

ICU

Investigación, Ciencia y Universidad

Revista electrónica de difusión científica | ISSN: 2525-1783 | Año 2021 - Vol 5 / N° 6

EDITORIAL
UMAZA

CIENCIA
Y TÉCNICA

UNIVERSIDAD
MAZA

ICU Investigación, Ciencia y Universidad

Revista electrónica de difusión científica | ISSN: 2525-1783 | Año 2021 - Vol 5 / N° 6

EDITORIAL
UMA ZA

CIENCIA
Y TÉCNICA

UNIVERSIDAD
MA ZA

Objetivos y alcances

La Revista Investigación, Ciencia y Universidad (ICU), ISSN: 2525-1783, es la revista científica multidisciplinaria e interdisciplinaria gestionada y financiada por la Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza, Argentina.
<https://orcid.org/0009-0004-1098-2009>

Tiene como objetivo, desde su creación en 2016, la difusión de resultados de trabajos de investigación y trabajos teóricos que estén o hayan estado orientados al planteo y resolución de problemáticas regionales actuales, buscando aportar desde el desarrollo científico, a la concreción de un mundo mejor para todos y todas. Resulta clave el abordaje interdisciplinario para enriquecer las miradas y las lecturas de la realidad compleja que nos toca transitar.

En este sentido, difundir la ciencia y que esté al alcance de la ciudadanía, se hace imprescindible. Es por ello que la Revista ICU está arbitrada e indexada en Acceso Abierto y no tiene costo de publicación para autores/as ni para lectores/as.

La periodicidad de publicación es de un número anual de publicación permanente. Esto implica que los artículos se publican a medida van ingresando y siendo aprobados, entre el período calendario del 1 de enero al 31 de diciembre de cada año.

Se publican trabajos originales e inéditos que traten problemáticas significativas en al menos una de las siguientes áreas temáticas:

- Ciencias ambientales, agroindustrias y de la tierra
- Ciencias de la salud humana
- Ciencias sociales y humanas
- Ciencias veterinarias

Los formatos de publicación (Secciones de la Revista) y sus extensiones son:

- Artículos completos: 6 a 20 páginas.
- Revisiones: 6 a 20 páginas.
- Ensayos: 6 a 20 páginas.
- Métodos o protocolos: 6 a 20 páginas.
- Estudios de Caso: 6 a 20 páginas.
- Comunicaciones breves: de 2 a 5 páginas.
- Cartas al Editor: 2 a 4 páginas.
- Resúmenes de eventos científicos: extensión determinada por cada evento en particular.

Datos de la revista

Nombre: Revista Investigación, Ciencia y Universidad (ICU)
Sitio Web: <http://revistas.umaza.edu.ar/index.php/icu>
ISSN: 2525-1783
Correo de la revista: revistaicu@umaza.edu.ar
<https://orcid.org/0009-0004-1098-2009>
Institución: Universidad Juan Agustín Maza
Áreas responsables: Ciencia y Técnica - Editorial
Dirección postal y ubicación: Lateral Sur del Acceso Este 2245 (M5519). Guaymallén, Mendoza; Argentina
Teléfonos: -54 9 0261 4056200 internos 258 y 288
Sitio Web Institucional: <https://www.umaza.edu.ar>

Equipo Editorial

Editor en Jefe

Laura Pelegrina - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-4163-2314>

Editora ejecutiva

Lizzet Vejling - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-4638-7496>

Comunicación, diseño y edición

Mauricio Galeone - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina

Soporte Informático

Ezequiel Gómez y Gabriel Muñoz - Theke Solutions

Comité Editorial

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Ana Grijalda-Endara - Universidad de Guayaquil. Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-2194-2297>

Belén Levatino - Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.
<https://orcid.org/0000-0002-2194-2297>

Cristian Bevacqua - Universidad Nacional de Catamarca. Argentina. <https://orcid.org/0009-0008-1971-3808>

Fernando Gastón Iturburu - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-7389-8929>

Jorge Sisti - Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
<https://orcid.org/0009-0004-4792-9623>

José María Ciampagna - Ciampagna y Asociados. Argentina.
<https://orcid.org/0009-0004-4772-4695>

Martín Fanzone - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-3356-1811>

Néstor Oscar Pisciotta - Universidad Blas Pascal. Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. <https://orcid.org/0009-0008-2751-9650>

Virginia Mackern - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-9029-277X>

Ciencias de la Salud Humana

Aldo Calzolari - Instituto Universitario Hospital Italiano. Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-1823-4521>

Alejandro Español - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Segunda Cátedra de Farmacología, Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-8222-4259>

Claudio Fader - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Histología y Embriología. Laboratorio de la Fisiología y la fisiopatología del glóbulo rojo. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Odontología. Cátedra de Bioquímica General y Estomatológica. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-6495-5007>

Cristián Quintero - Universidad Juan Agustín Maza. Universidad de Mendoza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-4365-4189>

Daniela Quinteros - Unidad de Investigación y Desarrollo en Tecnología Farmacéutica. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ciencias Farmacéuticas. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-7459-7442>

Emilia Raimondo - Universidad Nacional de Cuyo. Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-2057-4506>

Fernando Venezuela - Instituto de Virología "Dr. J.M.Vanella". Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Médicas. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-4325-8998>

Ganna Dmytrenko - Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-6335-8822>

Laura López - Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-2302-522X>

Mariana Vallejo - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ciencias Farmacéuticas. Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-1498-8075>

Omar Barrionuevo - Universidad Nacional de Catamarca. Argentina. <https://orcid.org/0009-0001-2143-6095>

Ciencias Sociales y Humanas

Belén Levatino - Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-2194-2297>

Enzo Ricardo Completa - Universidad Nacional de Cuyo. Universidad Champagnat. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-9611-5336>

Esther Susana Borgarello - Universidad Blas Pascal. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-2290-5527>

Luisa Carolina González Ramírez - Universidad Nacional del Chimborazo. Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-4431-965X>

Marisa Pimienta - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0009-0008-0362-6929>

Rubén Aroca Jacome - Universidad de Guayaquil. Ecuador. <https://orcid.org/0000-0001-6179-085X>

Susana Gallar - Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-6866-1700>

Ciencias Veterinarias

Antonella Cáceres - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-9898-3524>

Daniela Ferré - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-4052-1922>

Gisela Neira - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Facultad de Ciencias Veterinarias y Ambientales, Universidad Juan Agustín Maza, Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-3429-7987>

Patricio Artigas Bascur - Universidad de Valencia. España. <https://orcid.org/0000-0002-2815-1324>

Roberto Mera y Sierra - Universidad Nacional de Cuyo. Universidad Juan Agustín Maza. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-7148-5418>

Silvana Scarcella - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Centro de Investigación Veterinaria de Tandil (CIVETAN). Argentina. <https://orcid.org/0000-0003-2865-0067>

Política de Acceso Abierto y Propiedad Intelectual

La Revista Investigación, Ciencia y Universidad (ICU), de acuerdo con su formato electrónico, utilizará para la gestión editorial el sistema OJS (Open Journal System), software libre de PKP que permite la edición de revistas en línea. Información del sistema OJS: <https://pkp.sfu.ca/>

Se edita bajo licencia Creative Commons 4.0 Internacional (Atribución-NoComercial-CompartirIgual) para salvaguardar los derechos de los autores y las versiones de los documentos incluidos. Por medio de esta licencia, se manifiesta que la distribución de las obras se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original, para salvaguardar los derechos de los autores y las versiones de los documentos incluidos y NO se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas.

Eres libre de: Compartir – copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar: remezclar, transformar y construir sobre el material.

Información de la licencia Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

La Revista ICU adhiere a las políticas argentinas y mundiales de Acceso Abierto, porque considera que es fundamental la difusión de la ciencia para el avance de la sociedad y la cultura y cree que el conocimiento debe estar con disponibilidad en línea, gratuito y sin restricciones. Es por ello que en su Res. N° 978/19, la Universidad Juan Agustín Maza adhirió a Ley Nacional de Acceso Abierto N° 26899/13. Se puede consultar la normativa en: <http://repositorio.umaza.edu.ar/handle/00261/1328>

La Revista ICU, por tanto es depositada y difundida en el Repositorio Digital Institucional, adherido y cosechado por el Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación.



Por conformar el núcleo de Repositorios Digitales argentinos y, por gestión del SNRD, la Revista ICU es cosechada también por La Referencia, Red de Repositorios de Acceso Abierto de América Latina.

Con el convencimiento de estas acciones e que ICU ha firmado la Declaración de Budapest: <https://www.budapestopenaccessinitiative.org/sign/signatures/> manifestando su apoyo a las acciones mundiales para la libre circulación del conocimiento.



La Revista podrá retirar de publicación cualquier artículo por causa debidamente justificada y/o reclamos de terceros. Los derechos de propiedad intelectual pertenecen siempre a los autores, así como su responsabilidad última sobre lo escrito. La Universidad Juan Agustín Maza reglamentó la propiedad intelectual en su Res. N°1400/2016. Se puede consultar la norma en: <http://repositorio.umaza.edu.ar/handle/00261/3028>

La Revista ICU declara su expreso rechazo al plagio. De acuerdo a la Ley Nacional de Propiedad Intelectual N° 11.723, sancionada el 26 de marzo de 1933 y a la Resolución Rectoral N° 1400/2016 que aprueba el Reglamento sobre Derechos de Protección de Resultados de Propiedad Intelectual, se considera, que es política institucional la preservación de derechos de autor, como manifestación del derecho a la protección intelectual y que el plagio es uno de los principales actos que atenta contra los derechos de protección intelectual de las obras. La Res. rectoral N° 87/21 que establece las Políticas de Protección de Derechos Intelectuales y Rechazo al Plagio se puede ver en: <http://repositorio.umaza.edu.ar/handle/00261/3060>

Para la detección de similitudes la Revista ICU utiliza el servicio proporcionado por Crossref y desarrollado por iThenticate–Similarity Check.



Postulando los escritos a publicación en Revista ICU, autores y autoras dejan expresa autorización a la Revista ICU de la difusión de sus escritos en la misma revista, en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Juan Agustín Maza «UMaza Digital» y sus cosechadores mundiales, así como en el medio que la misma considere pertinente para ayudar a la mejor difusión científico-académica del conocimiento y la libre circulación mundial del conocimiento. Autores y autoras pueden depositar la versión de la obra publicada en la revista y cualquier otra versión previa o posterior en Repositorios Institucionales o los medios que considere.

Índice

Prólogo	9
• Artículo completo	
Ciencias ambientales y de la Agroindustria	11
Análisis del modelo de cálculo utilizado para obtener el vapor de agua troposférico desde los retardos en la señal gnss en la región centro oeste de Argentina	12
<i>Analysis of the calculation model used to obtain tropospheric water vapor from the gnss signal delays in the central west region of Argentina</i>	
María Virginia Mackern, María Laura Mateo, María Fernanda Camisay, Patricia Alejandra Rosell, Tomás Weidmann, Agustín Gonzalez Romo	
Riesgos asociados a eventos de precipitaciones intensas en la región oeste del Gran Mendoza, Argentina	31
<i>Risk associated with intense precipitation events in the Gran Mendoza Area, Argentina</i>	
Georgina Marianetti , Juan Antonio Rivera	
Diagnóstico preliminar de la fitotoxicidad del agua de riego del arbolado público lineal de la ciudad de Mendoza, Argentina	43
<i>Preliminary diagnosis of the phytotoxicity of irrigation water in linear public trees in the city of Mendoza, Argentina</i>	
Marcos Giai, Gerardo Graña, María Elba Beatriz Damiani	
Ciencias de la Salud Humana	51
Ayuno Intermitente: ¿mito o realidad?	52
<i>Intermittent fasting: myth or reality?</i>	
Jessica Anabella Mussi Stoizik, Rocío Heredia, María Lucía Elías, María Virginia Avena, Paola Boarelli	
Ciencias de la Sociales y Humanas	60
Seguridad vial en Argentina y España: desafíos para la publicidad de bien público.	61
<i>Road safety in Argentina and Spain: challenges for public service advertising</i>	
Carolina Tomba, Andrés Allisiardi, María Cecilia Muñoz, Paula Cortellezzi	

Prólogo

Prof. Méd. Daniel R. Miranda
Rector - Universidad Juan Agustín Maza
rector@umaza.edu.ar
Universidad Juan Agustín Maza; Argentina

La Universidad Juan Agustín Maza está iniciando el ciclo académico 2021 y debemos reflexionar sobre todo lo vivido como institución universitaria de educación superior durante el año 2019 como consecuencia de COVID 19 provocado por SARS CoV 2. En este año nuestra institución cumplió el 60° aniversario de su creación.

La pandemia de COVID 19 ha provocado un verdadera sindemia (2 ó más epidemias simultáneas) acompañada de una verdadera infodemia.

Se puso en evidencia durante el 2020 la gran vulnerabilidad y fragilidad del sistema educativo en general y del ser humano en particular frente a una situación nunca vivida en tiempos contemporáneos.

Se afectó la vida cotidiana y emocional y como consecuencia del confinamiento se perdió la vida social y las rutinas de socialización.

No hubo tiempo para prepararse, debieron suspenderse todas las actividades presenciales y nos llevaron a una rápida y obligada adaptación de estudiantes, docentes, personal de apoyo y de gestión con nuevos modelos de liderazgos.

Se debió crear un nuevo ecosistema de comunicación priorizando estrategias, quizás nunca hubo tanto acceso a información sin embargo no siempre se comunicó bien y lo mejor. Fue primordial difundir en nuestra comunidad que estábamos juntos en este desafío y siempre dispuestos a acompañar a estudiantes y docentes.

En lo académico se debió migrar a los denominados Aprendizajes Remotos en Situación de Emergencia (ARSE) teniendo como principal apoyo a nuestras áreas de Educación a Distancia, Tecnologías de la Información, Sistemas y nuestro SIED (Sistema integral de educación a distancia) acreditado por CONEAU, siendo esto último una gran fortaleza institucional.

El gran apoyo de nuestros Docentes debe remarcar y se evidenció en el rediseño de contenidos curriculares para adecuarlos al contexto on line a través de plataformas y aplicaciones y mediante el dictado de actividades sincrónicas y asincrónicas. Más que nunca fue necesario una Universidad inclusiva, anticipativa y humana.

Fue fundamental la alfabetización digital de profesores, personal de apoyo, estudiantes y personal de gestión, lo cual ha marcado un hito trascendental, la brecha digital abarcó no solo el uso sino el acceso (servidores adecuados, dispositivos de wi fi) y el nivel conocimientos sobre las tecnologías (infraestructura - logística).

Las prácticas docentes fueron creativas e innovadoras, con gran flexibilidad y adaptación de la mayoría de nuestros docentes, estableciendo enfoque por competencias, implementando tutorías digitales y evaluación formativa y continua, cumpliendo siempre con los Objetivos del Plan Estratégico Institucional 2020 - 2024.

Se realizaron capacitaciones desde el área de Educación a Distancia sobre uso de plataformas y aplicaciones de modo permanente con elaboración de instructivos para las aulas virtuales y las mesas de exámenes.

El mayor impacto de los cambios paradigmáticos que se produjeron fue en los estudiantes de los primeros años de las carreras que no pudieron conocer prácticamente las instalaciones de la Universidad Maza, en los estudiantes y docentes de las sedes más alejadas, los alumnos en procesos de terminalidad (último año de cursado y los de Prácticas Profesionales Supervisadas).

Se establecieron normas de convivencia en la virtualidad, se continuó con la entrega de Títulos y Certificados Analíticos. Los posgrados se realizaron vía on line y la Colación de Grado de cada una de las Unidades Académicas se hizo por conectividad por primera vez en los 60 años de historia de nuestra casa de Altos Estudios.

Con relación a Extensión y Vinculación se implementaron Seminarios on line (Webinars) organizados por Unidades Académicas, Áreas y Sedes la mayoría relacionados con la pandemia de SARS CoV 2. Se replantearon los modelos y alcances de internacionalización y se activó el Voluntario por conectividad. Se realizaron más de 150 Webinars.

En lo Administrativo Financiero: el personal de apoyo inició de inmediato actividades por Teletrabajo, se ejecutaron importantes inversiones en Tecnologías de la Información, un control sobre morosidad y bajas, con refinanciamiento de cuotas, prórrogas de pagos arancelarios. Se puso en actividad el Comité de Retorno Escalonado a la Presencialidad (CREP) que junto al área de Universidad Saludable, Comité de Seguridad y Crisis, área de Comunicación y otras, elaboraron Protocolos, Procedimientos e Instructivos para reforzar Higiene y Bioseguridad de todas las instalaciones universitarias. El Retorno Escalonado a la presencialidad de trabajos prácticos esenciales e imprescindibles como también de Prácticas Profesionales Supervisadas fue aprobado por las jurisdicciones municipales, provinciales y nacionales tanto a nivel de educación como de salud. Este retorno fue : parcial, temporario, voluntario y abierto e incluso en PPS relacionados con carreras de la Salud : solidario.

Se trabajó a través del Sistema de Gestión de Calidad en el aval de los mencionados Protocolos e incluso se realizó la Auditoría Externa de Mantenimiento y extensión de alcance en el mes de noviembre por conectividad.

Con respecto a la función i+d se suspendieron todas las actividades en laboratorios, institutos y observatorios. Desde la dirección del área de Ciencia y Técnica se implementaron capacitaciones on line para becarios e investigadores. Se continuó con la 3ra etapa del proceso de Evaluación del PEI de la agencia de Ciencia y Técnica, presentando el Plan de Mejoras. Con gran éxito se realizaron las III Jornadas Internacionales de Ciencia, Investigación y Universidad en el marco de los 60 años de la Universidad Maza y totalmente por conectividad: con 1040 asistentes, 84 horas de transmisión, más de 40 auspicios, 204 disertaciones (179 nacionales y 25 internacionales/ Brasil, Chile, Uruguay, Perú, Méjico, España), con 90 postulaciones nacionales y 7 extranjeras, los bloques por modalidades fueron 15 orales de investigadores, 4 simposios, 3 conferencias magistrales, 2 mesas redondas, 2 foros, 1 diálogo con expertos y 1 capacitación. Se llevaron adelante 3 Jornadas en simultáneo: XII UMaza, III ICU y I Jornadas Iberoamericanas de Fasciolosis.

Se establecieron los temas estratégicos institucionales (6) de investigación para el período 2020 - 2024 y las líneas prioritarias para el abordaje de dichos temas. Con gran satisfacción la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica (a través de FONCyT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación ha adjudicado los 7 proyectos de investigación presentados por Universidad Maza a través del convenio que dio origen al PICTO firmado entre la mencionada Agencia y todas las Universidades de Mendoza a principios del 2018, significando ello un hecho histórico ya que el gobierno nacional decidió invertir en el desarrollo científico regional, permitió una alianza donde accedieron a financiamiento del estado universidades y equipos de investigadores que de otra forma no lo hubieran podido hacer, llevó al trabajo en conjuntos de todas las secretarías / áreas de Ciencia y Técnica de nuestras universidades generando una mesa de trabajo que perdura. Todo esto significa para la Universidad Maza un gran compromiso no solo en lo económico (subsidios - rendiciones) sino también en la formación de investigadores y en la atención de los problemas de la matriz productiva regional a solucionar a través de la ciencia, tecnología e innovación.

Vamos por un 2021 épico, luego de un 2020 con grandes aprendizajes en donde nos reinventamos y resignificamos en el día a día.

“ Cuidarse ahora, para reencontrarse pronto”

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Análisis del modelo de cálculo utilizado para obtener el vapor de agua troposférico desde los retardos en la señal GNSS en la región centro oeste de Argentina

Analysis of the calculation model used to obtain tropospheric water vapor from the GNSS signal delays in the central west region of Argentina

Mackern, María Virginia^{1,2,3}; Mateo, María Laura^{2,3};
Camisay, María Fernanda^{2,3}; Rosell, Patricia Alejandra^{1,2,3};
Weidmann, Tomás³; Gonzalez Romo, Agustín³

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

² Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería. Mendoza. Argentina.

³ Universidad Juan Agustín Maza. Facultad de Ingeniería. Mendoza. Argentina.

Contacto: vmackern@mendoza-conicet.gob.ar
Autor de correspondencia: Mackern, María Virginia

Palabras claves: IWV, ZTD, GNSS, TM, Radiosonda, SIRGAS
Keywords: IWV, ZTD, GNSS, TM, Radiosonde, SIRGAS

Resumen

El agua en su estado gaseoso, es el principal regulador de la temperatura superficial del planeta. La técnica utilizada tradicionalmente para medir el vapor de agua atmosférico, a través de radiosondas, resulta insuficiente para monitorear la variabilidad tanto espacial como temporal. Esta variable genera un retardo en la señal GNSS al atravesar la atmósfera, por lo cual desde hace tres décadas se viene trabajando en recuperar el contenido de vapor de agua, en forma indirecta desde las mediciones GNSS. En el modelo de cálculo se aplica un parámetro crítico, la temperatura media de la columna atmosférica. Se han desarrollado varios modelos para calcularla, la gran mayoría basados en observaciones de radiosondas lanzadas principalmente en el hemisferio norte.

En este trabajo se compara la aplicación de 3 modelos de temperatura media, el de Bevis, el de Mendes y el de Yao. En este último se analizan dos grupos de coeficientes correspondientes a dos sectores de latitud sur, sobre el centro oeste de Argentina.

También se ha analizado la influencia de distintos coeficientes de la refracción, en el factor que relaciona la componente húmeda del retardo troposférico y el vapor de agua. Se consideraron los coeficientes propuestos por Thayer y por Rüeger.

Se concluyó que tanto el modelo de Mendes como el de Bevis para el cálculo de la temperatura media son los que mejor representan la variabilidad espacial y temporal de la variable, en la región de estudio. Respecto a los coeficientes de la refracción utilizados en el modelo de cálculo, sus diferencias no son significativas pudiendo utilizarse cualquiera de ellos.

Abstract

Water in its gaseous state is the main regulator of the planet's surface temperature. The technique traditionally used to measure atmospheric water vapor, through radiosondes, is insufficient to monitor both spatial and temporal variability. This variable generates a delay in the GNSS signal when it passes through the atmosphere, for which for three decades work has been done to recover the water vapor content, indirectly from GNSS measurements. In the calculation model a critical parameter is applied, the average temperature of the atmospheric column, T_m . Several models have been developed to calculate the vast majority in radiosonde observations launched mainly in the northern hemisphere.

In this work, the application of 3 models of mean temperature is compared: Bevis, Mendes and Yao. In the latter, two groups of coefficients corresponding to two sectors of southern latitude are analyzed, over the central west of Argentina.

The influence of different coefficients of refraction on the factor that relates the wet component of the tropospheric delay and the water vapor has also been analyzed. In this case, the coefficients proposed by Thayer and Rüeger were considered.

It was concluded that both the Mendes and Bevis models for the calculation of the mean temperature are those that best represent the spatial and temporal variability of the variable, in the study region. Regarding the refraction coefficients used in the calculation model, their differences are not significant and any of them can be used.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Introducción

La Tierra es un sistema complejo en el que convergen gran cantidad de variables. Es conocido el rol fundamental que ocupa el agua en el desarrollo de la vida en nuestro planeta. En su estado gaseoso, el vapor de agua atmosférico, es objeto de constante estudio. Es el gas más abundante del efecto invernadero como principal regulador de la temperatura superficial del planeta. En la troposfera inferior, el vapor de agua atmosférico actúa como el principal recurso de precipitación en todos los sistemas meteorológicos, y dominando la estructura de calentamiento diabático en la troposfera [Trenberth *et al.* 2005]. El vapor de agua juega un papel importante en el desarrollo de, por ejemplo: eventos de precipitación extrema [Fujita y Sato, 2017; Barindelli *et al.*, 2018]; lluvia asociada con ciclones que se profundizan rápidamente en latitudes medias [McMurdie y Katsaros, 1996]; desarrollo de granizo [Guerova *et al.*, 2013; Calori *et al.*, 2016]; y, precipitación orográfica asociados con los ríos atmosféricos [Smith *et al.*, 2010].

Si bien mucho se conoce del vapor de agua y su incidencia sobre el planeta, la medición del mismo aún está limitada tanto espacial como temporalmente. Un mejor conocimiento de esta variable permitirá una mejor comprensión de los procesos atmosféricos, facilitando así también el pronóstico meteorológico. La mayor dificultad que presenta la comprensión de la distribución de vapor de agua se debe principalmente a su propia complejidad, tanto de movimiento como de transporte a lo largo de la atmósfera, resultando en una variable altamente cambiante en el tiempo y en el espacio. El conocimiento de esta variable requiere de una medición permanente y en lo posible a partir de una amplia red de observación que asegure su monitoreo espacial.

Tradicionalmente el vapor de agua integrado (IWV) de la columna de aire atmosférica por sobre un sitio, se ha medido a partir de radiosondas lanzadas en lugares específicos a las 0 h y 12 h de tiempo universal coordinado (UTC). Estas si bien se complementan a partir de las mediciones radiométricas sobre mares y océanos, con mediciones realizadas desde radiómetros a bordo de satélites, presentan inhomogeneidades en las series temporales de IWV, asociadas a cambios en el instrumental de las distintas misiones satelitales (Dessler y Davis, 2010; Mieruch *et al.*, 2014).

Por todo lo expuesto el monitoreo del iwv, no es suficiente y resulta imprescindible implementar nuevas técnicas que brinden mayor cobertura espacial y una mejor resolución temporal, que describa en lo posible su variabilidad horaria.

Frente a esta demanda surge la técnica, basada en la extracción del vapor de agua desde los retardos cenitales troposféricos (ZTD), sobre la señal GNSS (*Global Navigation Satellite System*) [Davis, J.L. *et al.*, 1985], como una alternativa muy potente por sus dos principales ventajas:

- Densificación temporal: permite realizar mediciones continuas, las 24 horas del día, los 365 días del año, con intervalos de muestreo que pueden ir desde el segundo a los 60 o 120 minutos.
- Densificación espacial: se dispone en América Latina de una amplia red de estaciones de observación GNSS, SIRGAS-CON (≈ 350 estaciones GNSS, operativas promedio en los últimos 5 años), que sobrepasa notablemente a la cantidad de estaciones de radiosondeo, sobre dicha región (≈ 45 estaciones de radiosondeo operativas promedio en los últimos 5 años, disponibles desde el sitio de la Universidad de Wyoming y reportadas desde IGRA, *Integrated Global Radiosonde Archive*).

La posibilidad de estimar el contenido de IWV desde las observaciones GPS (*Global Position System*) [Bevis *et al.* 1992] es una técnica utilizada a nivel global desde la red del IGS (*International GNSS Service*), densificada y muy aprovechable. Esta técnica geodésica puede ser utilizada como una importante herramienta de apoyo a otras ciencias orientadas a la investigación del clima. Las estimaciones actuales del retardo troposférico sobre las observaciones GNSS permiten inferir valores de IWV con alta precisión, equivalente a la esperada a partir de las técnicas de observación directa, como radiosondas y radiómetros de microondas (Bonafoni *et al.*, 2013; Van Baelen *et al.*, 2005; Calori *et al.*, 2016).

