in a windbreak. *Boundary-Layer Meteorology*, 135, 89–107. <https://doi.org/10.1007/s10546-009-9461-8>
- Ru, Y., Hu, C., Chen, X., Yang, F., Zhang, C., Li, J., & Fang, S. (2023). Droplet Penetration Model Based on Canopy Porosity for Spraying Applications. *Agriculture (Switzerland)*, 13(2), Article Number 339. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020339>.
- Scagnellato, L., Lecce, M., Bloise, N., Carreno Ruiz, M., Capello, E., & Guglieri, G. (2022). Adaptive path planning for spraying UAS in vineyard under variable wind condition. ICAS PROCEEDINGS 33th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (Vol. 7, pp. 5505-5519). International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS). <https://www.proceedings.com/content/068/068439webtoc.pdf>
- Sherman, D. J. (2020). Understanding wind-blown sand: Six vexations. *Geomorphology*, 366, Article Number 107193. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107193>

- Shnapp, R., Shapira, E., Peri, D., Bohbot-Raviv, Y., Fattal, E., & Liberzon, A. (2019). Extended 3D-PTV for direct measurements of Lagrangian statistics of canopy turbulence in a wind tunnel. *Scientific Reports*, 9, Article Number 7405. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43555-2>
- Torkelson, G., Price, T. A., & Stoll, R. (2022). Momentum and turbulent transport in sparse, organized vegetative canopies. *Boundary-Layer Meteorology*, 184(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10546-022-00698-6>.
- Ulmer, L., Margairaz, F., Bailey, B.N., Mahaffee, W. F., Pardyjak, E. R., & Stoll, R. (2023). A fast-response, wind angle-sensitive model for predicting mean winds in row-organized canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 329, Article Number 109273. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109273>.
- Wang, J., Patruno, L., Zhao, G., & Tamura, Y. (2024). Windbreak effectiveness of shelterbelts with different characteristic parameters and arrangements by means of CFD simulation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 344, 109813. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109813>
- Yan, J., Zhao, L., Zhang, Y., & Zhang, L. (2022). Wind tunnel study on convective heat transfer performance of vegetation canopies with different structures. *Building and Environment*, 223, 109470.
- Yusof, M. A. M., Sharila, S., Wan Mohtar, W. H. M., Idris, A. C., & Yusof, A. M. (2023). The application of OpenFOAM in modelling flow for vegetated channel. *Jurnal Kejuruteraan*, 35(4), 961–973. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2023-35\(4\)-19](https://doi.org/10.17576/jkukm-2023-35(4)-19)
- Zhang, Q. (2021). Experimental study of wind pressure on a long-span canopy roof structure using a wind tunnel. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45, 197-206 DOI: 10.1007/s40996-020-00400-1.
- Zhu, W. (2019). Models for wind tunnel tests based on additive manufacturing technology. *Progress in Aerospace Sciences*, 110, Article Number 100541. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2019.05.001>

* * * * *

La Serie Selección de Textos es una producción editorial del Centro de Estudios en Filosofía, Lógica y Epistemología (CeFiLoE), del Instituto de Filosofía de la Universidad de Valparaíso, Chile. Nace en el año 2013 con el propósito de abrir un espacio a los autores para la publicación de libros y capítulos en el área de la filosofía y disciplinas afines. Todos los trabajos son sometidos a arbitraje a doble ciego (double blind review).

La Serie es dirigida por el profesor Juan Redmond y es editada por Rodrigo López Orellana y Jorge Budrovich. Su Comité Científico lo componen destacados académicos nacionales e internacionales, cuya responsabilidad es asegurar la calidad de las publicaciones.

Sus objetivos generales son: i. ofrecer publicaciones académicas de calidad científica; ii. proporcionar a la comunidad de académicos y estudiantes un medio de publicación sin fines de lucro; y iii. publicar libros que sean accesibles para todos, sin un costo asociado.

Volumen 1 - 2013

Ciencia, Tecnología e Ingeniería. Reflexiones filosóficas sobre problemas actuales

Editores: Carlos Verdugo Serna & Juan Redmond Cesarino

Volumen 2 - 2013

Amauta y Babel. Revistas de disidencia cultural

Editores: Osvaldo Fernández D. & Patricio Gutiérrez D. & Braulio Rojas C.

Volumen 3 - 2015

Conceptos y lenguajes, en ciencia y tecnología

Editores: Guillermo Cuadrado & Juan Redmond & Rodrigo López Orellana

Volumen 4 - 2015

Hacer filosofía con niños y niñas. Entre educación y filosofía

Editores: Juan Estanislao Pérez & Juan Pablo Álvarez & Claudia Guerra Araya

Volumen 5 - 2015

Estudios y preludios. Contribuciones a la filosofía desde Valparaíso

Editores: Jorge Budrovich Sáez & Rodrigo López Orellana

Volumen 6 - 2016

De camino a la filosofía. Sobre el aprendizaje de la filosofía escribiendo

Editores: Juan Redmond & Rodrigo López Orellana & Jorge Budrovich Sáez

Volumen 7 - 2019

Discusiones contemporáneas en filosofía de la mente. Voces Locales

Editor: Pablo López-Silva

Volumen 8 - 2020

El jardín de senderos que se bifurcan y confluyen: Filosofía, Lógica y Matemáticas

Editores: Diego P. Fernandes & Rodrigo López-Orellana

Volumen 9 - 2022

Filosofía y crisis

Editores: Marcelo Arancibia Gutiérrez, Valentina Vera Cortés & Yerko Mejías Rabet

Volumen 10 - 2025

Estudios sobre Filosofía y Ciencia

Editores: Mario Tapia Ramírez & Lucas Hinojosa-López

www.selecciondetextos.cl