En América, se dispone de la red de estaciones GNSS continuas del proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, www.sirgas.org) operativa como red de monitoreo geodésico, desde el año 2000 a la fecha, con un índice de crecimiento promedio de 26 estaciones nuevas por año. Cuenta actualmente con más de 420 estaciones GNSS continuas distribuidas en los diferentes países de América Latina y el Caribe (Cioce *et al.*, 2018). La misma es utilizada con fines geodésicos y en lo que respecta a estudios atmosféricos está siendo utilizada para estudios ionosféricos [<http://www.sirgas.org/es/iono-maps/>] y recientemente para análisis de la atmósfera neutra, estimando retardos troposféricos [<http://www.sirgas.org/es/tropo-delays/>].

Estas estaciones son procesadas rutinariamente por los Centros de Análisis SIRGAS (AC), siguiendo las pautas y estándares establecidos por el Servicio Internacional de Rotación y Sistemas de Referencia de la Tierra (IERS) y el IGS (International GNSS Service). Desde el 2014, el procesamiento de datos GNSS incluye la estimación de los valores de ZTD por hora basados en observaciones GPS y GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* - Sistema de navegación global por satélite creado por Rusia) (Camisay *et al.*, 2020; Sánchez *et al.*, 2015 y Brunini *et al.*, 2012).

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Pacione *et al.* (2017) muestra el gran potencial que una red GNSS continental ofrece a los estudios atmosféricos. La red permanente de Europa, EUREF *Permanent GNSS Network* (EPN) (Bruyninx *et al.*, 2019) ha aportado una base de información valiosa para el desarrollo de registros de datos climáticos de productos troposféricos GNSS en el continente, utilizándose como referencia en los re-análisis numéricos de predicción del clima y en simulaciones de modelos climáticos, para monitorear tendencias y variabilidad del iwv. También Guerova *et al.* (2016), muestran las ventajas de la aplicación de productos troposféricos GNSS en la predicción y en el monitoreo del clima.

Entre los antecedentes referidos al uso de estaciones GNSS para la estimación de iwv en América del Sur podemos mencionar a Bianchi *et al.* (2016) quienes presentan la estimación de los valores medios de iwv y sus tendencias durante 2007-2013, en cien estaciones SIRGAS-CON. Calori *et al.*, (2015), propone una metodología de procesamiento, con intervalos de muestreo de 2 horas, aplicando técnicas de post-procesamiento, la cual permite alcanzar productos troposféricos de gran precisión, pero con un retardo de entre 15 y 20 días posteriores a la fecha de la observación.

Analizando detalladamente el modelo de cálculo propuesto por Askne y Nordius (1987), es posible estimar el contenido de iwv de la columna de aire sobre la estación GNSS, a partir de dos parámetros considerados variables empíricas del cálculo. La componente húmeda del retardo cenital troposférico (ZWD) extraída del ZTD en las estaciones GNSS y la temperatura media de la columna atmosférica sobre el sitio (T_m).

Respecto a la primera se resuelve disponiendo del dato de presión atmosférica *in situ*, ya que con la misma se calcula la componente hidrostática del retardo (ZHD), según Davis *et al.* (1985), y restando dicho valor al ZTD se determina el ZWD (Mackern *et al.*, 2020).

En cuanto a la T_m , resulta un parámetro crítico en el cálculo del vapor de agua (Davis *et al.*, 1985). Existen varios modelos para calcular la T_m , la gran mayoría de los mismos se basan en la relación de ésta con la temperatura a nivel de la superficie del terreno. Los mismos son modelos empíricos obtenidos desde mediciones realizadas e integradas a lo largo de perfiles de radiosondeos, algunos en América como fue el caso del modelo BTm (Bevis 1992) y otros globales como UNB98Tm1 (Mendes 1999) y GTm (Yao *et al.*, 2014), entre otros.

En el factor de proporcionalidad (designado como Π), que relaciona la variable ZWD con iwv, intervienen los coeficientes de la refracción atmosférica (Askne y Nordius, 1987). Estos también han sido definidos empíricamente por diferentes autores. En Calori *et al.* (2016) se validaron estimaciones de iwv, calculadas aplicando los coeficientes de Thayer (1974), sobre la región centro oeste de Argentina. Rüeger (2002) sugirió el reemplazo de los coeficientes antes mencionados por un grupo de coeficientes que responden mejor a las ondas en el espectro de radio (caso de la señal GNSS).

El objetivo de este trabajo consiste en analizar el impacto sobre el cálculo del iwv al utilizar distintos modelos de la temperatura media de la troposfera, como la influencia de diferentes coeficientes de la refracción sobre la señal GNSS. Se presenta en primer lugar un análisis comparativo de 3 modelos de T_m : UNB98Tm1 (Mendes 1999), BTm (Bevis 1992) y GTm (Yao *et al.*, 2014), 2 casos de este último.

En un segundo análisis se compara la influencia sobre el cálculo del vapor de agua, de 3 diferentes grupos de coeficientes de refracción: Thayer (1974), «Best available» (Rüeger, 2002) y «Best average» (Rüeger, 2002).

Ambas validaciones se han realizado, en la región centro oeste de Argentina, en 3 sitios donde se dispone de estación GNSS y estación de radiosondeo. Se han considerado como referencia los valores correspondientes (T_m en el primero e iwv en el segundo) extraídos de los perfiles de radiosondeo de la región.

Materiales y métodos

Modelo de cálculo del iwv desde ZTD

Conforme al modelo de cálculo propuesto por Askne y Nordius (1987), el iwv se puede obtener aplicando el factor de proporción Π a la componente húmeda del retardo cenital troposférico (ZWD), ecuación (1)

$$IWV = \Pi * ZWD \quad (1)$$

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

En (1) el vínculo entre zwd e iww viene dado por la cantidad adimensional de proporcionalidad Π , ecuación (2) (Askne y Nordius, 1987):

$$\Pi = 10^5 / \left(K_2' + \frac{K_3}{T_m} \right) R_w \quad (2)$$

R_w es la relación de la constante molar del gas y la masa molar del vapor de agua, igual a 0,461499. El coeficiente K_2' , se calcula por la expresión $K_2' = K_2 - m \cdot K_1$, en la cual la constante m es la relación de las masas molares de vapor de agua (M_w : 18,0152 g/moles) y aire seco (M_d : 28,9644 g/moles). Las constantes físicas K_1 , K_2 y K_3 son las correspondientes a la fórmula (3) utilizada para la refractividad atmosférica (Rüeger, 2002) y han sido determinadas por varios autores.

$$N_r = K_1 \frac{P_d}{T} + K_2 \frac{P_w}{T} + K_3 \frac{P_w}{T^2} \quad (3)$$

Donde P_d es la presión parcial de aire seco, P_w es la presión parcial del vapor de agua (ambas presiones expresadas en hPa), K_i son constantes y T es la temperatura (en grados Kelvin).

La variable crítica T_m en (2), es la temperatura media en la columna atmosférica sobre el sitio de estudio (Davis *et al.* 1985; Bevis *et al.* 1992). Existen varios modelos para calcular la T_m , la gran mayoría de los mismos se basa en la relación de ésta, con la temperatura (en grados Kelvin) a nivel de la superficie del terreno, T_s , según la ecuación (4).

$$T_m = a + b T_s \quad (4)$$

$$T_m = \frac{\int_H^\infty \frac{e}{T} dz}{\int_H^\infty \frac{e}{T^2} dz} = \frac{\sum \frac{e_i}{T_i} \Delta h_i}{\sum \frac{e_i}{T_i^2} \Delta h_i} \quad (5)$$

$$e = 6,11 * 10^{(7,5 * dwpt / (237,7 + dwpt))} \quad (6)$$

Los parámetros a y b , se determinan empíricamente desde mediciones realizadas a lo largo de perfiles de radiosondeos (Yao *et al.*, 2014), según la ecuación (5), en donde T_i es la temperatura promedio entre las temperaturas medidas en dos niveles consecutivos de la radiosonda ($(T_{i-1} + T_i) / 2$) y de igual forma, la variable e_i , es la presión de vapor de agua promedio entre dos niveles consecutivos. Esta se calcula en función de la temperatura de rocío ($dwpt$, en °C) en cada nivel del perfil, mediante la ecuación (6). Empíricamente las integrales se limitan a la sumatoria del aporte de cada nivel i del perfil al cual le corresponde un espesor de atmósfera Δh_i (diferencia de las alturas de dos niveles consecutivos).

Algunos modelos que permiten el cálculo de la T_m se han basado en radiosondeos sobre América del Norte, un ejemplo es el conocido internacionalmente modelo de Bevis (1992) y algunos se han determinado a partir de radiosondeos distribuidos globalmente, como por ejemplo Mendes (1999) y Yao (2014).

Retomando la ecuación (1), el zwd se obtiene sustrayendo, al ZTD estimado en la estación GNSS, la correspondiente componente hidrostática (ZHD). Esta puede calcularse según Davis *et al.* (1985), por la ecuación (7), introduciendo como datos la latitud geodésica (φ), la altura elipsoidal (h) y la presión atmosférica (en hPa) en el sitio de la estación GNSS (P_{GNSS}) donde se ha estimado el ZTD . Cabe mencionar que por ser la P_{GNSS} variable, es necesario disponer de la misma con el mismo intervalo de tiempo que se dispone del ZTD .

$$ZHD = 0,002276738 \times \frac{P_{GNSS}}{1 - 0,00266 \cos(2\varphi) - 0,28 \cdot 10^{-6} \cdot h_{GNSS}} \quad (7)$$

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Para obtener la P_{GNSS} en cada uno de los sitios de las estaciones GNSS continuas se utilizan registros de estaciones meteorológicas a los cuales se les aplican las reducciones correspondientes detalladas en Mackern *et al.*, (2020).

Datos, estaciones GNSS y radiosondeo utilizados

La red SIRGAS-CON, es una red de estaciones GNSS continuas, procesada semanalmente por tratarse de la red que densifica el marco de referencia geocéntrico internacional en América Latina y el Caribe (Cioce *et al.*, 2018). Son parte de dicha red más de 40 estaciones argentinas (Figura 1), las cuales, a partir de un procesamiento oficial diario en el contexto de SIRGAS, cuentan con productos troposféricos (ZTD) cada 1 hora (Mackern *et al.*, 2020). Este estudio se realizó sobre el centro oeste de Argentina, para lo cual se contó con las correspondientes series de ZTD (2014-2018) de las estaciones SIRGAS-CON de la región. Se seleccionaron tres estaciones GNSS, Mendoza (MZAC), Santa Rosa, La Pampa (SRLP) y Neuquén (MA01) por contar con estación de lanzamiento de radiosondeo en la cercanía.

La búsqueda de los sitios de radiosondeo, en la región de estudio, se realizó para poder disponer de mediciones directas del vapor de agua, por un método independiente. Dichos valores se consideraron como referencia, por tratarse del método tradicionalmente utilizado. De los 7 sitios de lanzamiento de radisonda en Argentina se seleccionaron 3. La estación SAME, ubicada en el aeropuerto de Mendoza (32,83° S; 68,78° W), la estación SAZR, en el Aeropuerto de Santa Rosa, la Pampa (36,56° S; 64,33° W) y la estación SAZN, en el Aeropuerto de Neuquén (36,76° S; 68,10° W) (Figura 1). Los perfiles de radiosondeo fueron descargados desde el sitio oficial de la Universidad de Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

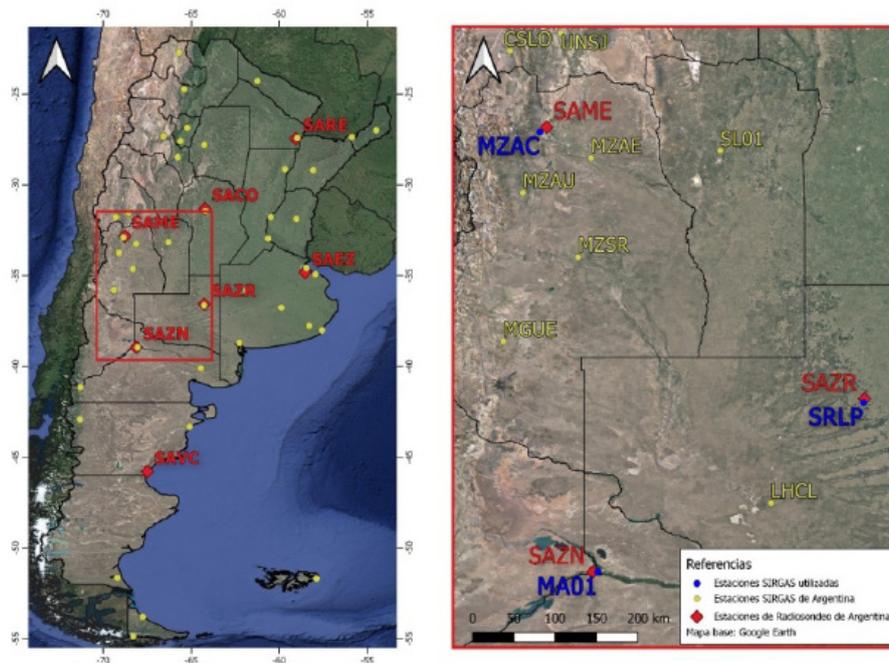


Figura 1. Estaciones GNSS y radiosondeo de Argentina (izquierda). Región de estudio y estaciones utilizadas (derecha).

Cabe mencionar que la Organización Meteorológica Mundial recomienda un perfil de radiosondeo diario a las 12 h UTC. Por lo cual la mayoría de las estaciones disponen de tales registros. En algunos casos, dependiendo del contexto sinóptico en el que se encuentre la región, se dispone de un segundo perfil diario a las 00 h UTC. Resultando como máximo la disponibilidad de dos radiosondeos diarios en cada estación. En ocasiones el costo significativo de la radiosonda ha repercutido en faltantes sobre las correspondientes series temporales. En la tabla 1 se detalla la cantidad de sondeos disponibles utilizados en este trabajo. Es notorio el faltante de perfiles de radiosondeo (74,8% de faltantes en promedio para los sondeos de las 00 h UTC y 32,9 % en promedio para los sondeos de las 12 h UTC) en las estaciones de la zona de estudio. Esta misma situación presentan la gran mayoría de los países latinoamericanos, lo cual destaca la contribución que ofrece la técnica alternativa para el cálculo del i_{wv} , desde los retardos en la señal GNSS de estaciones que se encuentran operativas, sin ningún costo adicional en infraestructura de observación.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Tabla 1. Cantidad de perfiles de radiosondeo disponibles (a las 00 h y 12 h UTC) en las estaciones de radiosondeo analizadas (Fig. 1).

Estación	SAME		SAZR		SAZN		TOTAL	
	00 h	12 h	00 h	12 h	00 h	12 h	00 h	12 h
2014	0	0	0	289	0	193	0	482
2015	128	166	0	154	0	0	128	320
2016	359	365	0	361	0	0	359	726
2017	355	359	310	363	0	200	665	922
2018	273	354	229	358	0	282	502	994
2019	0	341	0	345	0	279	0	965
Total	1115	1585	539	1870	0	954	1654	4409
faltante	49,1%	27,6%	75,4%	14,6%	100%	56,4%	74,8%	32,9%

Modelos comparados de temperatura media de la atmósfera, T_m

Como se mencionó anteriormente la mayoría de los modelos de T_m se basan en la relación de ésta, con la temperatura (en Kelvin) a nivel de la superficie del terreno, T_s, según la ecuación (4). En este trabajo se analizaron 3 modelos que responden a la relación lineal de dicha ecuación: UNB98Tm1 (Mendes 1999), BTm (Bevis *et al.* 1992) y dos casos del modelo GTm (Yao *et al.* 2014), para los rangos de latitud que cubren el territorio argentino. El correspondiente a las latitudes 15° S a 30° S y el de latitudes 30° S a 45° S.

Tabla 2. Coeficientes a y b (ecuación 4) de los modelos de T_m comparados

Modelo de T _m	a	b
UNB98Tm1 [Mendes 1999]	50,4000	0,7890
BTm [Bevis <i>et al.</i> 1992]	70,2000	0,7200
GTm (latitud 15 °S-30 °S) [Yao <i>et al.</i> 2014]	76,5865	0,7045
GTm (latitud 30 °S-45 °S) [Yao <i>et al.</i> 2014]	-15,9259	1,0224

En la tabla 2 se enuncian los correspondientes cuatro grupos de coeficientes (a y b) de los modelos comparados. El objetivo fue determinar cuál de los modelos de cálculo analizados, representa mejor a la variabilidad (espacial y temporal) de la T_m en la región de estudio.

Se utilizaron como referencia los valores de T_m calculados a partir de la sumatoria de los aportes correspondientes a cada nivel del radiosondeo, calculados con las variables temperatura (T) y presión del vapor de agua (e), registradas en función de la altura, en la trayectoria de cada perfil de radiosondeo, conforme a las ecuaciones (5) y (6) (Davis *et al.*, 1985 y Yao *et al.*, 2014). La validación se realizó en las tres estaciones de radiosondeos mencionadas, disponibles en la región centro oeste de Argentina (CWA). El período analizado fue de abril del 2014 a julio del 2018. Se consideraron los 2 lanzamientos diarios disponibles (a la 00 h y 12 h UTC), en algunos casos se dispuso sólo del correspondiente a las 12 h (tabla 1). El análisis se realizó por separado dada la significativa variabilidad de temperatura entre el día (12 h) y la noche (00 h).

Coeficientes de refracción, K₁, K₂ y K₃

Como se mencionó, no existe un único grupo de coeficientes en la fórmula (3) del índice de refracción (Rüeger, 2002). En este trabajo se ha analizado la influencia sobre el cálculo del iwv de 3 grupos distintos de coeficientes. Los definidos por Thayer (1974) por ser particularmente muy utilizados en el campo de la geodesia (por ejemplo, Herring 1992, Jarlemark 1994, Mendes 1999) y dos grupos descritos por Rüeger (2002) como «Best available» (en este trabajo denominados Rüeger) y «Best average» (en este trabajo denominados RüegerAverage), recomendados para el cálculo de la refractividad anómala (Tabla 3).

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Tabla 3: Coeficientes de la fórmula de refractividad atmosférica analizados

	K ₁ [K/mbar]	K ₂ [K/mbar]	K ₃ [K ² /mbar]	K ₂ ' [K/mbar]
Thayer 1974	77,604	64,79	3,776 10 ⁵	16,52
Rüeger 2002, "Best available"	77,695	71,97	3,75406 10 ⁵	23,645472
Rüeger 2002, "Best average"	77,6890	71,2952	3,75463 10 ⁵	22,9744

Para este análisis se consideraron los valores de IWV calculados en las 8 estaciones SIRGAS-CON ubicadas dentro del área de estudio (Figura 1). En cada estación se dispuso de veinticuatro valores diarios de ZTD. Para el cálculo del IWV se utilizaron las ecuaciones 1, 2, 4 y 7, con los valores de Ts y P extraídos del modelo de reanálisis ERA Interim [Berrisford *et al.*, 2011; Dee *et al.*, 2011]. Se utilizó este reanálisis siguiendo la metodología de Calori *et al.* (2016), su utilización y precisión ha sido probada por diferentes autores [Bock and Parracho, 2019; Wang *et al.*, 2020]. Se obtuvieron cuatro valores diarios, dada la disponibilidad de estos últimos (00, 06, 12 y 18 h UTC). Este proceso de cálculo se repitió tres veces, con cada uno de los grupos de coeficientes mencionados (tabla 3). En las Figuras 2, 3 y 4 se pueden ver las series de IWV calculadas, considerando en el cálculo de Π los 3 grupos de coeficientes comparados, en las 3 estaciones de validación.

Para el análisis comparativo se tomó como referencia el valor del vapor de agua extraído de las mediciones de los correspondientes perfiles de radiosondeo en cada sitio (SAME, SAZR y SAZN). Esta validación fue sólo posible a la 00 h UTC (1654 radiosondeos) y a las 12 h UTC (4409 radiosondeos). Se pueden observar en las figuras de las series de iwv, los periodos de ausencia de observaciones de radiosondeo (en acuerdo con la información de tabla 1) y los faltantes del iwv calculado en base a los distintos coeficientes, debido a inexistencia del ZTD (lo cual se atribuye a ausencia o mala calidad de las observaciones GNSS).

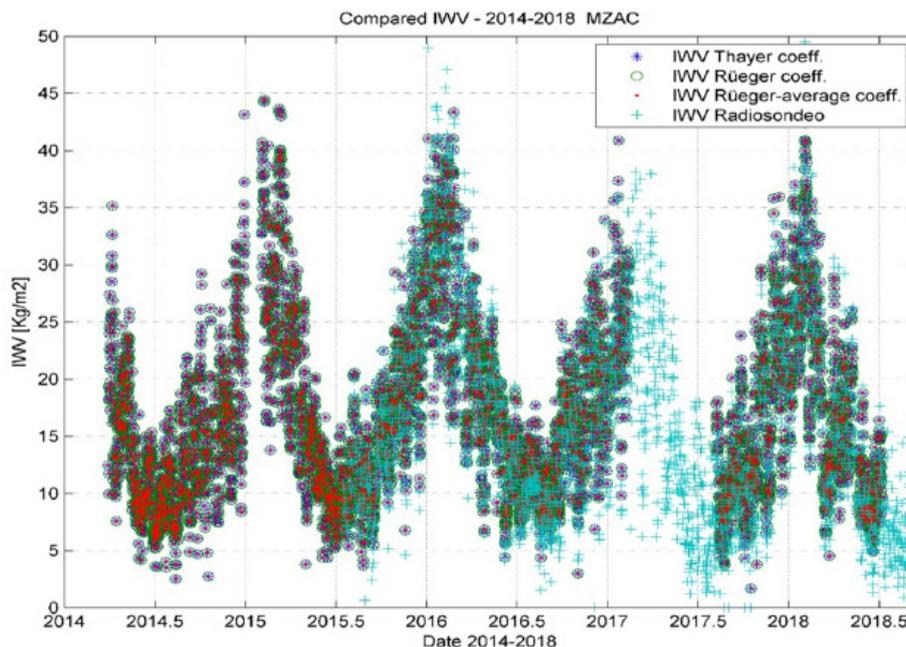


Figura 2. iwv calculados en estación GNSS MZAC (Mendoza Ciudad), Radisondeo: SAME.

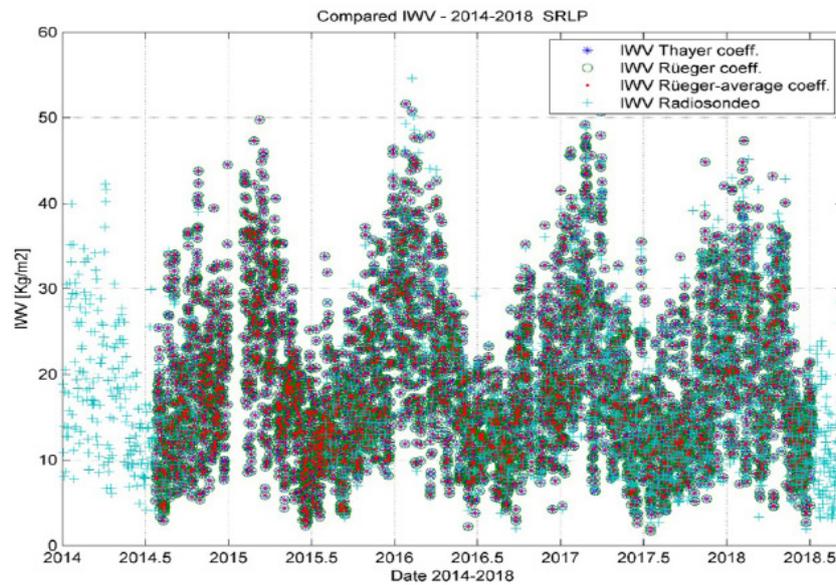


Figura 3. IWV calculados en estación GNSS SRLP (La Pampa, Santa Rosa), Radisondeo: SAZR.

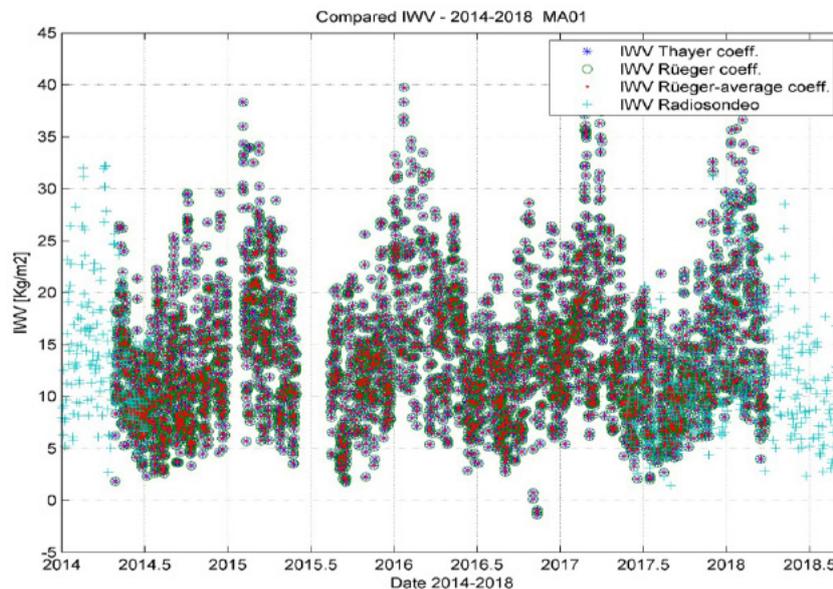


Figura 4. IWV calculados en estación GNSS MA01 (Neuquén), Radisondeo: SAZN.

Resultados

Variabilidad de la Tm calculada desde los 3 modelos de Tm

Las Figuras 5 a 8 muestran los valores de Tm correspondientes a dos de las estaciones de validación, MZAC (RS: SAME) y SRLP (RS: SAZR), a las 00 h y 12 h UTC.

En el total de las estaciones muestreadas se observa, como los cuatro grupos de coeficientes analizados representan la variabilidad estacional, tanto en horario diurno (12 h UTC) como nocturno (00 h UTC). Cuando no se dispuso de radiosondeo los valores de Tm no se graficaron.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Se observa en el periodo analizado, que en la estación de radiosondeo SAME (sitio GNSS MZAC) (Figura 5 y 6) no se dispuso de radiosondeos hasta el mes de junio del año 2015 en ambos horarios. Para el caso de la estación SAZR (sitio GNSS SRLP), se dispuso de radiosondeos a las 00 h desde el 2017 (Figura 7). Para el caso del lanzamiento a las 12 h no se pudo disponer de radiosondeos entre noviembre del 2014 y agosto de 2015 (Figura 8). En la estación SAZN (sitio GNSS MA01) no se dispuso de radiosondeos a las 00 h, hasta octubre del 2017 y no se dispuso de radiosondeos a las 12 h durante los años 2015 y 2016 (no mostrado). Todos estos faltantes de vapor de agua estimado desde radiosondeo, podrían cubrirse con el iwv calculado desde el ZTD en las correspondientes estaciones GNSS operativas.

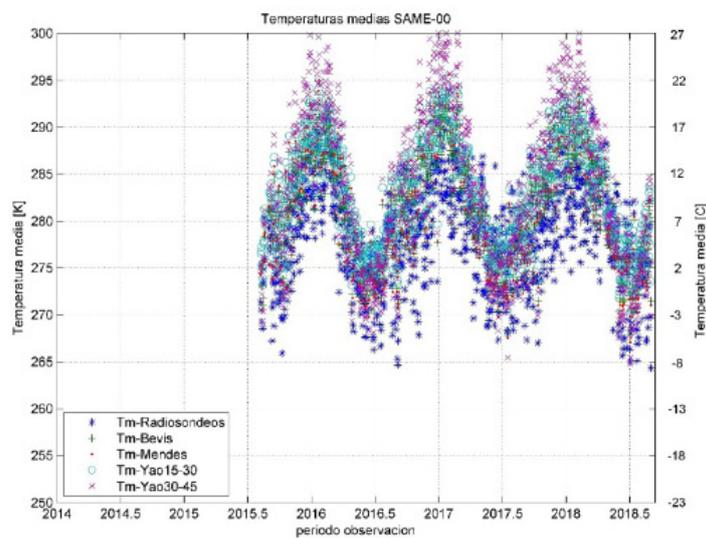


Figura 5: Tm calculadas desde los distintos modelos, estación MZAC (RS: SAME), 00 h UTC.

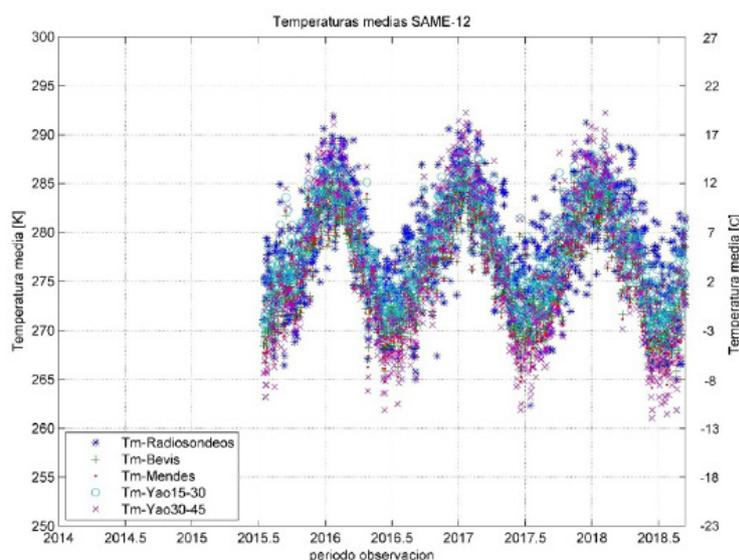


Figura 6: Tm calculadas desde los distintos modelos estación MZAC (RS: SAME), 12 h UTC.

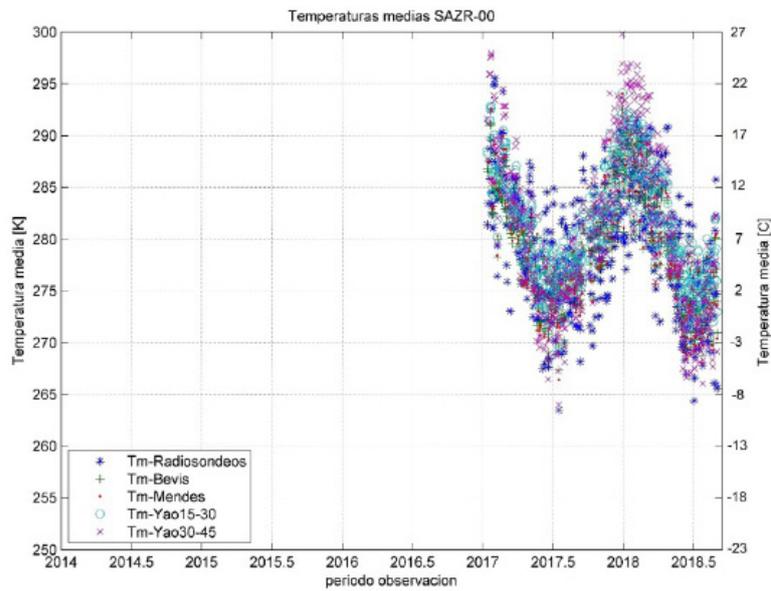


Figura 7. Tm calculadas desde los distintos modelos, estación SRLP (RS: SAZR), 00 h UTC.

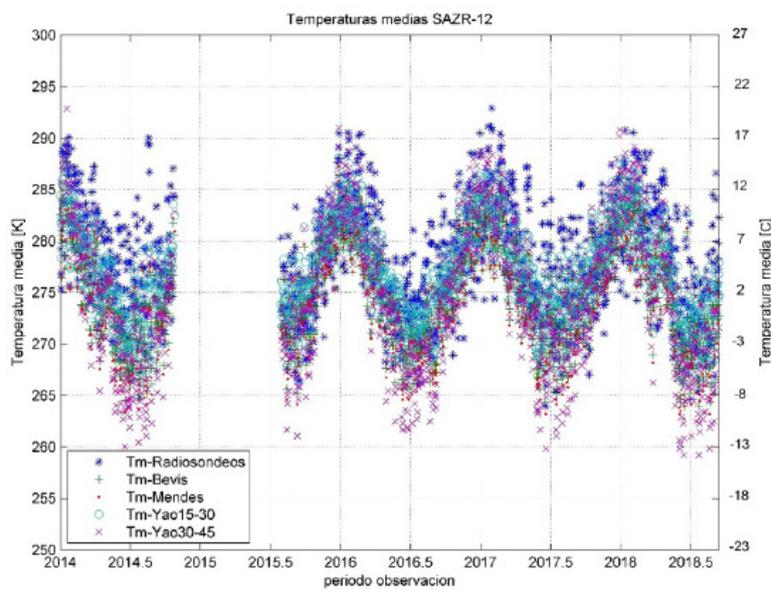


Figura 7. Tm calculadas desde los distintos modelos, estación SRLP (RS: SAZR), 00 h UTC.

Validación de los modelos de Tm comparados

Con los valores de Tm obtenidos se calcularon las diferencias con respecto a Tm obtenida de la integración de radiosondeos ($Tm_{RS} - Tm_{Bevis}$, $Tm_{RS} - Tm_{Mendes}$, $Tm_{RS} - Tm_{Yao\ 15-30}$, $Tm_{RS} - Tm_{Yao\ 30-45}$).

Para cada uno de los modelos se calculó el desvío estándar y la media (sesgo) de las diferencias respecto a las Tm calculadas con los perfiles de radiosondeo. Teniendo en cuenta que la Tm depende en gran medida del sitio, se calculó el desvío estándar y el sesgo medio para cada sitio (Figura 9), y se promediaron los índices estadísticos entre las tres estaciones. De igual manera se compararon las variables estadísticas con respecto a los dos horarios analizados (Figura 10).

Analizando el desvío estándar y rango (diferencias entre valores máximos y mínimos) de la muestra (tabla 4), tanto en el análisis por hora, como por estación, el modelo de Yao_{30_45} presenta la mayor dispersión. Si analizamos la media de las diferencias como indicador del sesgo, tanto en sus valores promedios por sitio y por horario, el modelo mencionado presenta en algunos casos sesgo positivo y en otros negativos. Por todo lo mencionado, se concluye que el modelo de Yao_{30_45} es el que menos representa la variabilidad de Tm comparado con los valores de Tm de radiosondeo. Por lo cual, no fue considerado en la segunda parte del análisis.

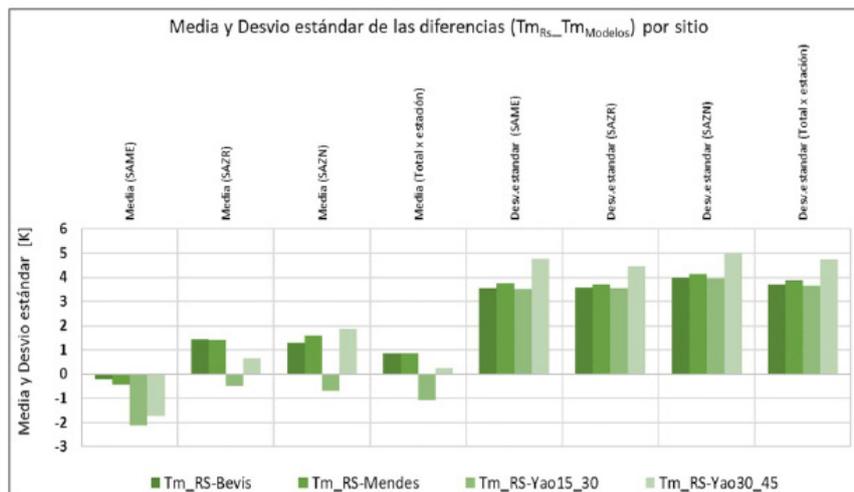


Figura 9. Comparación de los 4 modelos de Tm [K] con respecto a Tm de radiosondeo, por sitio (SAME, latitud: 32 ° S, SAZR, latitud: 36,5 ° S y SAZN, latitud: 36,7 ° S).

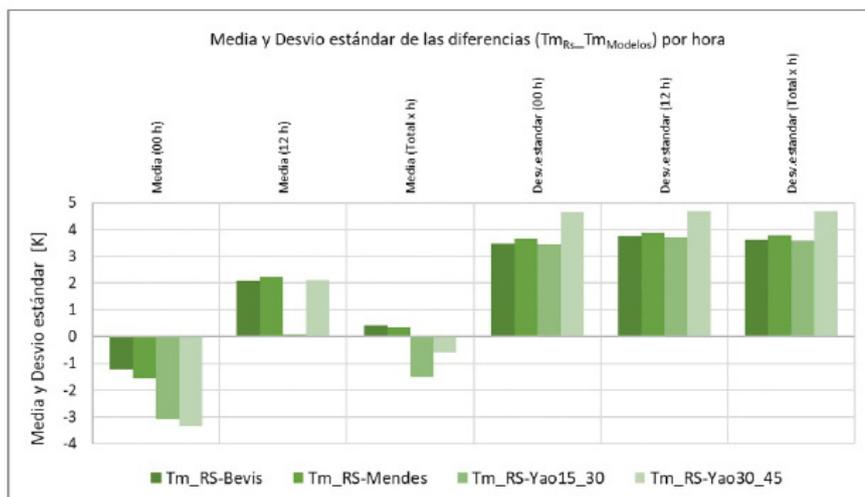


Figura 10. Comparación de los 4 modelos Tm [K], con respecto a Tm de radiosondeo, diurno (12 h), nocturno (00 h) y promedio.

Tabla 4. Rangos promedios del total de la muestra, por sitio y por horario para cada modelo analizado.

	Tm_RS-Bevis	Tm_RS-Mendes	Tm_RS-Yao15_30	Tm_RS-Yao30_45
Rango (Total x estación)	23,125	23,838	22,965	27,670
Rango (Total x h)	22,869	23,529	22,720	27,039
Rango (Total Gral)	22,996	23,697	22,838	27,284

En un segundo análisis se compararon los valores medios (promedios de las 3 estaciones, para los 2 horarios) de la «media» de las diferencias, como indicador del sesgo de la Tm calculada por cada uno de los modelos analizados con respecto a la Tm de radiosondeo y el «desvío estándar», como índice de dispersión (tabla 5).

Tabla 5. Estadísticos promedios de la comparación de los modelos Tm [K].

	Tm_RS-Bevis	Tm_RS-Mendes	Tm_RS-Yao15_30
Media (sesgo)	0,75	0,72	-1,18
Desv. estándar	3,64	3,80	3,62

Los modelos de Tm de Mendes y Bevis presentan los menores valores de media. Analizando el desvío estándar, los tres modelos resultaron muy similares, lo cual se observa con mayor detalle en las figuras 9 y 10. Si bien el modelo de Mendes presenta una dispersión mayor (0,2 K) que los otros dos modelos, tal diferencia no es significativa dada la precisión que se requiere en la Tm para el cálculo del iwv. Por todo lo mencionado podemos concluir que tanto el modelo de Mendes como el de Bevis pueden ser utilizados para calcular la Tm de la atmósfera representando la variabilidad espacial y temporal, en la región centro oeste de Argentina para el periodo de estudio (2014-2018).

Validación de los 3 grupos de coeficientes de la refracción

En los tres sitios de validación se calcularon las diferencias entre los iwv calculados desde el ZTD aplicando los 3 grupos de coeficientes y los iwv extraídos de los correspondientes radiosondeos ($IWV_{GNSS} - IWV_{RS}$).

En primer lugar se calcularon los valores medios (sesgo) y el desvío estándar de las diferencias (Tabla 6).

Tabla 6. Índices estadísticos «media y desvío estándar» de las diferencias $IWV_{GNSS_{ki}} - IWV_{RS}$, por sitio.

Modelo (i) Estaciones	Media [kg/m2]			Desvío estándar [kg/m2]		
	Thayer	Rüeger best available	Rüeger best average	Thayer	Rüeger best available	Rüeger best average
MZAC (RS:SAME)	0,770	0,781	0,787	2,358	2,356	2,356
SRLP (RS:SAZR)	-0,179	-0,169	-0,163	2,425	2,425	2,425
MA01(RS:SAZN)	0,413	0,420	0,425	1,569	1,569	1,570
Promedio total	0,335	0,344	0,350	2,117	2,117	2,117

Se observa que el sesgo y la dispersión de las diferencias es característico del sitio, y no permite determinar diferencias entre los iwv calculados con los distintos grupos de coeficientes. Para poder evaluar la significancia de las diferencias entre los iwv calculados aplicando los distintos grupos de coeficientes, se realizaron pruebas estadísticas, de normalidad y de hipótesis.

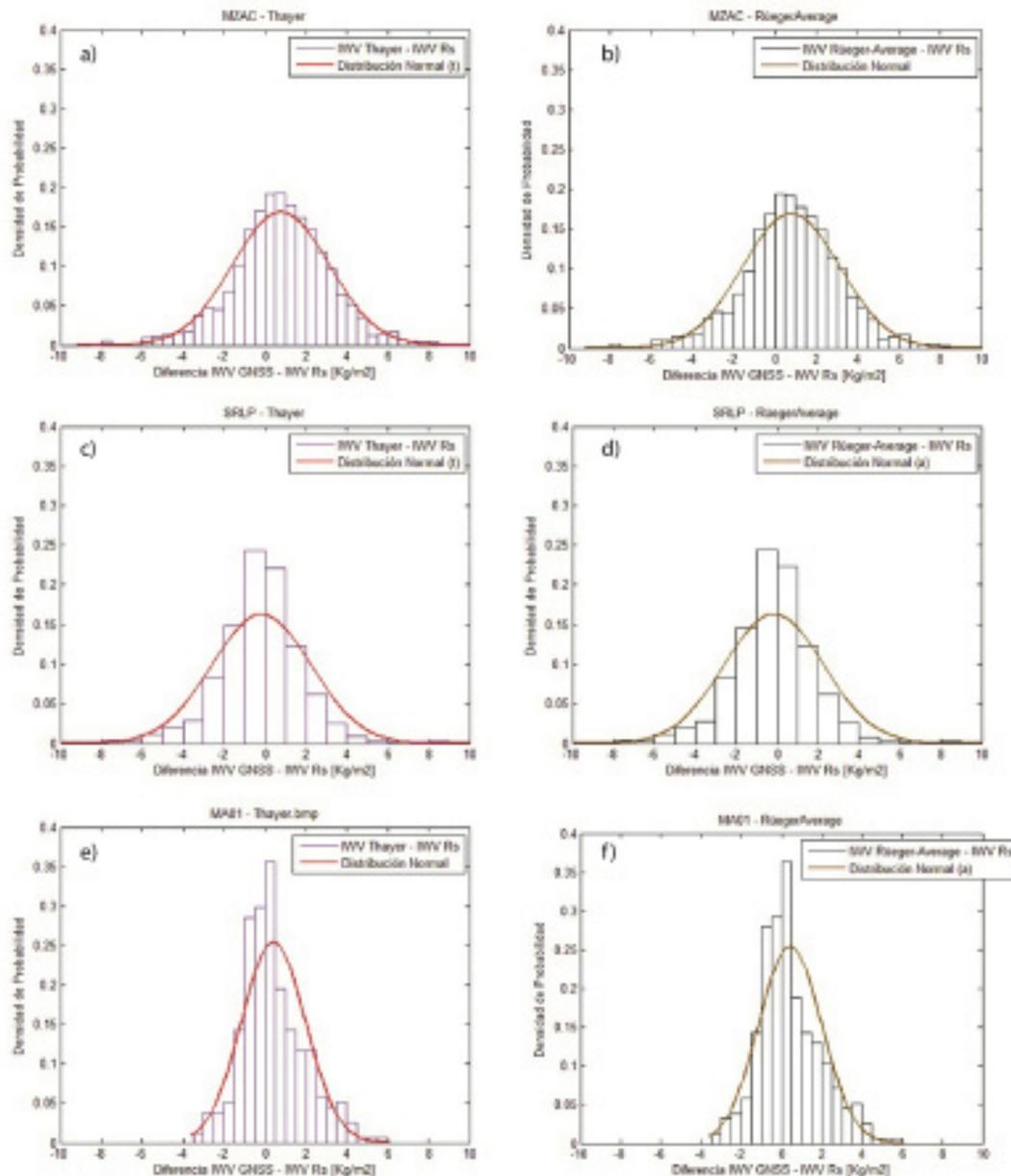


Figura 11. IWV_{GNSS}(con coeficientes de Thayer) -IWV_{RS} [a] GNSS: MZAC-RS:SAME; c) GNSS: SRLP -RS:SAZR ; e) GNSS: MA01 -RS:SAZN]. IWV_{GNSS} (con coeficientes de Rüeger «best average») -IWV_{RS} [b] GNSS: MZAC-RS:SAME; d) GNSS: SRLP -RS:SAZR ; f) GNSS: MA01 -RS:SAZN].

En la figura 11 se pueden observar los histogramas de las diferencias en los 3 sitios, aplicando los coeficientes de Thayer (Figura 11, a, c y e), y aplicando los coeficientes de Rüeger «best average» (Figura 11, b, d y f). La distribución de error aplicando los coeficientes de Rüeger «best available» dio muy similar al anterior (no se muestra). Si bien de la observación de los histogramas se percibe una distribución normal, la significancia de las pruebas de normalidad aplicadas (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) en cada sitio, indicaron que las muestras no presentan distribución normal, por lo cual se realizaron pruebas de hipótesis «No paramétricas».

Se aplicó la prueba «no paramétrica ANOVA de una vía de Kruskal-Wallis», por tratarse de 3 variables a comparar. La prueba estadística se aplicó por separado para cada estación, en todos los casos se consideró un $\alpha=0,05$ (95% de confiabilidad). En la tabla 7 se detallan las significancias encontradas en cada sitio.

Tabla 7. Significaciones asintóticas ANOVA, de Kruskal-Wallis, variables dependientes « $\text{dif}(\text{IWV}_{\text{GNSS}_k} - \text{IWV}_{\text{RS}}) [\text{kg}/\text{m}^2]$ », $\alpha=0,05$.

Estación	Significaciones asintóticas prueba ANOVA de una vía de Kruskal-Wallis
MA01_SAZN	0,992
MZAC_SAME	0,970
SRLP_SAZR	0,959

En todos los casos la significancia (p valor) resultó mayor que 0,05 por lo cual se aceptó la hipótesis nula planteada: «no existen diferencias significativas entre las medias de las variables de los 3 grupos muestreados (diferencias entre los iwv calculados por cada uno de los 3 grupos de coeficientes y el iwv de radiosondeo)».

Discusión y conclusiones

Como se ha expresado a lo largo del trabajo, conocer la variación espacial y temporal del contenido de vapor de agua en la atmósfera es de significativa importancia para estudios del clima tanto globalmente como regionalmente y puede resultar un considerable aporte a los modelos numéricos del tiempo. Sin embargo, la medición tradicional, de esta variable atmosférica es muy compleja y requiere de instrumentos de medición muy costosos, como es el caso de las radiosondas. Como consecuencia de esto, se identifican como limitantes: la insuficiente distribución de estaciones en el territorio argentino y el significativo faltante (54 %, promedio entre diurno y nocturno, para 5 años en 3 de 5 estaciones de radiosondas de Argentina analizadas) que se produce, cuando por diferentes motivos no se pueden realizar tales mediciones.

Se ha presentado como metodología alternativa, el cálculo del iwv desde los retardos cenitales en la señal GNSS de las estaciones continuas (Askne y Nordius, 1987).

En Calori *et al.* (2016) se aplica la metodología de cálculo descrita en el estudio de tormentas severas en los Andes Centrales Argentinos, utilizando el modelo de Mendes (1999) para el cálculo de la temperatura media y los coeficientes de refracción según Thayer (1974). Camisay *et al.* (2020) muestran un muy buen acuerdo entre los valores de iwv obtenidos desde los retardos cenitales troposféricos de estaciones GNSS y los correspondientes de radiosondeos en la región de estudio. En dicho trabajo se aplicó también el modelo de Mendes para calcular T_m y los coeficientes «best average» según Rüeiger (2002).

Basados en los antecedentes, se decidió realizar en este trabajo un análisis tanto de los modelos de cálculo de T_m , como de los coeficientes de la refracción a aplicar en el factor de proporcionalidad Π , que según Askne y Nordius (1987) permiten calcular el iwv desde el zwd. Considerando como referencia las variables tanto de iwv como de T_m , de las estaciones de radiosondeo. Se han evaluado 3 modelos de T_m (uno de ellos en dos aplicaciones) y 3 grupos de coeficientes de la refracción, en la región centro oeste de Argentina.

En lo que respecta al modelo de cálculo de la T_m , se concluye de la serie analizada (abril de 2014 a Junio de 2018) en tres sitios de estudio, que tanto el modelo denominado UNB98Tm1 desarrollado por Mendes (1999) como el modelo BTm desarrollado por Bevis *et al.* (1992) son los que mejor representan la variabilidad espacio-temporal de la temperatura media de la columna atmosférica en la región, confirmando los resultados obtenidos por Mackern *et al.* (2020), donde se compararon 10 sitios distribuidos a diferentes latitudes en América Latina.

En cuanto al análisis de los coeficientes de refracción, fueron analizados 3 modelos diferentes: Thayer (1974), Rüeiger «best average» y Rüeiger «best available» (Rüeiger, 2002). Del análisis de las medias y desvío estándar, de sus diferencias con respecto al iwv de radiosondeo, se observa un muy buen acuerdo entre los 3 grupos. Las diferencias encontradas, en los tres modelos resultan despreciables frente a la precisión en el cálculo del iwv (2 Kg/m²) que ofrece esta técnica indirecta (van Malderen *et al.*, 2014).

De los resultados de pruebas estadísticas de comparación de medias se concluyó con el 95% de confianza, que los valores calculados de iwv, con los 3 distintos grupos de coeficientes son homogéneos y representan la variabilidad temporal del iwv, considerando como referencia el iwv desde radiosondeos.

Se concluye que si bien Rüeiger, (2002) recomienda no usar los coeficientes de la refracción de Thayer, se ratifican los resultados de Fernández *et al.*, (2010) y Calori *et al.*, (2015), que mediante el uso de los mismos en la fórmula de Askne y Nordius

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

(1987) han obtenido precisiones en el IWV desde los retardos húmedos en la señal GNSS en diferentes regiones de Argentina, similares a las logradas en estudios de América del Norte (Bevis *et al.*, 1992). Resultados muy similares se obtienen utilizando los coeficientes sugeridos por Rüeger, (2002).

Dado el acuerdo promedio que se ha encontrado en los tres sitios de validación se concluye que el IWV puede calcularse desde los retardos de la señal GNSS en las estaciones continuas de la región, con un sesgo promedio de 0,343 kg/m² y un desvío estándar medio de 2,117 kg/m² (Tabla 6). Estos resultados se encuentran dentro de los rangos de precisión publicados en estudio previos (Kuo *et al.*, 1993, Rocken *et al.*, 1993, Tregoning *et al.* 1998, Calori *et al.*, 2016, Mackern *et al.*, 2020) validados con radiómetros de vapor de agua, radiosondeos y productos finales del IGS.

Se verifica la metodología propuesta tanto en Calori *et al.*, (2016) como en Camisay *et al.*, (2020), resultando que en ambas se garantiza el cálculo de vapor de agua con la precisión mencionada. Ambos modelos han sido analizados en este trabajo para el cálculo de las variables necesarias, temperatura media y coeficientes de refracción, en las estaciones de la región CWA.

Como conclusión final de este trabajo, se destaca que es posible utilizar las 8 estaciones GNSS de la región como estaciones de monitoreo de IWV, implementando el modelo de cálculo detallado aplicando Askne y Nordius (1987) con T_m por Mendes (1999) o Bevis (1992) y los coeficientes (K_1 , K_2 y K_3) por Thayer (1974) o por Rüeger (2002). Este procedimiento permitirá aumentar significativamente el muestreo de la variable IWV con intervalos de 1 hora (intervalo de los ZTD estimados desde el procesamiento de observaciones GNSS), complementando los únicos dos valores diarios (00 y 12 h UTC) que se obtiene tradicionalmente en sólo tres estaciones de radiosondeo, de la región.

Por último, cabe mencionar que esta metodología es extrapolable a todo el territorio argentino, pudiendo ampliar la cantidad de sitios de monitoreo de IWV, desde 5 estaciones de radiosondeo (7 según el periodo), a aproximadamente 40 estaciones GNSS argentinas incorporadas en el procesamiento de la red continental SIRGAS-CON. Las cuales son procesadas actualmente y cuentan con sus correspondientes series temporales de ZTD, para 5 años (2014-2019), ya calculadas y validadas (Mackern *et al.*, 2020).

Agradecimientos

Los autores agradecen la tarea silenciosa de los responsables de las estaciones GNSS, los centros de datos y los centros de análisis SIRGAS (CHL, DGF, ECU, IBG, IGA, LUZ, URY y UNA), sin los cuales esta investigación no hubiera sido posible.

Los datos de ERAinterim utilizados fueron proporcionados por ECMWF. Los datos de radiosonda fueron proporcionados por Wyoming Weather Web, Universidad de Wyoming.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Bibliografía

- Askne, J. and Nordius, H. (1987). Estimation of tropospheric delay for microwaves from surface weather data. *Radio Sci.*, 22, 379-386, <https://doi.org/10.1029/RS022i003p00379>
- Barindelli, S., Realini, E., Venuti, G., Fermi, A., Gatti, A., (2018). Detection of water vapor time variations associated with heavy rain in northern Italy by geodetic and low-cost GNSS receivers. *Earth Planets Space* 70, 28. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0795-7>.
- Berrisford, P, Dee, DP, Poli, P, Brugge, R, Fielding, M, Fuentes, M, Källberg, PW, Kobayashi, S, Uppala, S, Simmons, A, (2011). «The ERA-Interim archive Version 2.0». *ERA Report*. Shinfield Park, Reading, 11/2011
- Bevis M, Businger S, Herring TA, Rocken C, Anthes RA, Ware RH (1992). GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. *J Geophys Res* 97(D14):15787-15801
- Bianchi, C.E., Mendoza, L.P.O., Fernández, L.I., Natali, M.P., Meza, A.M., Moirano, J.F., (2016). Multi-year GNSS monitoring of atmospheric IWV over Central and South America for climate studies. *Ann. Geophys.* 34, 623-639.
- Bock, O. and Parracho, A.C (2019). Consistency and representativeness of integrated water vapour from ground-based GPS observations and ERA-Interim reanalysis. *Atmos. Chem. Phys.* 2019, 19, 9453-9468.
- Bonafoni, S., Mazzoni, A., Cimini, D., Montoponi, M., Pierdicca, N., Basili, P., Ciotti, P., Carlesimo, G., (2013). «Assessment of water vapor retrievals from a GPS receiver network», *GPS Solutions*, vol. 17, n. 4, pp. 475-484, 2013.
- Brunini, C., Sánchez, L., Drewes, H., Costa, S., Mackern, V., Martínez, W., Seemuller, W., da Silva, A., (2012). Improved Analysis Strategy and Accessibility of the SIRGAS Reference Frame, in: Kenyon S., Pacino M., Marti U. (Eds), *Geodesy for Planet Earth. International Association of Geodesy Symposia*, vol 136. Springer, Berlin, Germany, pp. 3-10.
- Bruyninx, C., Legrand, J., Fabian, A. et al. GNSS metadata and data validation in the EUREF Permanent Network. *GPS Solut* 23, 106 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0880-9>
- Calori, A.V., Colosimo G., Crespi, M., Mackern, M.V., (2015). Comparison of different techniques for retrieving the ZWD over South America and surrounding oceans. *International Association of Geodesy Symposia* vol. 142
- Calori, A., Santos, J.R., Blanco, M., Pessano, H., Llamado, P., Alexander, P., de la Torre, A., (2016). Ground-based GNSS network and integrated water vapor mapping during the development of severe storms at the Cuyo region (Argentina). *Atmos. Res.* 176-177, 267-275.
- Camisay, M.F., J.A. Rivera, M.L. Mateo, P.V. Morichetti, M.V. Mackern, (2020). Estimation of integrated water vapor derived from Global Navigation Satellite System observations over Central-Western Argentina (2015-2018). Validation and usefulness for the understanding of regional precipitation events. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 197, 2020, 105143, ISSN 1364-6826, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.105143>.
- Cioce V., Martínez W., Mackern M.V., Pérez R., De Freitas, S., (2018). SIRGAS: Reference frame in Latin America. *Coordinates*, Vol. XIV, Issue 6, 6-10, June 2018. ISSN 0973-2136.
- Davis, J.L., Herring, T.A., Shapiro, I., Rogers, A.E., Elgeded, G., (1985). Geodesy by Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Base Line Length. *Radio Sci.*, vol. 20, 1593-1607
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., et al., (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137, 553-597. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>.
- Dessler, A. E., and S. M. Davis (2010). Trends in tropospheric humidity from reanalysis systems, *J. Geophys. Res.*, 115, D19127, doi:10.1029/2010JD014192
- Fernández, L.I., Salio, P., Natali, M.P., Meza, A.M., (2010). Estimation of precipitable water vapour from GPS measurements in Argentina: Validation and qualitative analysis of results. *Advances in Space Research* 46, 879-894
- Fujita, M., Sato, T., (2017). Observed behaviours of precipitable water vapour and precipitation intensity in response to upper air profiles estimated from surface air temperature. *Nat. Sci. Rep.* 7, 4233. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04443-9>.
- Guerova, G., Jones, J., Douša, J., Dick, G., de Haan, S., Pottiaux, E., Bock, O., Pacione, R., Elgered, G., Vedel, H., and Bender, M. (2016). Review of the state of the art and future prospects of the ground-based GNSS meteorology in Europe, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 5385-5406, <https://doi.org/10.5194/amt-9-5385-2016>.
- Guerova, G., Slavchev, M., Mitzeva, R., Dimitrova, T., Simeonov, T., (2013). *Use of GNSS water vapour for severe weather studies in Bulgaria: hail and heavy rain in 2012*. In: European Conference on Severe Storms 2015, m14-18 September 2015, Wiener Neustadt, Austria. ECSS2015-E2039-1.
- Herring TA (1992). *Modelling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data*. In: DeMunk JC, Spoelstra TA (ed) *Modelling atmospheric delays in the analysis of space geodetic data*, in symposium on refraction of transatmospheric signals in geodesy, Netherlands Geodesy Commis. Ser. 36, edited by J. C. DeMunk and T. A. Spoelstra. Ned. Comm. Voor Geod., Delft, pp 157-164
- Jarlemark, O. J. (1994). Studies of Wet Delay Algorithms for Three European Sites Utilising New Attenuation Models. *Research Report No. 171*, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sweden.
- Kuo, Y.-H., Guo, Y.-R., and Westwater, E. R. Assimilation of Precipitable Water Measurements into a Mesoscale Numerical Model, *Mon. Weather. Rev.*, 121, 1215-1238, doi:10.1175/1520-0493(1993)121<1215:CO;2>1993.
- Mackern M.V, Mateo, M.L., Camisay, M.F. and Morichetti, P.V., *Tropospheric Products from High-Level GNSS processing in Latin America*. International Association of Geodesy Symposia, https://doi.org/10.1007/1345_2020_119, (2020)
- McMurdie, L.A., Katsaros, K.B., (1996). Satellite-derived integrated water vapor and rain intensity patterns: indicators for rapid cyclogenesis. *Weather Forecast.* 11, 230-245

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

- Mendes, V.B. (1999). *Modeling the Neutral-Atmosphere Propagation Delay in Radiometric Space Techniques*, (Ph.D. dissertation). Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No 199, Univ. of New Brunswick, Canada
- Mieruch, S., M. Schröder, S. Noël, and J. Schulz (2014)., Comparison of decadal global water vapor changes derived from independent satellite time series, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 12,489-12,499, doi:10.1002/2014JD021588
- Pacione R, Araszkiwicz A, Brockmann E, Dousa J (2017). EPN-Repro2: a reference GNSS tropospheric data set over Europe. *Atmos Meas Tech* 10:1689-1705. <https://doi.org/10.5194/amt-10-1689-2017>
- Rocken, C., Ware, R., Van Hove, T., Solheim, F., Alber, C., Johnson, J., Bevis, M., and Businger, S. Sensing Atmospheric Water Vapor with the Global Positioning System, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 2631-2634, doi:10.1029/93GL02935, 1993.
- Rüeiger, J.M. (2002). *Refractive index formula for radio waves*, Proc. xxii FIG Int. Congr., April 19-26, 2002, Web. http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2002/Js28/JS28_rueiger.pdf
- Sánchez, L., Drewes, H., Brunini, C., Mackern, M.V., Martínez-Díaz, W., (2015). SIRGAS core network stability, in: Rizos C., Willis P. (Eds), IAG 150 Years. *International Association of Geodesy Symposia*, vol. 143. Springer, Cham, Switzerland, pp. 183-191.
- Smith, B.L., Yuter, S.E., Neiman, P.J., Kingsmill, D.E., (2010). Water vapor fluxes and orographic precipitation over northern California associated with a landfalling atmospheric river. *Mon. Weather Rev.* 138, 74-100.
- Thayer, G. D. (1974). An Improved Equation for the Radio Refractive Index of Air. *Radio Science*, 9(10): 803-807
- Tregoning, P., Boers, R., O'Brien, D., Hendy, M., (1998). Accuracy of absolute precipitable water vapor estimates from GPS observations. *J. Geophys. Res.* 103. doi:10.1029/98JD02516.
- Trenberth, K.E., Fasullo, J., Smith, L., (2005). Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Clim. Dyn.* 24, 741-758.
- Van Baelen J., Aubagnac J.P., Dabas, A., (2005). Comparison of Near-Real Time Estimates of Integrated Water Vapor Derived with GPS, Radiosondes, and Microwave Radiometer. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 22, 201-210
- Van Malderen, R., Brenot, H., Pottiaux, E., Beirle, S., Hermans, C., De Mazière, M., Wagner, T., De Backer, H., and Bruyninx, C. A multi-site intercomparison of integrated water vapour observations for climate change analysis, *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 2487-2512, <https://doi.org/10.5194/amt-7-2487-2014>, 2014.
- Wang, S.; Xu, T.; Nie, W.; Jiang, C.; Yang, Y.; Fang, Z.; Li, M.; Zhang, Z (2020). Evaluation of Precipitable Water Vapor from Five Reanalysis Products with Ground-Based GNSS Observations. *Remote Sens.* 2020, 12, 1817.
- Yao, Y., Zhang, B., Xu, C., Chen, J., (2014). Analysis of the global Tm-Ts correlation and establishment of the latitude-related linear model. *Chin. Sci. Bull.* 59 (19), 2340-2347.

Riesgo asociado a eventos de precipitaciones intensas en el Gran Mendoza, Argentina

Risk associated with intense precipitation events in the Gran Mendoza Area, Argentina

Marianetti, Georgina^{1,2}; Rivera, Juan Antonio^{1,2}

¹Universidad Juan Agustín Maza. Mendoza. Argentina.

²Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales Técnicas. IANIGLA-CONICET, Argentina.

Contacto: gmarianetti@mendoza-conicet.gob.ar
Autor de correspondencia: Marianetti, Georgina

Palabras claves: riesgo, precipitaciones intensas, Gran Mendoza, vulnerabilidad social, amenaza

Key words: risk, intense precipitation, Gran Mendoza, social vulnerability, hazard

Resumen

La ocurrencia de eventos de precipitaciones intensas suele generar impactos negativos a nivel socio-económico, en particular en regiones semi-áridas que no suelen estar preparadas para enfrentar este tipo de fenómenos. El área metropolitana del Gran Mendoza no es la excepción, siendo afectada por tormentas convectivas durante los meses cálidos que ocurren cada vez más frecuentemente y con mayor severidad. A partir de esta problemática, el objetivo de este trabajo es la creación de un mapa de riesgo asociado a eventos de precipitaciones intensas en el Gran Mendoza. Para ello se utilizaron estimaciones de precipitación del producto *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*, indicadores sociales y económicos de organismos nacionales, y datos de impactos sociales y económicos obtenidos de portales periodísticos. El riesgo se derivó de la interacción de la amenaza de eventos de precipitaciones intensas junto con la vulnerabilidad de los sistemas humanos. Para el cálculo de la amenaza se tuvo en cuenta la frecuencia de eventos que superaron los umbrales seleccionados de acuerdo a los impactos sociales y económicos ocasionados. La vulnerabilidad se cuantificó por medio del cálculo del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS), que combina diferentes indicadores sociales y económicos a nivel departamental. Los resultados obtenidos indican que los departamentos que presentan un mayor riesgo son Guaymallén y Maipú, mientras que Las Heras y Luján de Cuyo presentan un nivel de riesgo medio y, Capital y Godoy Cruz un nivel de riesgo bajo.

Abstract

The occurrence of intense rainfall events usually generates negative socio-economic impacts, particularly in semi-arid regions that usually are not prepared to face this kind of phenomena. The metropolitan area of Gran Mendoza is no exception, being affected by convective storms during the warm months that occur more frequently and with greater severity. Based on this issue, the objective of this work is the creation of a risk map associated with intense rainfall events in Gran Mendoza. For this purpose, we used precipitation estimations from the Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station data product, social and economic indicators from national agencies, and data of social and economic impacts obtained from local media reports. The risk was derived from the interaction between the hazard of intense precipitation events and the vulnerability of human systems. The hazard was calculated considering the frequency of events that exceeded the selected thresholds according to the social and economic impacts caused. The vulnerability was quantified by calculating the Social Vulnerability Index (SVI), which combines different social and economic indicators at departmental level. The results obtained indicate that the departments with the highest risk are Guaymallén and Maipú, while Las Heras and Luján de Cuyo have a medium risk level and Capital and Godoy Cruz have a low risk level.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Introducción

En las últimas décadas se ha intensificado el riesgo asociado a peligros naturales en gran parte de Latinoamérica¹. Esto ha sido debido en parte al calentamiento global asociado a ciertas actividades humanas responsables del incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, y de procesos de cambio en el uso de suelo, entre otras. El riesgo en el contexto de los cambios climáticos regionales producto del calentamiento global es la potencialidad de que se produzcan daños debido a una amenaza o peligro en los aspectos sociales, económicos, culturales y ambientales de los sistemas humanos².

Uno de los peligros naturales que afecta a diferentes regiones es la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, debido a los graves impactos negativos que generan. Esto es porque poseen una baja probabilidad de ocurrencia, y en general la población no se encuentra preparada para enfrentarlos^{2,3,4}. A causa del incremento en la temperatura global, algunos de estos eventos han aumentado en frecuencia, magnitud, extensión espacial y temporal^{5,6}. Uno de los fenómenos que ha experimentado mayores cambios es la ocurrencia de precipitaciones extremas^{7,3}. El incremento en la temperatura genera un incremento en la evaporación y en el contenido de vapor de agua disponible, lo cual gracias a los mecanismos dinámicos de la atmósfera se traduce en mayores precipitaciones aunque con un patrón espacial heterogéneo⁸. Las regiones que son más susceptibles a la ocurrencia de eventos de precipitaciones extremas se pueden determinar mediante una estimación del riesgo. Su representación a través de mapas constituye un aporte fundamental no sólo para el conocimiento de su variabilidad espacial sino para el desarrollo de medidas de mitigación frente a los impactos causados por los eventos climáticos extremos⁹. Estos mapas se logran a partir de considerar el producto de la vulnerabilidad, que constituye el grado de susceptibilidad frente a efectos adversos por una región, sector o grupo social; y la amenaza, que es la probabilidad de que un evento ocurra en un espacio, tiempo e intensidad determinada como para producir daños¹⁰.

Diversos estudios han cuantificado la amenaza y la vulnerabilidad frente a la ocurrencia de precipitaciones extremas, en particular desde un enfoque local. Por ejemplo, Garnica Peña y Alcántara Ayala¹¹ realizaron un mapa de las zonas susceptibles a inundaciones a causa de fuertes precipitaciones en Veracruz, México. Plaza *et al.*¹² analizaron las variaciones espacio-temporales de las precipitaciones del noroeste de Argentina, cuantificando la vulnerabilidad regional frente a eventos extremos en el noreste de la provincia de Salta. Asimismo, Othmer *et al.*¹³ evaluaron la vulnerabilidad y la amenaza por inundaciones asociadas a fuertes lluvias en la ciudad alemana de Olfen. Otros estudios que cuantificaron el riesgo frente a precipitaciones intensas son el realizado por Zúñiga y Magaña¹⁴ para México, y el de Vorosmarty *et al.*¹⁵ considerando América del Sur.

Particularmente en la Provincia de Mendoza, Argentina, las precipitaciones extremas producen diversos impactos negativos, como por ejemplo caída de ramas y árboles, anegamiento de viviendas, inundaciones, daños en las infraestructuras, colapso de cloacas, cortes de electricidad y agua, e incluso pérdidas de vidas. El Gran Mendoza corresponde al área metropolitana que concentra la mayor densidad de población de la provincia. Como consecuencia de estos eventos meteorológicos, la zona oeste del Gran Mendoza, lindante con el piedemonte, es susceptible a la ocurrencia de procesos aluvionales, mientras que la zona mayoritariamente urbana es propensa a registrar inundaciones repentinas^{16,17}. Cisneros *et al.*¹⁸ resaltan que el avance descontrolado de la urbanización ha llevado a un continuo crecimiento del riesgo geológico asociado a eventos de precipitación.

A pesar del elevado impacto de los eventos extremos de precipitación, existen escasos estudios en la región sobre los mismos, así como también estudios que aborden la vulnerabilidad frente a estos fenómenos. Relacionado a las precipitaciones extremas, Simonelli *et al.*¹⁹ estudiaron las características dinámicas del evento de precipitaciones registrado el 1 de enero de 2000, el cual originó importantes consecuencias negativas en la ciudad de Mendoza. Cisneros *et al.*¹⁸ identificaron zonas en peligro hidrológico en el piedemonte precordillerano de la Ciudad de Mendoza. Con respecto a la vulnerabilidad se destacan los trabajos de Mesa y Giuso²⁰, quienes identificaron procesos sociales y ambientales que incrementan la vulnerabilidad en el área del piedemonte; Vich *et al.*¹⁷, los cuales desarrollaron propuestas para reducir el riesgo por inundaciones repentinas en el Gran Mendoza; y Vich *et al.*²¹, quienes realizaron un estudio morfométrico del piedemonte como una posible herramienta que permita mitigar los daños por inundaciones que se producen en el Gran Mendoza.

En regiones semi-áridas como el Gran Mendoza, la caracterización de eventos extremos de precipitación en escala diaria posee limitaciones metodológicas, en particular para su identificación a partir de percentiles de la función de densidad de probabilidad observada, el cual es el método más utilizado en la literatura científica. Con lo cual, como alternativa de análisis frente a esta problemática suelen considerarse los eventos de precipitaciones intensas, siendo estos definidos a partir de umbrales subjetivos. Por ejemplo, el Equipo de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI por sus siglas en inglés) determinó dos indicadores de precipitaciones intensas a partir de los índices R10mm y R20mm, que corresponden a los días en los que la precipitación excede los 10 y 20 mm, respectivamente²². Estos indicadores se han empleado para la caracterización de precipitaciones intensas en diversas regiones semi-áridas del mundo^{23,24,25}, por lo tanto, umbrales de precipitación de valores similares podrían ser indicadores de la ocurrencia de impactos socio-económicos en la provincia de Mendoza.

En función de lo expuesto anteriormente, el objetivo de este trabajo es estimar el riesgo frente a la ocurrencia de precipitaciones intensas en el Gran Mendoza, considerando registros de precipitación de los últimos 35 años e indicadores sociales disponibles a partir de los últimos censos nacionales y provinciales. Para el cálculo del riesgo se combinarán las variabilidades espaciales de la amenaza y la vulnerabilidad asociada a estos fenómenos, las cuales serán estimadas mediante la categorización de eventos de precipitación y la elaboración de un índice de vulnerabilidad social, respectivamente. Esto será de utilidad para la creación de planes de mitigación y prevención frente a estos fenómenos climáticos, y brindará una mejora en el conocimiento en una temática poco analizada desde el punto de vista científico en la región.

Materiales y métodos

a) Área de estudio

La región de estudio corresponde al Gran Mendoza (Figura 1), la aglomeración urbana más importante de la Provincia de Mendoza y del centro-oeste de Argentina. La misma se encuentra conformada por los departamentos de Las Heras, Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz, Luján de Cuyo, Guaymallén y Maipú. Los departamentos tienen una población total de 1.086.633 habitantes, de los cuales el 80,67% se concentra en la urbanización (INDEC 2010, DEIE 2010). Hacia el oeste la región limita con el piedemonte, el cual posee una altura entre 800 y 3500 msnm y es una zona de transición entre la Cordillera Frontal y el llano²⁶. El clima en el Gran Mendoza es árido a semiárido²⁷, con una concentración de las precipitaciones en los meses cálidos²⁸, las cuales en caso de registrarse en forma de eventos intensos o extremos son el principal desencadenante de las inundaciones que se producen en la región.

b) Datos

Se utilizaron datos de precipitación diaria estimada a partir del producto satelital *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) en 15 puntos de retícula ubicados a lo largo del área de estudio (Figura 1). Los datos fueron obtenidos del portal de *Climate Hazard Center* de la Universidad de California en Santa Bárbara²⁹. La base de datos CHIRPS tiene una resolución espacial de 0.05° x 0.05° y cobertura casi-global en distintos períodos de acumulación³⁰. Investigaciones previas indican que el producto CHIRPS representa adecuadamente las características espacio-temporales de las precipitaciones en la región de Cuyo^{31,32}, lo cual lo hace adecuado para el análisis propuesto. En particular, se utilizaron datos del período 1986-2018 para los meses de octubre a abril, dado que son los que presentan una mayor cantidad de eventos de lluvia de alta intensidad que producen daños sociales y económicos, coincidiendo con otros autores^{17,18}.

Para el cálculo de la vulnerabilidad se utilizaron indicadores relacionados al tipo de hogar, población total, calidad constructiva, necesidades básicas insatisfechas, problemas con el suministro de agua y condiciones climáticas y educación. Los mismos fueron obtenidos a partir de censos realizados en el año 2010 por el organismo Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC)³³ y de los informes de la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE)³⁴, del Ministerio de Economía, Infraestructura y Energía del Gobierno de Mendoza de los años 2010 y 2016. La información se obtuvo para los departamentos de Ciudad, Godoy Cruz, Luján de Cuyo, Maipú, Guaymallén y Las Heras.

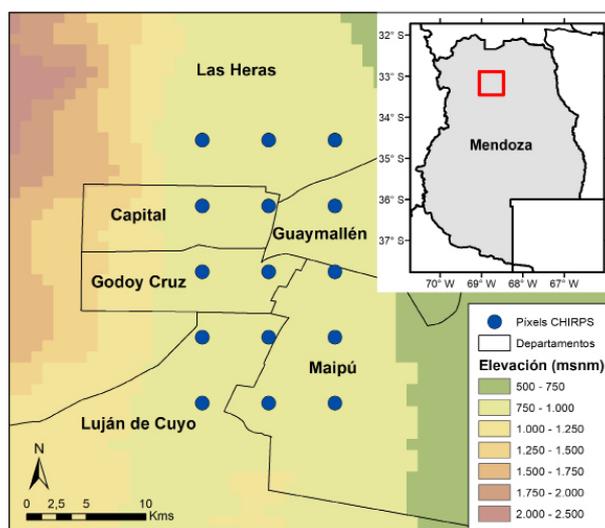


Figura 1: Área de estudio correspondiente a la zona urbana del Gran Mendoza, con la distribución espacial de los 15 puntos de retícula pertenecientes al producto satelital CHIRPS, la ubicación de los Departamentos analizados y las características del relieve.

c) Cuantificación de la amenaza por precipitaciones intensas

Para la selección de umbrales de precipitaciones intensas, primero se identificaron fechas de impactos sociales y económicos asociados a estos eventos en base a información obtenida de los principales portales de noticias de la Provincia de Mendoza. Para estas fechas se identificó la precipitación diaria estimada a partir del producto CHIRPS en los puntos de retícula seleccionados. A partir de los datos obtenidos, se establecieron 3 umbrales de precipitación y se identificó la frecuencia de ocurrencia de los eventos de precipitación diaria que superaban dichos umbrales en los 15 puntos de retícula durante 1986-2018. Luego se utilizó un sistema de ponderación para dar más relevancia a los eventos más peligrosos, multiplicando por 1 la frecuencia de casos superiores al umbral 1, por 2 la frecuencia de casos superiores al umbral 2 y por 3 la frecuencia de casos superiores al umbral 3 en cada punto de retícula. Un abordaje similar se llevó a cabo por Shahid y Behrawan³⁵ y Kim *et al.*³⁶ para la cuantificación de la amenaza de sequías.

La fórmula utilizada para realizar el cálculo de la amenaza por precipitaciones intensas es la siguiente:

$$Amenaza_i = \left[\left(\sum (n_i \geq Umbral_1) \times 1 \right) + \left(\sum (n_i \geq Umbral_2) \times 2 \right) + \left(\sum (n_i \geq Umbral_3) \times 3 \right) \right]$$

para $i = 1, \dots, 15$ puntos de retícula; con n_i la cantidad de eventos de precipitación que superan los umbrales considerados en el punto i .

A partir de la sumatoria de las frecuencias ponderadas en cada punto de retícula se calcularon los terciles de la distribución de los valores de amenaza, con el propósito de clasificar zonas con amenaza baja, media y alta.

d) Cuantificación de la vulnerabilidad social por precipitaciones intensas

Para conocer la vulnerabilidad en el Gran Mendoza, se calculó el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS). El mismo se crea a partir de diferentes indicadores sociales y económicos, y sus valores se expresan como proporción relativa del total de la población o del total de hogares, según corresponda³⁷. Esta forma de expresar los valores permite una comparación entre indicadores de distritos con realidades socio-económicas distintas. Una metodología similar fue llevada a cabo por Garnica Peña y Alcántara Ayala¹¹, quienes desarrollaron un índice de vulnerabilidad social a partir de 17 variables asociadas a población, educación, empleo y vivienda en el norte de Veracruz, México; y por Cutter y Finch³⁸, mediante la selección de 11 indicadores sociales y económicos en Estados Unidos, entre otros autores^{39,40,41}. La selección de estos indicadores es subjetiva y depende de la disponibilidad de datos a partir de los censos nacionales y provinciales. Asimismo, estos índices fueron elegidos de manera tal que expresen una medida de vulnerabilidad frente a la ocurrencia de precipitaciones intensas. En este estudio se seleccionaron 10 indicadores vinculados a la vulnerabilidad de la población y los hogares, los cuales fueron expresados como porcentaje total por departamento. Los indicadores para cada grupo son los siguientes:

- Hogares vulnerables: pisos de tierra o ladrillo suelto, hogar tipo rancho, hogar tipo casilla, problemas con el suministro del agua, problemas de aislamiento por condiciones climáticas o terrenos inundables y calidad constructiva insuficiente.
- Población vulnerable: necesidades básicas insatisfechas (NBI), porcentaje de población que no completó el nivel de educación primaria, porcentaje de población que no completó el nivel de educación secundaria y tasa de analfabetismo. El indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) considera las condiciones sanitarias, de hacinamiento, de asistencia escolar y la capacidad de subsistencia³³. Si bien para la cuantificación de la población vulnerable se tuvieron en cuenta tres indicadores de educación, esto se debe a que la falta de una educación completa es una condición que podría generar una mayor susceptibilidad de sufrir daños frente a las amenazas presentes. Por ejemplo, un mayor porcentaje en estos indicadores sugeriría una menor capacidad de la población a interpretar alertas por parte de los organismos de defensa civil y esto resultaría en una incapacidad para responder o enfrentar adecuadamente a eventos de precipitaciones intensas.

Luego los indicadores se agruparon sumando sus valores porcentuales por departamento. La fórmula utilizada para calcular la vulnerabilidad social fue la siguiente:

$$IVS = [(HVd + PVd) \times 100] \div (HVt + PVt)$$

HVd: hogares vulnerables por departamento

PVd: población vulnerable por departamento

HVt: hogares vulnerables totales de los departamentos

PVt: población vulnerable total de los departamentos

A continuación se calcularon los terciles de los valores de IVS y se clasificó la vulnerabilidad en 3 categorías: alta, media y baja.

e) Riesgo por precipitaciones intensas

El riesgo es producto de la amenaza por un evento climático, la vulnerabilidad y exposición de la sociedad o ambiente². De acuerdo al Manual para la elaboración de mapas de riesgo del Ministerio de Seguridad de la Nación⁴², la exposición se contempla como parte integral de la vulnerabilidad y para esta investigación se considera de valor unitario y constante en el tiempo. Por lo tanto, el cálculo de riesgo en la región del Gran Mendoza resulta del producto entre la amenaza y la vulnerabilidad, coincidiendo con lo expresado por otros autores como Tsakiris⁴³, Garnica Peña y Alcántara Ayala¹¹, Magaña¹⁰ y Kim *et al.*³⁶ entre otros:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

A fin de calcular el riesgo a escala departamental, se realizó un promedio de la amenaza considerando los píxeles de cada departamento. Los valores obtenidos de riesgo se dividieron en 3 categorías por medio del cálculo de terciles (alto, medio y bajo), lo que permitió la elaboración de un mapa de riesgo frente a precipitaciones intensas.

Resultados

a) Amenaza

Para la determinación de los umbrales de precipitaciones intensas se identificaron inicialmente 20 fechas donde se observaron impactos sociales, económicos y ambientales asociados a la ocurrencia de eventos de lluvia. Estas fechas se identificaron a través de publicaciones en los principales portales periodísticos del Gran Mendoza entre los meses de octubre a abril del período 2015-2018. Se analizó la cantidad de precipitación correspondiente al día de la publicación de la noticia periodística y de 4 días anteriores a la misma en los 15 puntos de retícula del producto CHIRPS. Se observó que en 7 de las 20 fechas identificadas la ocurrencia de mayor precipitación fue el mismo día. Mientras que en 2 de las 20 fechas se registró la mayor precipitación entre el mismo día y el anterior, en 4 de las mismas fechas se registró el día anterior, y en otras 6 fechas la mayor precipitación ocurrió entre 1, 2, 3 y 4 días anteriores. Esto se debe a que en algunas publicaciones el evento de precipitación había ocurrido algunos días antes pero los impactos en la población aún continuaban, como por ejemplo cortes de agua o luz y anegamiento de viviendas, entre otros. Se destaca que en 1 de las 20 fechas seleccionadas no se registraron precipitaciones en los 15 píxeles del área de estudio, lo cual puede dar cuenta de un fenómeno asociado a ráfagas de viento generadas por tormentas en regiones aledañas al Gran Mendoza. De esta manera quedaron determinados 3 umbrales de precipitación, de acuerdo a lo expuesto en la Tabla 1, a partir de 19 fechas con impactos seleccionadas. Cabe destacar que dos de los umbrales seleccionados corresponden a los indicadores R10mm y R20mm, lo cual confirma que en regiones semi-áridas no necesariamente valores elevados de lluvia son capaces de causar impactos negativos significativos.

Tabla 1. Umbrales de precipitación (mm) identificados a partir de sus impactos asociados en el Gran Mendoza.

Precipitación (mm)	Impactos asociados
10	Cortes de luz, caídas de árboles y ramas, y destrozos de materiales.
15	Se afecta la potabilización, cortes de agua y luz, caídas de árboles y ramas, y destrozos de materiales.
20	Inundaciones, colapso de cloacas y acequias, evacuaciones, cortes de agua y luz, caídas de árboles y ramas, y destrozos de materiales.

La Figura 2 muestra la cantidad de casos que superaron los umbrales de 10 mm (Figura 2a), 15 mm (Figura 2b) y 20 mm (Figura 2c) durante los meses de octubre a abril en el período 1986-2018. Los píxeles ubicados en los extremos norte y sudoeste del área de estudio son los que registraron en total una menor frecuencia en eventos de lluvia que superaron los 10 mm, con menos de 190 casos. En la zona central se observó la mayor cantidad de casos, superando los 200 eventos en 4 de los píxeles seleccionados (Figura 2a). Considerando los eventos que superaron 15 mm de precipitación, la distribución espacial resultó similar a lo observado para el umbral de 10 mm, con las mayores frecuencias en el centro del área de estudio, superando los 100 casos, mientras que valores inferiores a los 90 casos se registraron mayormente en los píxeles ubicados al norte y al sur (Figura 2b). En cuanto a la frecuencia de eventos que excedieron los 20 mm, en el centro y este de la región se observaron los mayores valores, alcanzando hasta 71 casos, mientras que en el norte de la región predominó la menor frecuencia de eventos, con menos de 47 eventos (Figura 2c). En general Godoy Cruz es el departamento en el que se observa la mayor cantidad de eventos que superan los umbrales seleccionados durante el período 1986-2018 (Figura 2).

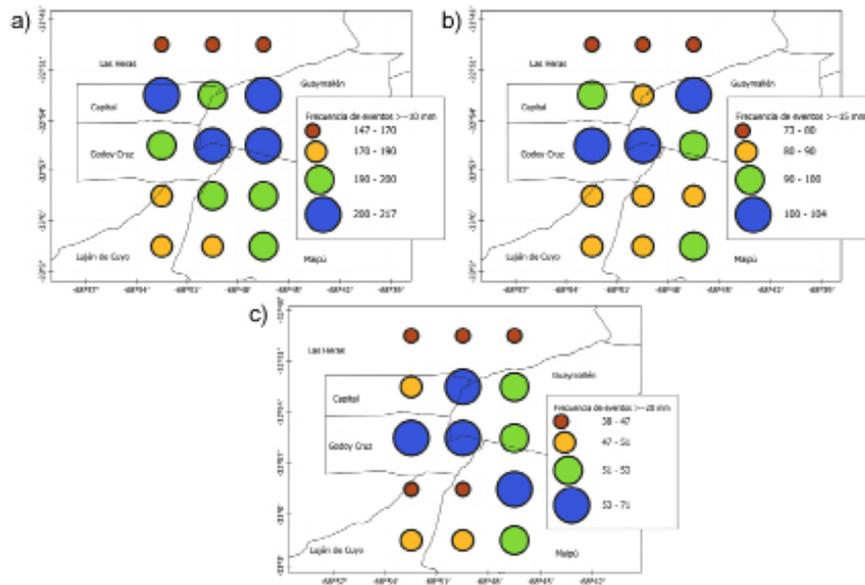


Figura 2: Frecuencia de los eventos que registraron más de 10 mm (panel a), 15 mm (panel b) y 20 mm (panel c) de precipitación en la región de estudio durante el período 1986-2018.

A partir de la suma de las frecuencias ponderadas y la clasificación de los valores resultantes en terciles, se obtuvo un mapa de amenaza por precipitaciones intensas para la región del Gran Mendoza (Figura 3). Se observa un nivel de amenaza alta y media hacia el centro y el este de la región de estudio, mientras que el nivel de amenaza bajo se concentra hacia el norte y suroeste de la región. Particularmente la amenaza alta se concentra en zonas pertenecientes a los departamentos de Godoy Cruz, Guaymallén, y Capital. Un nivel medio de amenaza se observa en la región entre los departamentos de Capital y Guaymallén y en gran parte del departamento de Maipú; mientras que niveles de amenaza bajos se observan en los píxeles correspondientes a Luján de Cuyo y Las Heras.

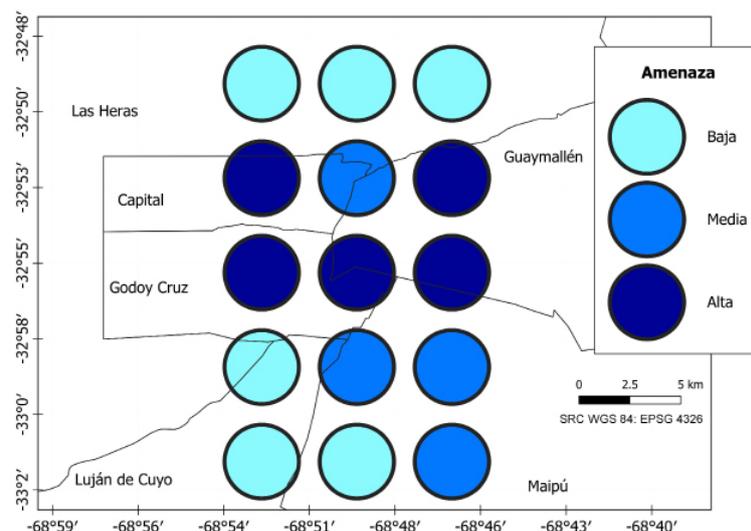


Figura 3: Mapa de la amenaza por precipitaciones intensas en la región del Gran Mendoza, Mendoza, Argentina. Los diferentes niveles de la amenaza en el área se representan mediante colores.

b) Vulnerabilidad

A continuación se muestran los resultados obtenidos, primero para los indicadores seleccionados y su proporción con respecto al total de hogares y población por departamento (Tabla 2), luego el total de la sumatoria de la proporción de los dos indicadores creados: hogares vulnerables y población vulnerable (Tabla 3). A partir de estos resultados, se obtuvieron los valores de IVS para cada departamento y luego el mapa de vulnerabilidad social frente a precipitaciones intensas en el Gran Mendoza (Figura 4).

Relacionado a los datos de los 10 indicadores seleccionados, Luján de Cuyo presenta la mayor proporción de hogares de tipo rancho y con problemas de aislamiento por condiciones climáticas o terrenos inundables; Maipú contiene la mayor proporción de hogares con calidad constructiva insuficiente, de población con al menos un indicador de necesidades básicas insatisfechas, de población que no completó primaria y secundaria y con la mayor tasa de analfabetismo; mientras que Las Heras es el departamento con una mayor cantidad de hogares con piso de tierra y de tipo casilla, y Guaymallén tiene más cantidad de hogares con problemas relacionados al suministro de agua (Tabla 2). De acuerdo a los datos de los 2 indicadores creados, Las Heras y Luján de Cuyo tienen la mayor proporción de hogares vulnerables y Maipú y Luján de Cuyo tienen la mayor proporción de población vulnerable (Tabla 3).

De acuerdo a los resultados obtenidos del cálculo del IVS, se determina que Maipú y Luján de Cuyo presentan una vulnerabilidad alta, le siguen Las Heras y Guaymallén con una vulnerabilidad media, y finalmente Godoy Cruz y Capital con una baja vulnerabilidad (Figura 4). Por lo tanto los departamentos que presentan las mayores proporciones de población y hogares vulnerables frente a precipitaciones intensas son los de mayores niveles de vulnerabilidad. Asimismo, que Godoy Cruz y Capital posean una baja vulnerabilidad no significa que no sean susceptibles de presentar daños ante la presencia de la amenaza por precipitaciones intensas, sino que en comparación de los otros departamentos son los departamentos que tienen un menor grado de susceptibilidad.

Tabla 2. Indicadores seleccionados para cuantificar la vulnerabilidad, obtenidos a partir de datos del INDEC 2010 y DEIE 2010 y 2016.

Indicadores	Capital	Godoy Cruz	Las Heras	Luján de Cuyo	Guaymallén	Maipú
Total de hogares *	39136	57375	59978	32233	79770	46569
Total de población *	115041	191903	203666	119888	283803	172332
Hogares, piso de tierra o ladrillo suelto (%) *	0.94	0.55	2.68	1.73	1.45	1.92
Hogares tipo rancho (%) *	0.89	0.32	2.17	2.35	1.14	1.63
Hogares tipo casilla (%) *	0.35	0.24	0.68	0.57	0.36	0.38
Problemas con el suministro del agua (%) **	16.00	26.40	34.50	31.20	35.70	27.60
Problemas de aislamiento (%) **	7.90	11.00	21.50	27.10	22.50	23.70
Calidad constructiva insuficiente (%) ***	5.99	4.96	13.10	13.10	11.90	18.29
NBI, con al menos un indicador (%) ***	5.80	5.80	11.00	9.10	8.90	11.10
Población que no completó primaria (%) **	3.50	7.00	9.30	10.90	11.70	15.20
Población que no completó secundaria (%) **	25.00	32.10	42.80	44.10	41.00	49.00
Tasa de analfabetismo (%) ***	1.10	0.90	1.60	2.20	1.60	2.40

% = porcentaje del total de hogares o población, según corresponda

* = INDEC 2010

** = DEIE 2016

*** = DEIE 2010

Tabla 3. Indicadores de vulnerabilidad creados, obtenidos a partir de datos de INDEC 2010 y DEIE 2010 y 2016. Cada uno representa la sumatoria de la proporción de indicadores de hogares y población vulnerables.

	Capital	Godoy Cruz	Las Heras	Luján de Cuyo	Guaymallén	Maipú
Hogares vulnerables	32.07	43.48	74.62	76.05	73.05	73.52
Población vulnerable	35.40	45.80	64.70	66.30	63.20	77.70

Hogares vulnerables = sumatoria de los indicadores de pisos de tierra o ladrillo suelto, hogar tipo rancho, hogar tipo casilla, problemas con el suministro del agua, problemas de aislamiento por condiciones climáticas o terrenos inundables y calidad constructiva insuficiente.

Población vulnerable = sumatoria de indicadores de necesidades básicas insatisfechas (NBI) con presencia de al menos un indicador, porcentaje de población que no completó el nivel de educación primaria, porcentaje de población que no completó el nivel de educación secundaria y tasa de analfabetismo.

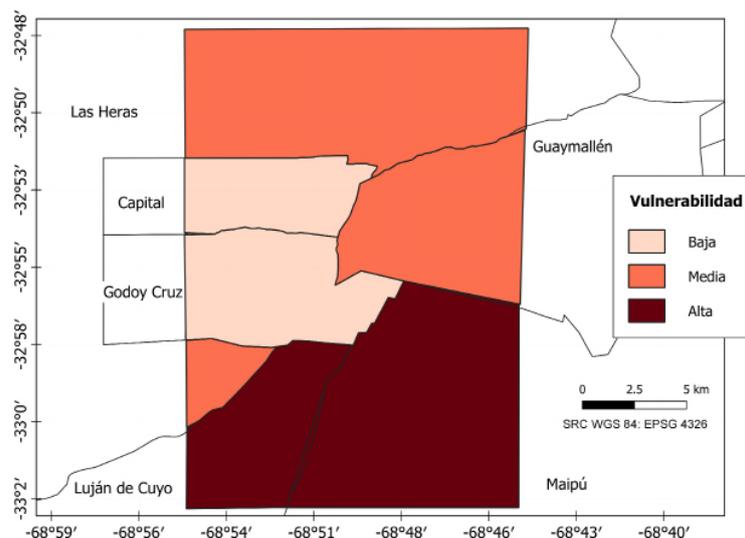


Figura 4: Mapa de vulnerabilidad social en el Gran Mendoza, Mendoza, Argentina. Los diferentes niveles de vulnerabilidad en el área se representan mediante colores.

c) Riesgo

Mediante el mapa de riesgo se observa que el sureste del Gran Mendoza, abarcando parte de Maipú y Guaymallén, es el que presenta el mayor riesgo frente a precipitaciones intensas, le siguen las áreas contenidas en Las Heras y Luján de Cuyo con riesgo medio y con un nivel de riesgo bajo el área de los departamentos de Godoy Cruz y Capital (Figura 5). A pesar de que el área en Godoy Cruz presenta amenaza alta, su vulnerabilidad es la más baja; una situación similar presenta la ubicada en el departamento de Capital con amenaza media pero vulnerabilidad baja. Por lo tanto a pesar de que en ambas regiones su amenaza es alta y media, respectivamente, los mismos tienen una menor susceptibilidad a sufrir daños frente a los eventos de lluvias intensas. Esta es la razón por la cual al combinar amenaza y vulnerabilidad sus valores de riesgo son menores que el resto de la región de estudio.

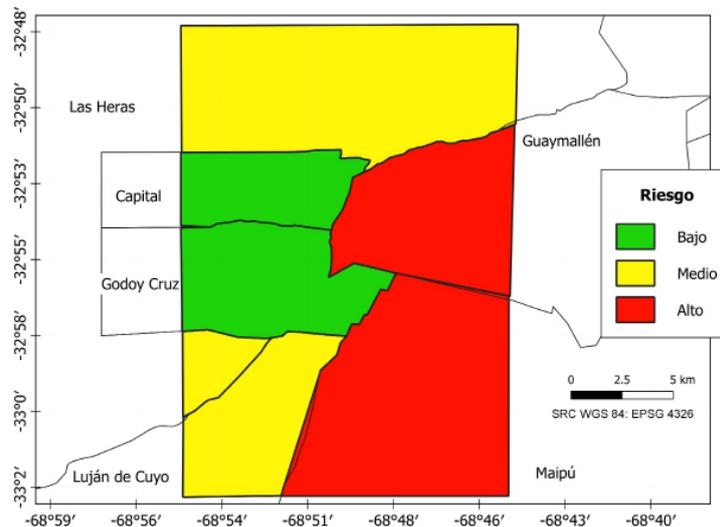


Figura 5: Mapa del riesgo frente a precipitaciones intensas en la región del Gran Mendoza, Argentina. Los diferentes niveles de riesgo en el área se representan mediante colores.

Discusión

Esta investigación permitió identificar aquellos departamentos que se encuentran en mayor riesgo frente a la amenaza por precipitaciones intensas, como así también los más vulnerables frente al mismo fenómeno. Conocer la vulnerabilidad de una región frente a un evento permite mitigar y prevenir los daños que puedan ocurrir como así también mejorar la adaptabilidad; e identificar el riesgo ayuda a definir las regiones en las que se debe actuar con mayor urgencia para reducir la vulnerabilidad^{9,44,10}.

En los últimos años se ha detectado un incremento de los eventos extremos de precipitación a escala diaria en la Provincia de Mendoza^{45,46}. Esto mismo coincide con los incrementos detectados en Argentina y a nivel mundial en los últimos 40 años^{45,47}. Este aumento en la frecuencia de eventos de precipitación intensa podría modificar la distribución espacial de la amenaza en la región de estudio, por lo que resultaría necesario analizar los cambios del riesgo a lo largo del tiempo. Además la vulnerabilidad también podría presentar cambios temporales, que podrían identificarse utilizando datos del INDEC de los años 2001 y 2010. No obstante, esto requiere el uso de los mismos indicadores socio-económicos para una correcta comparación de los valores del IVS. Asimismo, el uso de datos distritales permitiría identificar y priorizar áreas dentro de los departamentos que son más susceptibles de presentar daños frente a precipitaciones fuertes. Ejemplos de estudios que identificaron cambios temporales en la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo son los realizados por Zúñiga y Magaña¹⁴, Hari *et al.*³⁹ y Cutter y Finch³⁸, entre otros.

Este trabajo presenta algunas limitaciones y aproximaciones que se efectuaron a fin de brindar robustez estadística a los resultados obtenidos. Se destaca el hecho de haber considerado umbrales de precipitación subjetivos en lugar de haber definido la ocurrencia de eventos extremos a partir del uso de percentiles como umbrales de excedencia. Esto se sustenta en el hecho de que por ser Mendoza parte de una región con clima semi-árido, la ocurrencia de precipitaciones nulas es una característica frecuente a lo largo del año. Esto impacta significativamente en la cuantificación de los percentiles, dado que requieren una muestra lo suficientemente grande como para brindar un resultado estadístico robusto. Con respecto a la identificación de impactos en la cuantificación de la amenaza, a pesar de que algunos impactos tenidos en cuenta no están asociados exclusivamente a la lluvia, la intensidad de las precipitaciones se encuentra relacionada con la ocurrencia de otros fenómenos como vientos descendentes con ráfagas y/o granizo. En relación a la cuantificación de la vulnerabilidad, el mapa obtenido es representativo de las zonas mayormente urbanas dado que el área de estudio concentra la mayor cantidad de población de los departamentos del Gran Mendoza. Con lo cual los resultados no deben extrapolarse a regiones que no han sido consideradas, a pesar de que los datos utilizados son a nivel departamental.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Conclusiones

Esta investigación permitió obtener un mapa de riesgo asociado a la ocurrencia de precipitaciones intensas para la región del Gran Mendoza, Argentina. Siendo el riesgo resultante de la combinación entre la amenaza y la vulnerabilidad, se cuantificaron ambas componentes a partir de estimaciones de precipitación e indicadores socio-económicos. En relación a la vulnerabilidad, se obtuvo que Luján de Cuyo y Maipú tienen un nivel alto, mientras que Las Heras y Guaymallén tienen un nivel medio y Capital y Godoy Cruz una vulnerabilidad baja. En lo que respecta a la amenaza, los píxeles ubicados en el centro y este del dominio de estudio son los que poseen un nivel más alto, asociado a una mayor frecuencia de eventos de precipitaciones intensas. A partir de la combinación de estos resultados, se obtuvo que los departamentos que presentan un mayor riesgo son Guaymallén y Maipú, mientras que Las Heras y Luján de Cuyo presentan un nivel de riesgo medio y, Capital y Godoy Cruz un nivel de riesgo bajo.

Agradecimientos

Los resultados de esta investigación se lograron en el marco del proyecto «Análisis de eventos extremos de precipitación que afectan la distribución de agua potable en el Gran Mendoza: Variabilidad espacio-temporal y forzantes atmosféricos asociados». Los autores desean agradecer a la Universidad Juan Agustín Maza por el financiamiento del mismo. Se agradece además al *Climate Hazard Center* de la Universidad de California en Santa Bárbara por la provisión de las estimaciones de precipitación del producto CHIRPS (<https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/>).

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Bibliografía

- 1 Coy, M. Los estudios del riesgo y de la vulnerabilidad desde la geografía humana. Su relevancia para América Latina. *Población & Sociedad*. 2010; ISSN 0328-3445. 17:9-28.
- 2 IPCC. Annex I: Glossary [Weyer, N.M. (ed.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. 2019.
- 3 Barros, V. y Camilloni, I. *La Argentina y el cambio climático: de la física a la política*. Argentina: Eudeba; 2016.
- 4 Mukhopadhyay, P; Krishnan, R; Nanjundiah, R. S. y Mohapatra, M. Prediction of Extreme Events: Current Status and Future Pathways against the Backdrop of Climate Change. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2020; 101: E1137-E1141. DOI: 10.1175/BAMS-D-20-0037.1
- 5 IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. 2012
- 6 Van Aaslt, M. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters*. 2006; 30(1): 5-18. DOI: 10.1111/j.1467-9523.2006.00303.x
- 7 Zwiers, F. y Kharin, V. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO2 doubling. *Journal of climate*. 1997; 11: 2200-2222. DOI: 10.1175/1520-0442(1998)011<2200:CITEOT>2.0.CO;2
- 8 Tabari, H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*. 2020; 10(1): 13768. DOI: 10.1038/s41598-020-70816-2
- 9 Renda E; Rozas Garay, M; Moscardini, O. y Torchia, N.P. Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Ministerio de Seguridad de la Nación; Argentina. 2017.
- 10 Magaña, V. Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante el Cambio Climático. Proyecto de la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC). 2012.
- 11 Garnica Peña, R. J. y Alcántara Ayala, I. Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 2004; 55: 23-45. DOI: 10.14350/rig.30109
- 12 Plaza, G; Perales, A. y Cabral, C. Variabilidad de precipitaciones en el NOA y el riesgo ambiental. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2006; 10: 87-92. ISSN 0329-5184
- 13 Othmer, F. J; Becker, D; Schulte, L. M. y Greiving, S. A methodological approach to municipal pluvial flood risk assessment bases on a small city case study. *Sustainability*. 2020, 10487. DOI: 10.3390/su122410487
- 14 Zúñiga, E. y Magaña, V. Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico: The effect of land use cover change. *Investigaciones Geográficas*. 2017; 95. DOI: 10.14350/rig.59465
- 15 Vörösmarty, C. J; de Guenni, L. B; Wollheim, W. M.; Pellerin, B; Bjerklie, D; Cardoso, M; D'Almeida, C; Green, P. y Colon, L. Extreme rainfall, vulnerability and risk: a continental-scale assessment for South America. *Phil Trans R Soc A*. 2013; 371: 20120408. DOI: 10.1098/rsta.2012.0408
- 16 Biles, J.J. y Cobos, D. Natural disasters and their impact in Latin America, in: Stoltman, J.P., Lidstone, J., DeChano, L.M. (Eds.), *International Perspectives on Natural Disasters: Occurrence, Mitigation, and Consequences*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 2007; 281-302. DOI: 10.1007/978-1-4020-2851-9_15
- 17 Vich, A. I. J; López Rodríguez, M; Lauro, C. y Vaccarino, E. Proposals for Flashflood Management in Western Argentina. Case Study: The Metropolitan Area of Greater Mendoza. *Current Urban Studies*. 2014; 2: 37-48. DOI: 10.4236/cus.2014.21004
- 18 Cisneros, H; Torres, J; Fermani, S; Grintal, M; Bisogno, V. F; Castañón, E; Suklje, M; Orive, O. y Cerrudo, L. Determination of physical variables of the mendocino piedmont through the use of remote sensing tools in relation to geological risks. *Serie Correlación Geológica*. 2017; 33 (1 - 2): 101-110. ISSN 1514-4186
- 19 Simonelli, S. C; Norte, F. A; Heredia, N. O. y Seluchi, M. The storm of January 1, 2000, north of the city of Mendoza. *Atmósfera*. 2007; 20(1): 1-23. ISSN 0187-6236.
- 20 Mesa, A. y Giusso, C. 2014. La urbanización del piedemonte andino del área metropolitana de Mendoza, Argentina: Vulnerabilidad y segmentación social como ejes del conflicto. *Revista Iberoamericana de Urbanismo*. 2014; 11: 63-77. ISSN: 2013-6242
- 21 Vich, A. I; Vaccarino Pasquali, E. L; Otta, S. A; Lauro, C. y Bastidas, L. B. Morphometric analysis of basins located in the piedmont of central western Argentina. *Cuadernos Geográficos*. 2021; 60(1): 295-312. ISSN 0210-5462.
- 22 Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C., Trewin, B. y Zwiers, F.W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2011; 2(6): 851-870. DOI: 10.1002/wcc.147
- 23 Mahbod, M; Shirvani, A. y Veronesi, F. A comparative analysis of the precipitation extremes obtained from tropical rainfall-measuring mission satellite and rain gauges datasets over a semiarid region. *Int J Climatol*. 2019; 39: 495-515. DOI: 10.1002/joc.5824
- 24 Yaduvanshi, A; Kulkarni, A. y Bendapudi, R. et al. Observed changes in extreme rain indices in semiarid and humid regions of Godavari basin, India: risks and opportunities. *Nat Hazards*. 2020; 103: 685-711. DOI: 10.1007/s11069-020-04006-8
- 25 Xu, L; Zheng, C. y Ma, Y. Variations in precipitation extremes in the arid and semi-arid regions of China. *International Journal of Climatology*. 2020; 41: 1542-1554. DOI: 10.1002/joc.6884
- 26 Moreiras, S.M. Frequency of debris flows and rockfall along the Mendoza river valley (Central Andes), Argentina: Associated risk and future scenario. *Quaternary International*. 2006; 158: 110-121. DOI: 10.1016/j.quaint.2006.05.028
- 27 Rivera, J.A; Naranjo Tamayo, E. y Viale, M. Water resources change in Central-Western Argentina under the Paris Agreement warming targets. *Front. Clim*. 2020; 2: 587126. DOI: 10.3389/fclim.2020.587126

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

- 28 Doyle, M. E. Observed and simulated changes in precipitation seasonality in Argentina. *Int. J. Climatol.* 2020; 40: 1716-1737. DOI: 10.1002/joc.6297
- 29 Climate Hazard Center [Internet]. Estados Unidos: Universidad de California en Santa Bárbara. Disponible en: <https://www.chc.ucsb.edu/>.
- 30 Funk, C; Peterson, P; Landsfeld, M. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data.* 2015; 2: 150066. DOI: 10.1038/sdata.2015.66
- 31 Rivera, J. A; Marianetti, G. y Hinrichs, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. *Atmospheric Research.* 2018; 213: 437-449. DOI: 10.1016/j.atmosres.2018.06.023
- 32 Rivera, J. A; Hinrichs, S. y Marianetti, G. Using CHIRPS Dataset to Assess Wet and Dry Conditions along the Semiarid Central-Western Argentina. *Advances in Meteorology.* 2019; 2019: 1-18. DOI: 10.1155/2019/8413964
- 33 Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) [Internet]. Argentina: Ministerio de Economía de la Nación. Disponible en: (<https://www.indec.gob.ar/>)
- 34 Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE) [Internet]. Mendoza, Argentina: Ministerio de Economía, Infraestructura y Energía. Disponible en: (<http://www.deie.mendoza.gov.ar>).
- 35 Shahid, S. y Behrawan, H. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Nat. Hazards.* 2008; 46: 391-413. DOI: 10.13140/RG.2.1.3343.0167
- 36 Kim, H; Park, J; Yoo, J. y Kim, T. W. Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-environment Research.* 2013; 9(1): 28-35. DOI: 10.1016/j.jher.2013.07.003
- 37 Thomas Bohórquez, J. E. Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* 2013; 81: 79-93. DOI: 10.14350/rig.36383
- 38 Cutter, S. L. y Finch, C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2008; 105(7):2301-2306. DOI: 10.4324/9781351201117-16
- 39 Hari, V; Karmakar, S; Ghosh, S. y Murtugudde, R. A comprehensive India-wide social vulnerability analysis: highlighting its influence on hydro-climatic risk. *Environ. Res. Lett.* 2020; 15: 014005. DOI: 10.1088/1748-9326/ab6499
- 40 Lixin, Y; Xi, Z; Lingling, G. y Dong, Z. Analysis of social vulnerability to hazards in China. *Environmental Earth Sciences.* 2013; 71(7), 3109-3117. DOI: 10.1007/s12665-013-2689-0
- 41 De Loyola Hummell, B. M; Cutter, S. L. y Emrich, C. T. (2016). Social Vulnerability to Natural Hazards in Brazil. *International Journal of Disaster Risk Science.* 2016; 7(2): 111-122. DOI: 10.1007/s13753-016-0090-9
- 42 Ministerio de Seguridad de la Nación. Manual para la elaboración de mapas de riesgo; Buenos Aires, Argentina. 2017.
- 43 Tsakiris G. A paradigm for applying risk and hazard concepts in proactive planning. In: Iglesias et al (eds) Copying with Drought Risk in Agriculture in Water Supply Systems. Springer, Netherlands. 2009; 81-91.
- 44 Musetta, P; Barrientos, M.J; Acevedo, E; Turbay, S. y Ocampo Olga. Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina. *Empiria: Revista de Metodología de Ciencias Sociales.* 2017; 36: 119-147. DOI: 10.5944/empiria.36.2017.17862
- 45 Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). (2015). Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- 46 Castex, V; Morán-Tejada, E. y Beniston, M. Water availability, use and governance in the wine producing region of Mendoza, Argentina. *Environmental science & policy.* 2015; 48: 1-8. DOI: 10.1016/j.envsci.2014.12.008
- 47 IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

Diagnóstico preliminar de la fitotoxicidad del agua de riego del arbolado público lineal de la ciudad de Mendoza, Argentina

Preliminary diagnosis of the phytotoxicity of irrigation water in linear public trees in the city of Mendoza, Argentina

Giai, Marcos; Graña, Gerardo;
Damiani, María Elba Beatriz

Facultad de Farmacia y Bioquímica
Universidad Juan Agustín Maza. Mendoza. Argentina

Contacto: mgiai@umaza.edu.ar

Palabras claves: fitotoxicidad, riego, acequias, arbolado,
Mendoza

Key words: phytotoxicity, irrigation, ditches, trees, Mendoza

Resumen

Introducción: La medición de los niveles de fitotoxicidad en las aguas de riego metropolitanas generarán una línea de base de contaminación de las mismas. La fitotoxicidad es un efecto nocivo o dañino de una sustancia química que se puede expresar en distintos órganos en la planta. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo es diagnosticar la fitotoxicidad del agua de riego de la ciudad de Mendoza y en base a ello confeccionar un mapa de riesgo urbano. **Materiales y métodos:** Se realizó un muestreo en la zona metropolitana de Mendoza, consistente en la toma de muestras de agua de los canales de riego urbanos (acequias/canales) en las zonas donde existe mayor densidad arbórea de acuerdo al relevamiento del mapa de sombras para la ciudad de Mendoza. Sobre las mismas se realizó el ensayo de toxicidad aguda con semillas de *Lactuca sativa*, que mide la calidad fitotóxica del agua de riego, mediante la inhibición de la germinación de dichas semillas. **Resultados:** Se analizaron 30 muestras de agua de riego, procedentes de los canales afluentes y del sistema de riego urbano correspondientes a zonas residenciales y comerciales. Se evidenció fitotoxicidad leve en el 14% de las muestras residenciales y fitotoxicidad moderada-elevada en 76% de las muestras de zona comercial. **Conclusiones:** Se encontró una elevada prevalencia de fitotoxicidad en la zona comercial de la ciudad de Mendoza, asociada a la eliminación de desechos líquidos no controlados de su actividad comercial y por efecto antrópico de dichas actividades.

Abstract

Introduction: The measurement of phytotoxicity levels in metropolitan irrigation waters will generate a baseline of their contamination. Phytotoxicity is a harmful or harmful effect of a chemical substance that can be expressed in different organs in the plant. **Objective:** The objective of this work is to diagnose the phytotoxicity of the irrigation water of Mendoza City and based on it to make an urban risk map. **Materials and methods:** A sampling was carried out in the metropolitan area of Mendoza, consisting of taking water samples from urban irrigation canals (ditches / canals) in areas where there is a higher tree density according to the shadow map of Mendoza City. The acute toxicity test with *Lactuca sativa* seeds was carried out on them, which measures the phytotoxic quality of irrigation water, by inhibiting the germination of said seeds. **Results:** 30 samples of irrigation water were analyzed, origin of the tributary channels and the urban irrigation system corresponding to residential and commercial areas. Mild phytotoxicity was evidenced in 14% of the residential samples and moderate-high phytotoxicity in 76% of the commercial zone samples. **Conclusions:** A high prevalence of phytotoxicity was found in the commercial area of Mendoza city, associated with the elimination of uncontrolled liquid waste from its commercial activity and due to the anthropic effect of said activities.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Introducción

El agua de riego del arbolado público de la ciudad de Mendoza puede verse comprometida fitosanitariamente por las acciones antrópicas directas (efluentes domiciliarios e industriales) e indirectos (contaminación ambiental). Como señala Domizio¹, la presencia de sustancias contaminantes de origen antrópico en las acequias puede afectar la sanidad de las especies arbóreas, disminuyendo su vigor, afectando el normal desarrollo vegetativo. Sumado a que, la escasa permeabilidad de las acequias y la presencia de elementos fitotóxicos en el sistema de riego, son dos aspectos negativos que impactan en el arbolado público.

El arbolado urbano cumple funciones ornamentales, paisajísticas y de aporte al equilibrio ecológico del ecosistema urbano, realizando funciones reguladoras de la temperatura ambiental, depuradoras de la calidad del aire, y de abrigo y protección para la avifauna y la flora, mejorando la calidad de vida de los habitantes de la ciudad². Los árboles regulan la escorrentía, al acumular parte del agua de lluvia y contribuyendo a evitar el colapso del sistema de drenaje pluvial³. La sombra de los árboles disminuye la temperatura ambiental al disminuir la radiación solar directa e incrementar la humedad relativa por efecto de la transpiración, la absorción de la radiación y el almacenamiento de calor⁴.

El arbolado público urbano de Mendoza puede verse amenazado, entre otros factores, por la emergencia hídrica que desde el año 2015 afecta la disponibilidad de agua para riego y por su baja calidad, pudiendo ésta, estar contaminada con aceites, gasolinas y metales pesados de los vehículos que circulan en las calles y por las diferentes actividades antrópicas que afectan el sistema radicular de los árboles y condicionan su normal desarrollo⁵.

El riego del arbolado urbano es uno de los usos del agua y está en estrecha relación con el ecosistema urbano. Tanto en las ciudades cuyo trazado es compacto, como también en las ciudades abiertas, la gestión del riego del arbolado público debe ser eficiente para asegurar la sostenibilidad de las especies arbóreas⁶. La ciudad de Mendoza responde al modelo de ciudad abierta⁷, donde la matriz forestal es acompañada por un sistema de irrigación conformado por acequias, que le dan a la ciudad el aspecto de un bosque urbano en las zonas residenciales del tejido municipal («ciudad oasis», según Bórmida, 1997).

La fitotoxicidad estaría asociada al efecto antrópico de la ciudad, como lo señalan Prieto *et al*⁸, por la acumulación de los contaminantes de la actividad humana en las acequias y observado principalmente en secciones de la ciudad donde se desarrollan actividades de industria liviana, comercio y transporte y en menor medida en las áreas residenciales de la ciudad.

El ensayo ecotoxicológico con semillas de *Lactuca sativa* permite evaluar cuantitativamente el crecimiento de la raíz⁹. La evaluación del efecto en la elongación de la radícula y del hipocótilo de las plántulas permite ponderar el efecto tóxico de compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocótilo, dependiendo ello del modo y sitio de acción del compuesto¹⁰. Este método mide exclusivamente la calidad fitotóxica del agua de riego, sin diferenciar la posible sustancia causal del efecto y no refleja el grado de afectación de los contaminantes a la germinación o fisiología del árbol adulto, ello se podría complementar con pruebas para determinar estrés arbóreo, caída de hojas prematura, envejecimiento y comparativo de germinación de especies, entre otras.

El objetivo de este trabajo de investigación fue diagnosticar la fitotoxicidad del agua de riego del arbolado público lineal que acompaña el trazado de calles y acequias que surcan la ciudad de Mendoza y confeccionar un mapa de riesgo de la calidad fitotóxica (semaforización) del agua de riego de la ciudad de Mendoza.

Materiales y Métodos

Estudio experimental

Se realizó un muestreo en la ciudad de Mendoza (Figura 3), consistente en la toma de muestras de agua de los canales de riego urbanos (acequias/canales) en las zonas donde existe mayor densidad arbórea de acuerdo al relevamiento del Mapa de la Sombra para la ciudad de Mendoza (Universidad, 2016). Las muestras se tomaron en el afluente de riego (Control: T1 y T2) y en 28 puntos (14 de la zona comercial y 14 de zona residencial). Las muestras puntualmente recolectadas fueron identificadas y caracterizadas según su procedencia de zona comercial o residencial, se procesaron las mismas por decuplicado en forma inmediata para cada ensayo de toxicidad aguda con semillas de *Lactuca sativa*¹¹. Las muestras se procesaron en paralelo con controles de fitotoxicidad negativos (agua mineralizada estéril) y positivos (solución de ZnSO₄ al 5%). Se realizó la técnica estática de incubado de muestras de 4,0 ml del agua muestreada, en estufa de cultivo a 20 ± 2 °C, en oscuridad y por un lapso de 120 horas de incubación. Al final del ensayo se midió el efecto de la inhibición del crecimiento de la radícula e hipocótilo de cada semilla sembrada en cada repetición. (Figura 1).

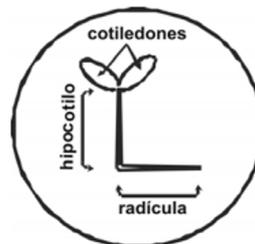


Figura 1. Esquema de germinación de *Lactuca sativa* (Sobrero, 2004).

Fue criterio de aceptabilidad de cada ensayo, una germinación superior al 90% en cada placa de Petri¹⁰.

Las mediciones del crecimiento de radículas e hipocótilos fueron promediadas para cada punto de muestreo (controles y muestras) y se compararon las medias utilizando un análisis de varianza de un factor, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los resultados se verificaron contra la columna control (afluente) por medio de una prueba de Dunnet¹². Los análisis se realizaron con el programa GraphPad Prism 5.0. Para mejorar la interpretación de los resultados las muestras, se clasificaron como controles (T1 y T2) y muestras provenientes de los sectores residenciales y comerciales de la ciudad de Mendoza.

Para elaborar el mapa de riesgo, se semaforizó cada punto de muestreo según el nivel de fitotoxicidad:

- alta: color rojo ($p < 0,001$),
- moderada: color naranja ($p < 0,01$).
- leve: color amarillo ($p < 0,05$) y
- no detectable: color verde ($p > 0,05$).

Resultados

Luego de la siembra y análisis de las muestras de agua de riego del arbolado público de la ciudad de Mendoza, se encontró que sobre un total de 300 pruebas de ecotoxicidad, correspondientes a 30 lugares de muestreo, se logró una reproductibilidad del ensayo del 96% de las mismas en comparación al testigo negativo (agua mineralizada estéril).

Del análisis del mismo se desprende que en las muestras N° 22 (Barrio San Martín) y N° 27 (Quinta Sección) se observó una diferencia significativa en la inhibición del crecimiento promedio de dichas muestras (ANOVA, $p < 0,001$ y $p < 0,05$). (Figuras 2 y 3).

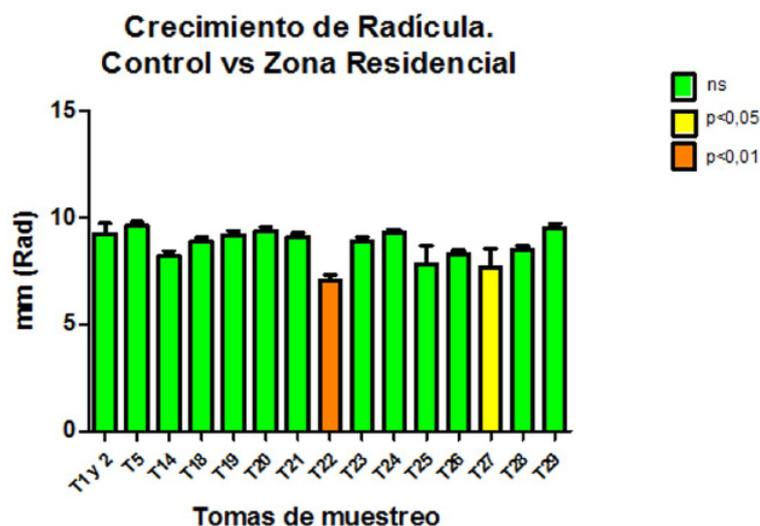


Figura 2. Crecimiento radicular en zona residencial (n:14).

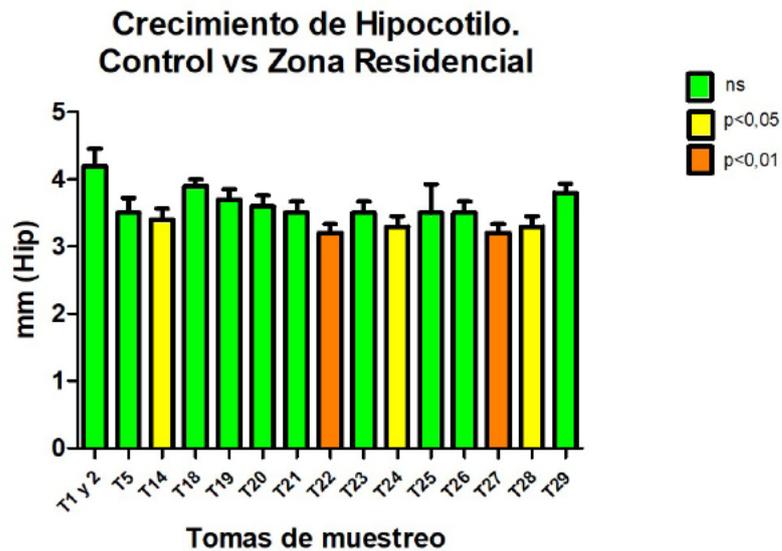


Figura 3. Crecimiento hipocotilar en zona residencial (n:14).

En los resultados provenientes de puntos de muestreo comerciales, se evidenciaron diferencias significativas en el 78% de las muestras de zonas comerciales (11) y se correspondieron a la muestra N° 3 (Tercera Sección), a las muestras N° 4, 6 y 7 (Segunda Sección), a las muestras N° 9, 10, 11 y 12 (Primera Sección), a las muestras N° 13, 15 y 17 (Cuarta Sección).

Los valores observados, según su diferencia significativa, se relacionan a niveles de toxicidad aguda de moderada a marcada, para el crecimiento de la radícula de *Lactuca sativa* (Ver Figuras 4 y 5).

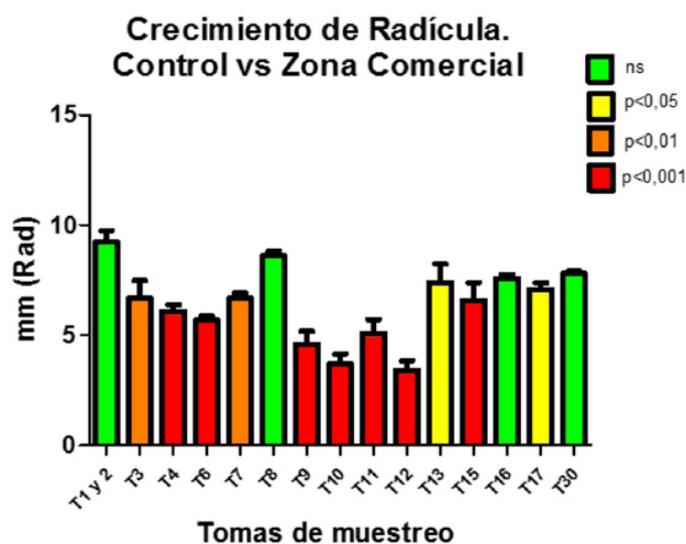


Figura 4. Crecimiento radicular en zona comercial (n:14).

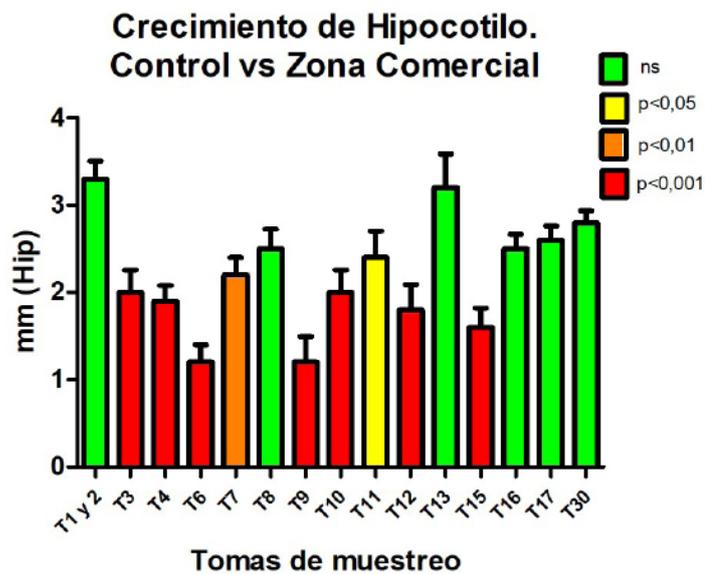


Figura 5. Crecimiento hipocotilar en zona comercial (n:14).

Con los resultados provenientes del muestreo inicial de esta investigación, se confeccionó un mapa de fitotoxicidad del agua de riego del arbolado público lineal de la ciudad de Mendoza, semaforizando los puntos de muestreo con los colores asignados según la diferencia significativa al afluyente de riego (control) (Ver Figura 6).



Figura 6. Mapa de fitotoxicidad (semaforización) en agua de riego de la ciudad de Mendoza (Elaboración propia).

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Discusión

En los resultados analizados se observó una relación directa de la presencia de fitotoxicidad en el agua de riego del arbolado público con las actividades antrópicas más contaminantes, tales como las observadas en proximidades a estaciones de servicio, locales gastronómicos de comidas rápidas y en donde se concentra el paso de mayor cantidad de transeúntes, correspondiente al microcentro de la ciudad y correspondientes a los puntos de muestreo: T6, T9, T10, T11 y T12. Muchos de los contaminantes observados en el lecho de las acequias céntricas, pueden deberse a la falta de barreras que retengan a los mismos (rejas), por la ausencia de control de la calidad de los efluentes domiciliarios y del arrastre del lavado de veredas en locales comerciales y de pequeñas industrias. Estos efectos antropogénicos fueron descritos por autores de nuestro medio¹³ que señalaban el efecto de la acumulación de los residuos sólidos urbanos (RSU) constituyen focos de contaminación en áreas residenciales por su acumulación en las acequias, mientras que los correspondientes a las zonas comerciales a las actividades propias de los mismos.

La evidencia de contaminación antropogénica en las acequias del microcentro de la ciudad de Mendoza, incide directamente en los valores de fitotoxicidad, dichas actividades fueron observadas por Cantero Barroso¹⁴ y concluyendo que el riesgo asociado con el incumplimiento de los requerimientos establecidos en las normas cubanas para el uso y explotación de fuentes de captación de agua subterráneas de consumo. En el ámbito de la ciudad y provincia de Mendoza, existe legislación sobre los usos del agua destinada al riego urbano, pero no se contempla el análisis de la calidad fitotóxica de la misma.

Los ensayos de fitotoxicidad con *Lactuca sativa*, son totalmente adaptables al monitoreo de aguas de riego en arbolado público, siendo sus resultados reproducibles como en los ensayos sobre agua de riego agrícola en nuestro medio^{15, 16} y sobre canales de drenaje y desagües¹⁷.

Conclusiones

Con la presente investigación se pudo diagnosticar la presencia de un riesgo de fitotoxicidad de moderado a severo en zonas donde la actividad antrópica y la acumulación de contaminantes. El discontinuado caudal del agua de riego en la zona del microcentro mendocino, a causa de los turnos de riego asignados al municipio y la acumulación de residuos sólidos urbanos en las acequias, puede acentuar el fenómeno de concentración de los contaminantes¹⁸. Una adecuada gestión integral del residuo sólido urbano y de los efluentes provenientes de los domicilios comerciales, mediante la ejecución de obras que van desde la simple limpieza de los cauces de riego y hasta la retención de los mismos, disminuirán la carga contaminante en los mismos^{19, 13}.

Por lo expuesto, se podría incorporar el monitoreo fitotóxico de los puntos de muestreo, como un indicador de calidad ambiental de las especies arbóreas de la ciudad, a manera de generar un informe actualizado sobre dicha fitotoxicidad y adecuar el mapa de riesgo en tiempo real.

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

Bibliografía

- 1 Domizio, M. C. Particularidades del arbolado y riego de la ciudad de Mendoza desde una mirada sistémica. Area. [Internet]. 2017. Nro 23. Disponible en: <https://area.fadu.uba.ar/area-23/domizio23/>
- 2 Alonso Gerla, M., & Morales Vignale, M. C. *Comparación de fórmulas de valoración monetaria en el arbolado urbano de Montevideo, Uruguay*. Tesis de Grado. Universidad de la República. Uruguay. 2017. Disponible en: https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/18643/1/TTS_AlonsoGerlaMartina.pdf
- 3 Niño, J. y García, M. *Diseño y optimización del sistema de drenaje de las aguas pluviales de la urbanización El Chilcal* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú. [Internet]. 2021. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4840>
- 4 Therán Nieto, K. R., Rodríguez Potes, L. M., Mounthon Celedon, S., & Manjarres De León, J. Microclima y Confort Térmico Urbano. *Módulo Arquitectura CUC*. [Internet]. 2019. DOI: 10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04
- 5 Bonells, J. La gestión moderna del arbolado urbano de las ciudades. Sevilla, España. [Internet]. 2003. Disponible en: <http://www.sevilla.org/ayuntamiento/areas/area-de-urbanismo-y-medio-ambiente/aservicio-de-parques-y-jardines/e-articulos-tecnicos/.pdf>
- 6 Martínez, C., Ruiz, M., & Atencio, L. Proyecto integral de forestación y reforestación urbana para Mendoza. *Sustentabilidad ambiental del bosque urbano para ciudades de zonas áridas de Argentina-Etapa, 1*. [Internet]. 2017. Disponible en: <https://www.mendoza.gov.ar/unicipio/wp-content/uploads/sites/32/2018/06/Plan-de-Forestaci%C3%B3n-y-Reforestaci%C3%B3n-Urbana.pdf>
- 7 Gobierno de Mendoza. Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial Sistema Integrado de Información y Gestión para la Refuncionalización y Recuperación del Arbolado Urbano del Área Metropolitana Mendoza. Plan de Arbolado. [Internet]. 2018. Disponible en: <http://www.unicipio.mendoza.gov.ar/wp-content/uploads/sites/32/2018/06/Plan-de-Arbolado-P%C3%BAblico-DAMI-II.pdf>
- 8 Prieto, M. D. R., Castrillejo, T., & Dussel, P. El proceso de contaminación hídrica en un oasis andino. La vida y la muerte por las acequias de Mendoza, Argentina, 1880-1980. *Signos históricos*. [Internet]. 2006. 8(16), 112-151. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-44202006000200112&script=sci_arttext
- 9 Pentreath, V., González, E., Barquín, M., Ríos, S. M., & Perales, S. Bioensayo de toxicidad aguda con plantas nativas para evaluar un derrame de petróleo. *Revista de salud ambiental*. [Internet]. 2015. 15(1), 13-20. Disponible en: <https://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/551>
- 10 Sobrero, M. C., & Ronco, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. Imta, [Internet]. 2004. 55-67. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/573/cap4.pdf>
- 11 Ronco, A., Rossini, G. B., Sobrero, C., Apartin, C., Castillo, G., Díaz-Baez, M. C., ... & Mendoza, J. The application of hazard assessment schemes using the watertox toxicity testing battery. In *Small-scale freshwater toxicity investigations* [Internet]. 2005. (pp. 233-255). Springer, Dordrecht. Disponible en: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/1-4020-3553-5_8.pdf
- 12 Pernía, B., Rojas-Tortolero, D., Sena, L., Sisto, A. D., Inojosa, Y., & Naranjo, L. Fitotoxicidad de HAP, crudos extra pesados y sus fracciones en *Lactuca sativa*: una interpretación integral utilizando un índice de toxicidad modificado. *Revista internacional de contaminación ambiental*. [Internet]. 2018. 34(1), 79-91. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992018000100079&script=sci_arttext
- 13 Morábito, J. A., Mirábito, C. M., Salatino, S. E., Mastrantonio, L., Barone, R. R., & Comellas, E. A. *Impacto de la contaminación por residuos sólidos urbanos (RSU) en la distribución del agua de riego del Río Mendoza (Argentina)*. Centro Regional Andino-INA, Belgrano 210 Oeste, Universidad Nacional Cuyo. [Internet]. 2012. Disponible en: http://www.observatoriova.com/wp-content/uploads/2013/10/Morabito_RSU_Rio_Mza.pdf
- 14 Cantero Barroso, D. Del Puerto Rodríguez, A. M. Brown Vega, W. Suárez Tamayo, S Valdés González, A. C. Fitotoxicidad con lactuca sativa para evaluar calidad del agua subterránea. Hig. Sanid. Ambient. [Internet]. 2018. 21 (1): 1979-1984. Disponible en: [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc5b19018201fa6_Hig.Sanid_.Ambient.18.\(1\).1597-1603.\(2018\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc5b19018201fa6_Hig.Sanid_.Ambient.18.(1).1597-1603.(2018).pdf)
- 15 Martín, L., & Pozo, M. Bioensayo de germinación de *Lactuca sativa* y calidad de agua del área regadía del Río Mendoza. AUGM. Universidad Nacional de Cuyo. [Internet]. 2018. Disponible en https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12901/24-aguas-martin-leandro-uncuyo.pdf
- 16 Avellaneda, M. O., Bermejillo, A. I., & Mastrantonio, L. E. *Aguas de riego. Calidad y evaluación de su factibilidad de uso* (No. F06 UNC 18207 y CD 51). Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza (Argentina). Facultad de Ciencias Agrarias. Cátedra de Química Agrícola. [Internet]. 2004.
- 17 Morábito, J., Salatino, S., Medina, R., Zimmermann, M., Filippini, M., Bermejillo, A., Nacif, N., Campos, S., Dediol, C., Genovese, D., Pizzuolo, P. y Mastrantonio, L. Evaluación de la calidad del agua en el área regadía del río Mendoza, Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*. [Internet]. 2005. 37 (1), 1- 23. Disponible en: <https://www.ina.gov.ar/archivos/pdf/CRA-IIIFERTI/CRA-RYD-11-Mor%C3%A1bito%201.pdf>
- 18 Romero Guzmán, B. M. Impactos Ambientales Significativos Generados por las Acequias Cois, Pulen y Yortuque de la Ciudad de Chiclayo y Propuesta de un Plan de Mitigación. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú. [Internet]. 2017. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1246/BC-TES-TMP-0079.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 19 Damiani, B. Giai, M. Avila M & Fernandez, M. Estudio de fitotoxicidad en el sistema hídrico metropolitano de Mendoza. Poster presentado en XI Jornadas de Investigación 2019 - Universidad Maza. ICU. 2019. Disponible en: http://repositorio.umaza.edu.ar/bitstream/handle/00261/2311/Damiani_P%C3%B3ster%20Estudio%20de%20fitotoxicidad%20en%20el_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 20 Cantón, M. A., de Rosa, C., Kasperidus, H. Sustentabilidad del bosque urbano en el área metropolitana de la ciudad de Mendoza. Análisis y diagnóstico de la condición de la arboleda. *Revista Avances y Energías Renovables y Medio Ambiente*. [Internet]. 2003. Volumen 7, N° 1. pp. 01.29- 01.34. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/80662>

Artículo completo

Ciencias Ambientales, Agroindustrias y de la Tierra

- 21 **Castillo Morales, G. (ed.)** Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones / Gabriela Castillo (ed.). - México: IMTA. [Internet]. 2004. 189 pp. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/plugin-file.php/25000/mod_resource/content/1/toxicidad%20bioensayos%20idrc.pdf
- 22 **Sobrero, M.** Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos. Bioensayos con plantas vasculares como organismos diagnósticos. Universidad Nacional de la Plata. [Internet]. 2010. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/5246>
- 23 **Unidiversidad.** El sistema de acequias y arboleda urbana como patrimonio cultural. Disponible en: <http://www.unidiversidad.com.ar/el-sistema-de-acequias-y-arboleda-urbana-como-patrimonio-cultural>

Ciencias de la Salud Humana

Ayuno Intermitente: ¿mito o realidad?

Intermittent fasting: myth or reality?

Mussi Stoizik, Jessica Anabella¹; Heredia, Rocío¹; Elías, María Lucía¹; Avena, María Virginia^{1,2}; Boarelli, Paola¹.

¹Laboratorio de Enfermedades Metabólicas. Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza

²Instituto de Histología y Embriología de Mendoza - CONICET (IHEM)

Contacto: jsmussi@gmail.com

Autor de correspondencia: Jessica Anabella Musi Stoizik

Palabras claves: marcadores metabólicos,

marcadores proinflamatorios, peso corporal, glucemia, perfil lipídico

Key words: metabolic markers, pro-inflammatory markers, weight, blood glucose, lipid profile.

Resumen

El ayuno intermitente constituye un cambio de paradigma en la nutrición tradicional. A través de las redes sociales y las plataformas de generación de contenido se han «viralizado» diferentes conceptos sobre sus beneficios y debilidades, de las cuales, la mayor parte, no poseen referencias científicas. El objetivo es revisar y analizar las publicaciones científicas actuales, sobre el ayuno intermitente y su impacto en el metabolismo. Se realizó una revisión bibliográfica sistemática de artículos seleccionados de las bases de datos: Scielo, PubMed, Medline, Cochrane Library y Researchgate y se utilizaron las palabras clave: *fasting*, *intermittent fasting*, *intermittent energy restriction* y *time-restricted feeding*. Los protocolos de ayuno intermitente son variados, pero siguen o son modificaciones de uno de dos patrones de ayuno/alimentación. Con estas estrategias dietéticas, se altera el patrón de restricción de energía y/o el momento de la ingesta de alimentos con el propósito de obtener beneficios metabólicos. Se evaluaron investigaciones en modelos animales y estudios en humanos, de los cuales se reportaron cambios en biomarcadores metabólicos, como glucemia, perfil lipídico y hormonas asociadas al metabolismo de los mismo, reducción en la expresión de genes proinflamatorios, mejores resultados en el control del peso y la salud metabólica. Los estudios sugieren efectos beneficiosos sobre el peso corporal, los biomarcadores metabólicos, sobre procesos degenerativos y envejecimiento. Sin embargo, se requieren protocolos bien establecidos de ciclos ayuno/alimentación a largo plazo, para poder determinar lo comprobado en estudios determinados.

Abstract

Intermittent fasting constitutes a paradigm shift in traditional nutrition. Through social networks and content generation platforms, different concepts about their benefits and weaknesses have been «viralized», most of which do not have scientific references. The goal is to provide information on intermittent fasting and its impact on metabolism through the analysis of current scientific publications. For our analysis, a systematic bibliographic review of selected articles from the databases: Scielo, PubMed, Medline, Cochrane Library and Researchgate was carried out and the keywords were used: «fasting», «intermittent fasting», «intermittent energy restriction» and «Time-restricted feeding». All protocols are varied, but follow or are modifications of one of two fasting / eating patterns. With these dietary strategies, the pattern of energy restriction and / or the timing of food intake is altered in order to obtain metabolic benefits. In this way, research in animal models and studies in humans were evaluated, of which changes in metabolic biomarkers were reported, such as blood glucose, lipid profile and hormones associated with their metabolism, reduction in the expression of pro-inflammatory genes, better results in the weight management and metabolic health. It studies suggest beneficial effects on body weight, metabolic biomarkers, on degenerative processes and aging. But, well-established long-term fasting / feeding cycle protocols are required to determine what is proven in certain studies.

Introducción

En los últimos tiempos, uno de los temas que ha surgido y que es el centro de esta reflexión y revisión es el ayuno intermitente (AI), el cual constituye un cambio de paradigma en la nutrición tradicional, sobre todo asociado a la pérdida de peso. Por un lado, los defensores del AI, sostienen que el hombre no necesita consumir alimentos con esa frecuencia. Para fundamentar el AI toman como bandera las investigaciones del doctor Yoshinori Ohsumi, quien en el 2016 ganó el premio Nobel por sus investigaciones sobre los mecanismos de la autofagia en ratones. La autofagia es parte de la fisiología celular, descubierta y denominada así en la década de 1960 por el bioquímico belga Christian de Duve. Literalmente el término autofagia significa «comerse a uno mismo» (deriva del griego *auto* uno mismo; *phagos* comer). Las investigaciones sobre la autofagia tomaron gran auge en la década de 1990 asociando este fenómeno con otros procesos celulares como la proliferación y diferenciación celular y la apoptosis (muerte celular programada). La autofagia se ha convertido en una potencial estrategia para prevenir procesos degenerativos, y este solo se logra con el ayuno^{1,2,3,4}.

El AI puede definirse como una abstinencia voluntaria de ingesta de alimentos y bebidas durante periodos de tiempo específicos y recurrentes⁵. Es una estrategia dietética en la que los períodos de consumo normal están marcados por períodos de restricción energética o ayuno y el objetivo es crear una reducción neta en la ingesta energética que haga que caiga por debajo del gasto, creando así un estado de balance negativo e induciendo la pérdida de peso⁶. Diversos estudios científicos indican una mejora en la salud de los pacientes que realizan este modelo nutricional, el cual sustenta sus bases en los métodos de alimentación desde la antigüedad donde se alternaban períodos de ayuno y ventanas de alimentación⁷.

A lo largo de la historia, los humanos evolucionaron en entornos donde los alimentos eran escasos, lo que les ha permitido adaptarse y así tener un alto rendimiento tanto físico como cognitivo ante periodos de ayunos de tiempo prolongados⁸. En la actualidad, en las sociedades modernas, se alimentan por lo menos tres veces al día, y el consumo excesivo de determinados alimentos puede conducir a morbilidades metabólicas tales como resistencia a la insulina y acumulación excesiva de grasa visceral, principalmente si este tipo de alimentación va acompañado de un estilo de vida sedentario⁹. Por lo tanto, el AI se presenta como una herramienta clínica muy interesante, que cada vez es más conocida en nuestra sociedad, no solo por sus beneficios, sino por la comodidad de practicar este tipo de distribución alimentaria. No debemos olvidar que, en muchas tradiciones religiosas y étnicas el ayuno es una práctica importante¹⁰. Es el caso del Ramadán, el cual es parte de la práctica islámica para que los musulmanes adultos sanos ayunen desde el amanecer hasta el atardecer durante el mes sagrado.

En general, los regímenes de AI tienen la hipótesis de influir en la regulación del metabolismo a través de los efectos sobre la biología circadiana, la microbiota intestinal y el estilo de vida. Existe un gran potencial de reducir el riesgo de muchas enfermedades crónicas, particularmente en personas con sobrepeso y sedentarias, mejorando los factores que predisponen a desarrollarlas^{11,12}. El objetivo del presente trabajo es analizar las publicaciones científicas actuales sobre el AI y su impacto en el metabolismo. Asimismo, cabe destacar que el espíritu de nuestra revisión no constituye un metaanálisis, solamente busca acercar información relevante que pueda aportar un enfoque formal sobre el mismo.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática de los artículos recuperados de la literatura científica sobre AI. De manera independiente, todos los autores evaluaron los títulos, resúmenes y palabras claves de los registros recuperados para evaluar su relevancia respecto de los criterios de inclusión y exclusión descriptos a continuación junto a las bases de datos consultadas.

Los artículos fueron seleccionados de las siguientes bases de datos: Scielo, PubMed, Medline, Cochrane Library y Researchgate. Se utilizaron las palabras clave: *fasting*, *intermittent fasting*, *intermittent energy restriction* y *time-restricted feeding*.

Uno de los criterios de inclusión fue que los artículos estuvieran disponibles a texto completo y por acceso abierto. Se incluyeron tanto estudios en animales y humanos, debido a que representan la mayor parte de la información científica respecto al tema hasta la actualidad, al ser este último el modelo experimental más habitual en estudios de AI. En el caso de estudios en humanos, fueron considerados aquellos artículos con participantes adultos y criterios de valoración que incluían cambios en el peso corporal o biomarcadores de riesgo de diabetes y/o enfermedad cardiovascular. Fueron excluidos estudios *in vitro*, en modelos animales diferentes al establecido y estudios que observaban el efecto de fármacos y alcohol. La búsqueda se realizó entre los meses de septiembre y noviembre de 2020. De forma paralela, y a medida que se incluyeron estudios de acuerdo a los criterios marcados, se realizaron búsquedas manuales sobre las referencias bibliográficas de los registros incluidos para detectar documentos relevantes que hubieran pasado inadvertidos en las estrategias de búsqueda bibliográfica.

Las publicaciones sobre AI relacionados a prácticas religiosas no se tuvieron en cuenta dentro de los criterios ya que no se encuentran vinculados a problemas de salud y/o asociados a la búsqueda de pérdida de peso.

Resultados

Protocolos de investigaciones

Uno de los primeros problemas que enfrentamos en el análisis de las publicaciones al respecto del AI es que la mayoría de ellos son en animales de laboratorio o *in vitro*. En comparación, los estudios en humanos son mucho menor en número. Como mencionamos, esto es debido a que los ambientes donde están alojados los animales permiten contar con parámetros estables. Es decir, puede estandarizarse las fases luz/día, que mimetizan las horas de vigilia y sueño. En el caso de la alimentación, esta es suministrada en ciertos periodos de tiempo y luego es retirada del recinto cuando se busca reducir la ingesta. En otros casos, el alimento no es retirado y permite el consumo *ad-libitum*. La temperatura también se encuentra estable y no existen otros estímulos que podrían influir en los ensayos. De este modo, en la presente investigación los ensayos *in vitro* no se tuvieron en cuenta, ya que el espíritu del mismo es dar claridad a la información que se encuentra disponible en los medios de difusión masiva directamente asociados a salud humana y bienestar. En los estudios bajo revisión se observó, que en general, los ensayos en humanos son realizados con un número bajo de individuos, y en ocasiones en un solo género. El tiempo de intervención es de entre 8 a 12 semanas y como máximo un año. Es decir, no son intervenciones a largo plazo. Además, las personas que participan de estos estudios tienen alguna enfermedad de base y muy pocos ensayos son realizados en individuos fisiológicamente sanos^{13,14,15,16,17,18,19}. Los protocolos de AI son variados, pero siguen o son modificaciones de uno de dos patrones de ayuno/alimentación. El primero de ellos se caracteriza por alternar días de ayuno con días de consumo habitual. Es decir, un día sin aporte energético (calórico) y otro día sin ningún tipo de restricción^{7,16,20}. En el segundo, se propone solo reducción calórica continua sin días de ayuno total o parcial^{7,14,17,21}. En los protocolos de AI podemos encontrar algunas variantes. Como mencionamos anteriormente, se pueden realizar ayunos en días alternos, sin consumo en 24 horas. Por otra parte, pueden realizarse dos días continuos de ayuno y el resto de los días el consumo es habitual, esto es la base del protocolo 5:2²². En otros protocolos no se realizan ayunos de 24 horas, sino que se busca extender las horas entre consumo de alimentos. Los más comunes son 16:8, 14:10, 12:12 horas, en las cuales solo hay dos comidas al día en lugar de seis, propuestas tradicionalmente, y se establecen momentos de consumo, con restricción de calorías o sin restricción^{19,23,24,25}. Con todas estas estrategias dietéticas, se altera el patrón de restricción energética y/o el momento de la ingesta de alimentos para obtener beneficios metabólicos²⁶. Con respecto a lo que se refiere a restricción energética, esta se encuentra alrededor del 25-30% hasta el 100% en los casos de días de restricción completa. Al mismo tiempo, en la mayoría de los estudios no mencionan si los individuos realizan actividad física durante la intervención¹³.

Relación con la saciedad

Por otra parte, en relación con la sensación de hambre u otro tipo de efecto adverso a nivel de saciedad, en animales se observan comportamientos compensatorios al ser sometidos al ayuno, es decir, experimentan adaptación a la falta de alimento²⁷. Este es un aspecto importante a tener en cuenta en las intervenciones de AI en humanos, ya que existe una continua exposición a estímulos que generan deseo de consumir alimentos y bebidas. Además de la sensación de hambre emocional y/o algún otro tipo de sentimiento frente a este tipo de intervención. Algunos autores reportaron estados de distracción, alteración en el ánimo, bajo rendimiento laboral. Curiosamente, algunos individuos no manifiestan sentir hambre²⁸. Por otra parte, otros estudios sí reportan que existe la sensación de hambre y esta es creciente en el tiempo¹⁶. El AI en algunos estudios parece no presentar efectos secundarios importantes más que náuseas y mareos. Aunque esto no se observa en los grupos que siguen protocolos de restricción calórica continua. En cuanto a la adhesión al protocolo, las tasas de abandono son similares entre ambos tipos de protocolos, AI y restricción calórica continua. La restricción continua sería una alternativa adecuada para personas que no pueden seguir una restricción completa²⁹.

Influencia sobre biomarcadores metabólicos

En los estudios bajo AI y sus modificaciones o bajo restricción energética continua se reportaron cambios en biomarcadores metabólicos, tales como: glucemia, perfil lipídico y hormonas asociadas al metabolismo de glúcidos y/o lípidos. Además, en muchos de ellos también se analizó el efecto en el peso corporal y en la presión arterial. El AI mejora múltiples indicadores de la salud tanto en animales como en humanos, incluyendo: presión sanguínea, la frecuencia cardíaca en reposo, colesterol, los niveles de lipoproteínas de alta y baja densidad (HDL-LDL respectivamente), triglicéridos, glucosa^{30,31,32,33}, insulina^{31,32,33,34} y resistencia a la insulina evaluada por el índice HOMA^{35,36,37}. No obstante, no se observan mejoras significativas en comparación con los resultados obtenidos con una dieta hipocalórica o de restricción energética continua²⁹. Con el acompañamiento de actividad física, en los estudios en humanos donde se combina reducción energética o días de ayuno con días sin restricción calórica continua, puede observarse mejores resultados en la pérdida de peso y mejoría en los parámetros metabólicos en comparación a aquellos estudios donde no se incluyó ejercicio físico^{13,38}. En individuos con diabetes mellitus tipo II (DMII), se ha demostrado que el AI mejora el control glucémico y el perfil lipídico³⁹, y en estudios donde se restringe el consumo con ayunos de 24 horas, tres veces por semana, revierte la resistencia a la insulina, reduce los niveles de hemoglobina glicosilada, el estrés oxidativo y el apetito³⁶. Por el contrario, muchos de los estudios de AI dentro de poblaciones heterogéneas no diabéticas, que han abarcado de 4 a 24 semanas, no han podido mostrar ningún efecto significativo en niveles de glucosa en ayunas^{15,16,23,40}.

o hemoglobina glucosilada¹⁴. El AI en días alternos en modelos de obesidad en roedores, además de reducir las concentraciones totales de colesterol y triglicéridos en plasma, reduce la esteatosis hepática y la expresión de genes proinflamatorios, y tiene efectos beneficiosos sobre el riesgo de cáncer^{15,18,41,42}. Un estudio piloto de 8 semanas con 26 participantes obesos, tanto hombres como mujeres, reportó pérdida de peso promedio del 9%, acompañada de reducción en el nivel de LDL y triglicéridos en ayunas⁴³. Una investigación en ratones reportó disminución del tejido adiposo visceral, secreción de leptina, resistina y aumento de adiponectina. En humanos se obtienen resultados similares en algunos trabajos, pero en otros no presentan diferencias significativas. En algunos estudios se observa disminución de genes proinflamatorios como IL-6 y TNF- α , además de cambios en la reactividad a la proteína C reactiva^{45,46}. Sin embargo, no todas las investigaciones consideran medición de estos factores o encuentran diferencias significativas^{14,16,17,19}.

Relación con ritmo circadiano

En la actualidad, ha comenzado a asociarse la ingesta con el ritmo circadiano. Es decir, acompañar el tiempo de consumo con momentos específicos del día, permitiendo la alimentación durante el día y suprimiendo la misma en las horas de oscuridad. En animales pudo observarse que existía reducción en el peso corporal y mejora de los parámetros metabólicos en aquellos que consumían alimento solo en las fases de luz-día, en contraste con animales que se alimentaban *ad-libitum* tanto en la fase luz-día como en la fase oscuridad, ya que disponían todo el tiempo del alimento. Hay reportes que apoyan el consumo energético en las primeras horas del día y restringir o no ingerir ningún tipo de alimentos por la tarde y/o la noche¹³. El ritmo circadiano tiene impacto en el metabolismo y estos efectos son maleables por intervención conductual⁷. El reloj circadiano regula la expresión génica y afecta ampliamente a varios órganos y red de señales de control⁴⁷. El ayuno durante la noche, se asocia con un aumento de ácidos grasos (AG) libres (GL), grelina, hormona de crecimiento (somatotrofina) y de la gluconeogénesis hepática, así como la sensibilidad a la insulina; los cuales disminuye a lo largo del día⁷. El tejido adiposo organiza el ciclo de los triglicéridos, controlando la absorción, la esterificación y liberación de AGL para satisfacer las demandas metabólicas del hígado y del tejido muscular. Es así que la interrupción de los patrones normales de sueño, puede desembocar en resistencia a la insulina y mayores riesgos de obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares^{48,49,50,51,52,53,54}. Así mismo, la regulación metabólica de glucosa y lípidos está influenciada por los cambios en la dieta, incluyendo las variaciones en el horario de las comidas, así como cambios abruptos en estado de energía, como en el caso del estado de ayuno, el cual, cuando se extiende, induce cambios profundos en la utilización de nutrientes, que persisten hasta el período posterior de alimentación^{22,55}. Es así, que las respuestas posprandiales de insulina y glucosa a las comidas aumentan durante el día hasta la noche^{56,57,58,59,60}. Numerosos estudios observacionales han informado que la alimentación nocturna está asociada con reducción de la duración y calidad del sueño^{61,62}, lo que puede provocar resistencia a la insulina y mayores riesgos de obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer^{49,50,51,52,53,54}. Específicamente, se supone que comer comidas a horas circadianas anormales (es decir, a altas horas de la noche) conduce a desincronización circadiana⁶³ y la posterior interrupción de los patrones normales de sueño. Por lo tanto, la integración de ritmos circadianos y de alimentación controlados, podrían ser beneficiosos.

Cáncer y trastornos neurodegenerativos

En relación al AI con patologías como el cáncer, las evidencias muestran que protege de la toxicidad y mejora la eficacia de una amplia variedad de quimioterápicos en el tratamiento de varios tumores. Los bajos niveles de glucemia durante el ayuno imponen un estrés adicional en las células tumorales, ya que las necesidades energéticas en estas circunstancias se satisfacen principalmente por medio de la glucólisis. Además, inhiben su crecimiento y por eso las hace susceptibles a los tratamientos clínicos³⁶. Sin embargo, en relación al cáncer no hay consenso por parte de la comunidad científica con respecto al protocolo de alimentación y al AI. Por lo tanto, la alimentación siempre deberá ser supervisada por un profesional²⁷. Con respecto a la intervención en algunos trastornos neurodegenerativos a través del AI, este induce modificaciones coordinada de muchos mecanismos metabólicos y transcripcionales, que puede influir en el sistema nervioso, optimizando la bioenergética de las neuronas, la plasticidad y la resistencia al estrés; manteniendo o mejorando el rendimiento cognitivo^{13,36}.

Discusión

En los últimos años, varias variantes de AI han recibido considerables intereses como estrategias dietéticas alternativas para controlar el peso y mejorar la salud metabólica. Incluso ha llegado a postularse al AI, «la próxima gran moda de pérdida de peso»²³.

Por esta razón, nuestro grupo de investigación quiso indagar en el impacto del AI y como se difunde la información en los medios masivos. Así, al realizar el análisis de las diferentes variantes de protocolos de alimentación en las que establecen horas de ayuno con ventanas de alimentación, y particularmente como estrategia dietética alternativa para controlar el peso y mejorar la salud metabólica, podemos comprender las controversias en los fundamentos que se plantean. También, adosando datos que demuestran las aplicaciones exitosas, por ejemplo, en el mantenimiento de peso por períodos de hasta un año^{14,64}.

De esta manera podemos entender que, tanto en estudios en animales como en humanos, con régimen de AI como de restricción energética continua, impactan en el peso corporal sobre todo en individuos obesos y mejoran los niveles de glucemia y sensibilidad a la insulina. Sin embargo, los ensayos en humanos son en general a corto plazo, denotando el menor cumplimiento de los patrones de consumo de alimentos asignados. A pesar de producir considerables mejoras en parámetros metabólicos. La sensación de hambre y disminución en el rendimiento y ánimo son las que dificultan que el AI sea una intervención saludable. Aunque, otros estudios sugieren que las tasas de abandono son similares a las de las personas que siguen una dieta hipocalórica²⁹, y no se observa una mayor pérdida de peso ni tampoco una mejora de los indicadores de riesgo de patologías¹⁴.

La glucosa es la principal fuente de energía para la mayoría de los tejidos durante el día, mientras que los ácidos grasos (AG) representan una fuente de combustible alternativa para los órganos más metabólicamente activos, incluido el músculo, hígado y cerebro. De aquí se plantea el «ciclo de glucosa y AG», metabolismo energético que ocurre durante la alimentación y el ayuno, donde la glucosa y la AG compiten por la oxidación^{65,66}. Varios estudios han revisado el proceso y observado que en roedores alimentados con normalidad o con bajo contenido de grasa, han presentado mejoras en el control glucémico^{67,68}. Esto podría indicar una protección contra la diabetes, con la mejora de la sensibilidad de insulina^{37,41}, aunque no todos concuerdan con esto³⁵.

Por ejemplo, el AI al generar ciclos de oxidación de AG, mantiene activo el metabolismo de los lípidos y disminuiría la resistencia a la insulina. Incluso, en roedores, se ha observado que puede reducirse la esteatosis hepática, pero en humanos todavía no hay conclusiones. Si bien la disminución de la oxidación de los AG conduce a una resistencia a la insulina, se ha observado que un aumento de los ácidos grasos libres (AGL) serían los responsables de este fenómeno. El aumento de los AGL a nivel mitocondrial genera estrés, lo que conduce a la producción de especies reactivas del oxígeno. En el caso del hígado, este posee la capacidad de canalizar los AGL hacia otras vías metabólicas alternativas, como la generación de cuerpos cetónicos²⁶.

Otro aspecto relevante, es proponer estudios en individuos sin una patología de base ya que no puede relacionarse con un metabolismo saludable sin estar frente a estados de daño que podrían ser permanentes y no permitirían reconocer los beneficios.

Por lo tanto, es necesario desarrollar investigaciones con protocolos a largo plazo, que permitan establecer los potenciales beneficios o daños que podría causar el AI. Además, es necesario hacer hincapié en el efecto sobre tejidos específicos, como por ejemplo el músculo esquelético. Otro punto relevante, es establecer las determinaciones bioquímicas y/o moleculares para evaluar los fenómenos que se producen, así como el momento para realizar dichas pruebas.

Conclusiones

El análisis de los estudios en animales y en humanos sugieren que el AI puede tener efectos beneficiosos sobre el peso corporal, los biomarcadores metabólicos y sobre procesos degenerativos y de envejecimiento. A nivel celular, el AI también puede aumentar la resistencia contra el estrés oxidativo, disminuyendo la inflamación crónica. Sin embargo, los estudios varían mucho en su definición de AI, el protocolo aplicado y la duración de mismo. Además, los estudios se han realizado en diversas poblaciones con resultados mixtos. La escasez de investigación sobre AI con protocolos bien establecidos de ciclos ayuno/alimentación a largo plazo, dificulta la prescripción con seguridad. Si bien, los estudios en animales no son sencillos de ser extrapolados a humanos, sí permite obtener información relevante. La mayoría de los estudios se han realizado sobre este modelo en ambientes controlados. Justamente, los estudios en humanos tienen la dificultad de estar bajo estímulos ambientales que entorpecen el seguimiento de los protocolos.

El AI es una estrategia interesante y las evidencias sobre sus efectos son alentadoras. Sin embargo, las investigaciones futuras deben enfocarse en establecer las variables que permitan un análisis con mayor exactitud. Es necesario desarrollar estudios a largo plazo, ya que, las intervenciones de pocas semanas o meses no permiten o no son suficientes para poder establecer diferencias y poder concluir si es bueno o malo desde el punto de vista metabólico. Además, es crítico establecer protocolos estandarizados, y así, analizar los fenómenos bioquímicos y moleculares.

Agradecimientos

El equipo de investigación agradece a la Universidad Juan Agustín Maza por el apoyo otorgado.

Bibliografía

- 1 Bergamini E, Cavallini G, Donati A, Gori Z. The role of autophagy in aging: its essential part in the anti-aging mechanism of caloric restriction. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2007; 1114 (1): 69-78.
- 2 Bagherniya M, Butler AE, Barreto GE, Sahebkar A. The effect of fasting or calorie restriction on autophagy induction: A review of the literature. *Ageing Res Rev.* 2018 Nov;47:183-197. doi: 10.1016/j.arr.2018.08.004. Epub 2018 Aug 30. PMID: 30172870.
- 3 Antunes F, Erustes AG, Costa AJ, Nascimento AC, Bincoletto C, Ureshino RP, Pereira GJS, Smaili SS. Autophagy and intermittent fasting: the connection for cancer therapy? *Clinics (Sao Paulo)*. 2018 Dec 10;73(suppl 1):e814s. doi: 10.6061/clinics/2018/e814s. PMID: 30540126; PMCID: PMC6257056.
- 4 Liu H, Javaheri A, Godar RJ, Murphy J, Ma X, Rohatgi N, Mahadevan J, Hyrc K, Saftig P, Marshall C, McDaniel ML, Remedi MS, Razani B, Urano F, Diwan A. Intermittent fasting preserves beta-cell mass in obesity-induced diabetes via the autophagy-lysosome pathway. *Autophagy*. 2017;13(11):1952-1968. doi: 10.1080/15548627.2017.1368596. Epub 2017 Nov 25. PMID: 28853981; PMCID: PMC5788488.
- 5 Phillips M. Fasting as a Therapy in Neurological Disease. *Nutrients*. 2019; 11(10):2501. DOI: 10.3390/nu11102501.
- 6 Hill J, Wyatt H, Peters J. Equilibrio energético y obesidad. *Circulación*. 2012; 126 (1): 126-32.
- 7 Horne B, Muhlestein J, Anderson J. Health effects of intermittent fasting: hormesis or harm? A systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2015; Vol 102, Issue 2: 464-470.
- 8 Crittenden A, Schnorr S. Current views on hunter-gatherer nutrition and the evolution of the human diet. *Am J Phys Anthropol*. 2017; 162:84-109. 3.
- 9 Mattson M, Longo V, Harvie M. Impact of intermittent fasting on health and disease processes. *Ageing Research Reviews* 2017; 39:46-58.
- 10 Golbidi S, Daiber A, Korac B, Li H, Essop M, Laher I. Health benefits of fasting and caloric restriction. *Curr Diab Rep*. 2017; 17:123.
- 11 Longo V and Mattson M. Fasting: molecular mechanisms and clinical applications. *Cell Metab*. 2014; 19:181-92
- 12 Longo V and Panda S. Fasting, circadian rhythms, and time-restricted feeding in healthy lifespan. *Cell Metab*. 2016; 23:1048-59.
- 13 Patterson R and Sears D. Metabolic Effects of Intermittent Fasting. *Annu. Rev. Nutr.* 2017; 37:371-93.
- 14 Harvie M, Wright C, Pegington M, McMullan D, Mitchell E, Martin B et al. The effect of intermittent energy and carbohydrate restriction. daily energy restriction on weight loss and metabolic disease risk markers in overweight women. *British Journal of Nutrition*. 2013; 110(8):1534-1547.
- 15 Harvie M, Sims A, Pegington M et al. Intermittent energy restriction induces changes in breast gene expression and systemic metabolism. *Breast Cancer Res* 2016; 18, 57.
- 16 Heilbronn L, Smith S, Martin C, Anton S, Ravussin E. Alternate-day fasting in nonobese subjects: effects on body weight, body composition, and energy metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 2005; 81:69-73.
- 17 Johnson J, Summer W, Cutler R, Martin B, Hyun D, et al. Alternate day calorie restriction improves clinical findings and reduces markers of oxidative stress and inflammation in overweight adults with moderate asthma. *Free Radic. Biol. Med.* 2007; 42:665-74.
- 18 Varady K and Hellerstein M. Alternate-day fasting and chronic disease prevention: a review of human and animal trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 2007; 86:7-13.
- 19 Varady K, Bhutani S, Church E, Klempel M. Short-term modified alternate-day fasting: a novel dietary strategy for weight loss and cardio-protection in obese adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 2009; 90:1138-43.
- 20 Halberg N, Henriksen M, Soderhamn N, Stallknecht B, Ploug T, et al. Effect of intermittent fasting and refeeding on insulin action in healthy men. *J. Appl. Physiol.* 2005; 99:2128-36.
- 21 Williams K, Mullen M, Kelley D, Wing R. The effect of short periods of caloric restriction on weight loss and glycemic control in type 2 diabetes. *Diabetes Care* 1998; 21:2-8.
- 22 Antoni R, Johnston K, Collins A et al. Investigation into the acute effects of total and partial energy restriction on postprandial metabolism among overweight/obese participants. *Br J Nutr* 2016; 115, 951-959.
- 23 Collier R. Intermittent fasting: The science of going without. Canadian Medical Association CMAJ. 2013; Vol. 185p. E363-4.
- 24 Tinsley G and La Bounty P. Effects of intermittent fasting on body composition and clinical health markers in humans. *Nutr Rev*. 2015; 73 (10): 661-74.
- 25 St-Onge M, Ard J, Baskin M, Chiuve S, Johnson H, Kris-Etherton P, et al. Meal timing and frequency: implications for cardiovascular disease prevention: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2017; 135:e96-121.
- 26 Antoni R, Johnston K, Collins A and Robertson M. Effects of intermittent fasting on glucose and lipid metabolism. *Proceedings of the Nutrition Society* 2017; 76, 361-368. DOI:10.1017/S0029665116002986.
- 27 Saz C and Bargues G. El ayuno intermitente: ¿La panacea de la alimentación? *Actualización en Nutrición* 2020; Vol. 21, 1. 25-32 ISSN 1667-8052 (impresa) ISSN 2250-7183 (en línea).
- 28 Appleton K and Baker S. Distraction, not hunger, is associated with lower mood and lower perceived work performance on fast compared to non-fast days during intermittent fasting. *J. Health Psychol.* 2015; 20:702-11.
- 29 González U and Colina. Efecto del ayuno intermitente en la pérdida de grasa y en la salud. *Universitat Oberta de Catalunya (UOC)* 2020. <http://hdl.handle.net/10609/120603>.
- 30 Pedersen C, Hagemann I, Bock T et al. Intermittent feeding and fasting reduces diabetes incidence in BB rats. *Autoimmunity* 1999; 30, 243-250.
- 31 Anson R, Guo Z, de Cabo R et al. Intermittent fasting dissociates beneficial effects of dietary restriction on glucose metabolism and neuronal resistance to injury from calorie intake. *Proc Natl Acad Sci USA* 2003; 100, 6216-6220.

Artículo completo

Ciencias de la Salud Humana

- 32 Wan R, Camandola S and Mattson M. Intermittent food deprivation improves cardiovascular and neuroendocrine responses to stress in rats. *J Nutr* 2003; 133, 1921-1929.
- 33 Wan R, Ahmet I, Brown M et al. Cardioprotective effect of intermittent fasting is associated with an elevation of adiponectin levels in rats. *J Nutr Biochem* 2010; 21, 413-417.
- 34 Gotthardt J, Verpeut J, Yeomans B, Yang J, Yasrebi A, et al. 2016. Intermittent fasting promotes fat loss with lean mass retention, increased hypothalamic norepinephrine content, and increased neuropeptide Y gene expression in diet-induced obese male mice. *Endocrinology* 2016; 157:679-91.
- 35 Higashida K, Fujimoto E, Higuchi M et al. Effects of alternate-day fasting on high-fat diet-induced insulin resistance in rat skeletal muscle. *Life Sci* 2013; 93, 208-213.
- 36 Canicoba M. Aplicaciones clínicas del ayuno intermitente. *Rev. Nutr. Clin. Metab.* 2020; vol;3(2):87-94. DOI: <https://doi.org/10.35454/rncm.v3n2.174>.
- 37 Baumeier C, Kaiser D, Heeren J et al. Caloric restriction and intermittent fasting alter hepatic lipid droplet proteome and diacylglycerol species and prevent diabetes in NZO mice. *Biochim Biophys Acta.* 2015; 851, 566-576.
- 38 Bhutani S, Klempel M, Berger R, Varady K. Las mejoras en los indicadores de riesgo de enfermedad coronaria mediante el ayuno en días alternos implican modulaciones del tejido adiposo. *Obesidad* 2010; 18 (11): 2152-9.
- 39 Ash S, Reeves M, Yeo S et al. Effect of intensive dietetic interventions on weight and glycaemic control in overweight men with Type II diabetes: a randomized trial. *Int J Obes* 2003; 27, 797-802.
- 40 Eshghinia S and Mohammadzadeh F. The effects of modified alternate-day fasting diet on weight loss and CAD risk factors in overweight and obese women. *J. Diabetes Metab. Disord.* 2013; 12:4.
- 41 Yang W, Cao M, Mao X et al. Alternate-day fasting protects the livers of mice against high-fat diet-induced inflammation associated with the suppression of Toll-like receptor 4/nuclear factor κ B signaling. *Nutr Res* 2016; 36, 586-593.
- 42 Joslin P, Bell R, Swoap S. Obese mice on a high-fat alternate-day fasting regimen lose weight and improve glucose tolerance. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2017; <https://doi.org/10.1111/jpn.12546>.
- 43 Catenacci V, Pan Z, Ostendorf D et al. A randomized pilot study comparing zero-calorie alternate-day fasting to daily caloric restriction in adults with obesity. *Obesity* 2016, 24, 1874-1883.
- 44 Varady K, Bhutani S, Klempel M, Kroeger C, Trepanowski J, et al. Alternate day fasting for weight loss in normal weight and overweight subjects: a randomized controlled trial. *Nutr. J.* 2013; 12:146.
- 45 Faris M, Kacimi S, Al-Kurd R, Fararjeh M, Bustanji Y, et al. Intermittent fasting during Ramadan attenuates proinflammatory cytokines and immune cells in healthy subjects. *Nutr. Res.* 2012; 32:947-55.
- 46 Aksungar F, Topkaya A, Akyildiz M. Interleukin-6, C-reactive protein and biochemical parameters during prolonged intermittent fasting. *Ann. Nutr. Metab.* 2007; 51:88-95.
- 47 Bass J and Lazar M. Circadian time signatures of fitness and disease. *Science* (80-) [Internet]. 2016; 354:994-9.
- 48 Nørrelund H. The metabolic role of growth hormone in humans with particular reference to fasting. *Growth Horm IGF Res* [Internet]. Vol. 15. Elsevier; 2005.; 95-122.
- 49 Buxton O and Marcelli E. Short and long sleep are positively associated with obesity, diabetes, hypertension, and cardiovascular disease among adults in the United States. *Soc. Sci. Med.* 2010; 71:1027-36.
- 50 Ford E, Li C, Wheaton A, Chapman D, Perry G, Croft J. Sleep duration and body mass index and waist circumference among U.S. adults. *Obesity* 2014; 22:598-607.
- 51 Gallicchio L and Kalesan B. Sleep duration and mortality: a systematic review and meta-analysis. *J. Sleep Res.* 2009; 18:148-58.
- 52 Grandner M, Hale L, Moore M, Patel N. Mortality associated with short sleep duration: the evidence, the possible mechanisms, and the future. *Sleep Med. Rev.* 2010; 14:191-203.
- 53 Patel S and Hu F. Short sleep duration and weight gain: a systematic review. *Obesity* 2008; 16:643-53.
- 54 Spiegel K, Knutson K, Leproult R, Tasali E, Van Cauter E. Sleep loss: a novel risk factor for insulin resistance and type 2 diabetes. *J. Appl. Physiol.* 2005; 99:2008-19.
- 55 Potter G, Cade J, Grant P et al. Nutrition and the circadian system. *Br J Nutr* 2016; 16, 434-442.
- 56 Frape D, Williams N, Scriven A, Palmer C, O'Sullivan K, Fletcher R. Diurnal trends in responses of blood plasma concentrations of glucose, insulin, and C-peptide following high- and low-fat meals and their relation to fat metabolism in healthy middle-aged volunteers. *Br. J. Nutr.* 1997; 77:523-35.
- 57 Gibbs M, Harrington D, Starkey S, Williams P, Hampton S. Diurnal postprandial responses to low and high glycaemic index mixed meals. *Clin. Nutr.* 2014; 33:889-94.
- 58 Morgan L, Hampton S, Gibbs M, Arendt J. Circadian aspects of postprandial metabolism. *Chronobiol. Int.* 2003; 20:795-808.
- 59 Polonsky K, Given B, Van Cauter E. Twenty-four-hour profiles and pulsatile patterns of insulin secretion in normal and obese subjects. *J. Clin. Investig.* 1988; 81:442-48.
- 60 Saad A, Dalla Man C, Nandy D, Levine J, Bharucha A, et al. Diurnal pattern to insulin secretion and insulin action in healthy individuals. *Diabetes* 2012; 61:2691-700.
- 61 Antelmi E, Vinai P, Pizza F, Marcattelli M, Speciale M, Provini F. Nocturnal eating is part of the clinical spectrum of restless legs syndrome and an underestimated risk factor for increased body mass index. *Sleep Med.* 2014; 15:168-72.

Artículo completo

Ciencias de la Salud Humana

- 62 Yamaguchi M, Uemura H, Katsuura-Kamano S, Nakamoto M, Hiyoshi M, et al. Relationship of dietary factors and habits with sleep-wake regularity. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 2013; 22:457-65.
- 63 Bass J and Takahashi J. Circadian integration of metabolism and energetics. *Science* 2010; 330:1349-54.
- 64 Wegman M, Guo M, Bennion D et al. Practicality of intermittent fasting in humans and its effect on oxidative stress and genes related to aging and metabolism. *Rejuvenation Res* 2015; 18, 162-172.
- 65 Randle P, Garland PB, Hales C, Newsholme E. The glucose fatty-acid cycle. Its role in insulin sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus. *Lancet* [Internet] Elsevier 1963; Vol. 281, 785-9.
- 66 Hue L and Taegtmeyer H. The Randle cycle revisited: a new head for an old hat. *Am J Physiol Metab* [Internet]. Vol. 297. *Am Physiological Soc*; 2009; E578-91.
- 67 Jiang H, Koike T, Li P, Wang Z et al. Combined effects of short-term calorie restriction and exercise on insulin action in normal rats. *Horm Metab Res* 2010; 42, 950-954.
- 68 Boutant M, Kulkarni S, Joffraud M et al. SIRT1 gain of function does not mimic or enhance the adaptations to intermittent fasting. *Cell Rep* 2016; 14, 2068-2075.

Declaración de conflicto de intereses

Finalmente se aclara que los autores del presente manuscrito no presentan conflicto de intereses alguno.

Ciencias Sociales y Humanas

Seguridad vial en Argentina y España: desafíos para la publicidad de bien público

Road safety in Argentina and Spain: challenges for public service advertising

Tomba, Carolina; Allisiardi, Andrés; Muñoz, María Cecilia; Cortellezzi, Paula

Facultad de Ciencias Sociales y Comunicación.
Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza, Argentina

Contacto: carolinatomba@gmail.com
Autor de correspondencia: Tomba, Carolina

Palabras claves: publicidad de bien público, Argentina, España, concientización, seguridad vial
Keywords: public service advertising, Argentina, Spain, awareness, road safety

Resumen

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación «La publicidad de bien público: su eficacia estructural para el cambio de comportamiento», que efectúa un monitoreo de la publicidad social estatal emitida en Argentina y España en el periodo 2019-2021. En lo particular, este artículo se propone analizar exclusivamente las campañas centradas en la seguridad vial como eje temático, estableciendo un enfoque comparativo que evidencie puntos comunes y distantes en el tratamiento ejercido por los anunciantes. Las piezas publicitarias que integran la muestra son exploradas cuantitativamente mediante la aplicación de la Tabla ECREP para descifrar su nivel creativo y cualitativamente, a través del análisis de contenido, para reflejar la propuesta discursiva de sus mensajes. En forma preliminar, los anunciantes manifiestan diferencias en la ejecución creativa: España reporta un mejor desempeño y articula propuestas de mayor impacto; Argentina presenta mensajes lineales y de corte clásico, con recursos recurrentes en este tipo de campañas. Ambos países expresan, de fondo, un enfoque compartido: la articulación de discursos que buscan la sensibilización inmediata apelando al miedo y la culpa de los públicos.

Abstract

This paper is part of the research project «Public good advertising: its structural effectiveness for behavioral change», which monitors state social advertising broadcast in Argentina and Spain in the period 2019-2021. In particular, this article aims to analyze exclusively the campaigns focused on road safety as a thematic axis, establishing a comparative approach that evidences common and distant points in the treatment exercised by advertisers. The advertising pieces that make up the sample are explored quantitatively through the application of the ECREP Table to describe their creative level and qualitatively, through content analysis, to reflect the discursive proposal of their messages. Preliminarily, advertisers show differences in creative execution: Spain reports a better performance and articulates proposals of greater impact; Argentina presents linear and classic messages, with recurrent resources in this type of campaigns. Both countries express, basically, a shared approach: the articulation of discourses that seek immediate awareness by appealing to the public's fear and guilt.

Artículo completo

Ciencias Sociales y Humanas

Introducción

La publicidad de bien público o publicidad social es una de las tipologías de comunicación más empleadas por los gobiernos de todo el mundo, cuyo objetivo primario es difundir mensajes que mejoren la calidad de vida de una sociedad. Esto incluye acercar información, estimular actitudes, promover comportamientos deseables y desalentar aquellos considerados perjudiciales. La Administración Pública asume, como tal, la responsabilidad de velar por el bienestar de la ciudadanía, empleando políticas que en muchos casos adoptan forma de mensaje. No obstante, el lanzamiento de campañas de concientización suele responder al llamado de la contingencia antes que al de la reflexión teórica.

La preocupación se profundiza al recordar que la publicidad social posa su interés sobre causas de bien común que revisten, muchas veces, una gravedad desmedida. Tal es el caso de la siniestralidad vial: ante estadísticas siempre alarmantes y la necesidad de una voz rápida de parte de las autoridades, el devenir publicitario ha dado lugar a lo que Castelló Mayo (2010) define como «línea realista». Esta se materializa en campañas de gran impacto visual que buscan movilizar el mundo interno de los públicos mediante recursos explícitos y atemorizantes centrados en la muerte como resultado de la imprudencia vial. Sin embargo, generar mensajes alarmantes tiene sus riesgos: Hoad (2011) sugiere la conveniencia de condenar las acciones y no a las audiencias. Cuando buscamos desmotivar ciertas conductas nocivas para las personas, son esos comportamientos los «enemigos» y no sus portadores.

En esta línea, el presente artículo se propone desarrollar un análisis comparativo entre las campañas de bien público gubernamentales de Argentina y España difundidas en el corte temporal 2019-2021, para develar la construcción de los posicionamientos discursivos ante la siniestralidad vial. Esto se traduce en una lectura exhaustiva de las dos aristas presentes en todo mensaje publicitario: su construcción comunicacional, abordada desde el análisis de contenido; su nivel creativo, medido a través la aplicación de la Tabla ECREP: Evaluación de la Creatividad Publicitaria.

La conformación de la muestra se realiza en forma progresiva, ya que la misma se actualiza a medida que las campañas son lanzadas en los medios como respuesta comunicativa a las problemáticas presentes en su contexto. En un corte preliminar de este relevamiento permanente, la seguridad vial se perfila como uno de los ejes temáticos más recurrentes en ambos países, lo cual motiva el desarrollo de este artículo.

Materiales y métodos

La conformación de la muestra se efectuó en base a los siguientes criterios de inclusión: tipo de anunciante, país de procedencia, tipo de campaña publicitaria, objetivo, alcance geográfico, fecha de publicación y temática. Se consideraron como elegibles, por lo tanto, aquellas piezas publicitarias de bien público gubernamentales de Argentina y España que integran campañas nacionales difundidas de modo masivo entre 2019 y 2021, cuyo objetivo comunicativo primario sea la concientización colectiva sobre los siniestros viales y la necesidad de su prevención. Este corte temporal comienza el 01/04/2019 inicio del proyecto marco y finaliza el 31/05/2021, fecha en la que se registra el lanzamiento de la última campaña de bien público sobre la temática analizada. El análisis comparativo entre Argentina y España se justifica en la dilatada trayectoria publicitaria de ambos países en causas sociales, lo cual los posiciona como referentes a nivel hispanoamericano. La selección de campañas incluye sólo las iniciativas impulsadas por los gobiernos nacionales debido a que se erigen como los principales anunciantes sociales, lo que garantiza condiciones similares en gestión, producción y pautado de medios, de modo que las variables comunicacionales y creativas son el verdadero eje del estudio comparativo.

Las piezas han sido sometidas a un análisis de contenido para profundizar en los mensajes desde un nivel general, técnico, comunicativo y social. Estos aspectos se encuentran materializados en una plantilla aplicada a cada unidad de la muestra, para evidenciar los rasgos relevantes de su propuesta comunicativa y el tratamiento de los siniestros viales en tanto causa social. Su nivel creativo fue evaluado mediante la Tabla ECREP (Evaluación de la Creatividad Publicitaria), herramienta ofrecida por Vejling, Tomba y Mateo (2017) que, como resultado de un proceso investigativo, proponen un modelo de análisis de la creatividad publicitaria mediante sus variables medulares: originalidad, conectividad, lógica, impacto, emotividad, fantasía y quiebre. Tales aspectos constituyen indicadores cuya presencia es medida de acuerdo a una escala, la que determina finalmente el nivel creativo general de la pieza analizada.

Resultados

La muestra está conformada por 9 campañas: 4 de Argentina y 5 de España, que incluyen un total de 28 piezas publicitarias. Las mismas fueron sometidas individualmente a la Tabla ECREP, obteniendo la siguiente clasificación:

Tabla 1: Aplicación de Tabla ECREP a la muestra. Fuente: elaboración propia.

PAÍS	CAMPAÑA	NIVEL CREATIVO				
		Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Argentina	La podés contar		X			
	Picadas clandestinas	X				
	Responsabilidad colectiva	X				
	Si vas a manejar, no tomés	X				
España	Top vacacional				X	
	Parece cosa del pasado			X		
	Vivo o muerto	X				
	Semana Santa		X			
	Verano 2020				X	

Las campañas de Argentina registraron las siguientes calificaciones: «La podés contar» (13 puntos), «Picadas clandestinas» (9 puntos), «Responsabilidad colectiva» (10 puntos) y «Si vas a manejar, no tomés» (9 puntos). Estas propuestas publicitarias presentan planteos creativos clásicos y recurrentes en campañas sobre siniestros viales, obteniendo puntajes finales que las clasifican con un nivel creativo «nulo» y «bajo».

En el caso de España, la aplicación de la Tabla ECREP permitió obtener los siguientes resultados: «Top vacacional» (26 puntos), «Parece cosa del pasado» (19 puntos), «Vivo o muerto» (7 puntos), «Semana Santa» (16 puntos) y «Verano 2020» (24 puntos). El desempeño creativo de las campañas españolas ha sido notablemente mayor, tres superan un nivel «medio» de creatividad y las otras dos consiguen un nivel «alto». Tomando la televisión como medio troncal, estas propuestas deciden comunicar la temática mediante el uso de figuras retóricas como la analogía que suma fuerza narrativa al despliegue audiovisual.



Figura 1: Comparación de campañas
Izquierda: «La podés contar» (Argentina) - Derecha: «Verano 2020» (España)

En virtud de lo aportado por el análisis de contenido, se observan diferencias y puntos compartidos entre los anunciantes y su construcción de mensajes en torno a la temática.

Las campañas argentinas muestran una estructura de comunicación más lineal, y la construcción creativa no se distancia del código ampliamente extendido en las campañas de bien público destinadas a la prevención de siniestros viales. Esto se refleja en tonos solemnes (seriedad y preocupación, colores de saturados, fondo negro), la recreación de situaciones prototípicas (consumo de alcohol en un bar, accidente en la ruta) y testimoniales mediante los cuales el anunciante se muestra como denunciante, a través de la figura de los personajes (bombero, médica, víctima de siniestro vial).

Artículo completo

Ciencias Sociales y Humanas

Las campañas españolas reflejan la búsqueda de un mayor impacto, lo cual se evidencia especialmente en los casos «Top vacacional» y «Verano 2020»: el primero, realizando una analogía entre destinos turísticos y las consecuencias de la imprudencia al volante; el segundo, presentando un corto publicitario protagonizado por una pista de hielo. No obstante, detrás del alto desempeño creativo obtenido se observa la repetición de un enfoque comunicacional recurrente: la alusión al miedo y la culpa como disparadores para la adopción de conductas responsables.

Los mensajes de ambos países dejan ver su adecuación al contexto: en «La podés contar» y «Responsabilidad colectiva», Argentina presenta piezas exclusivas para los usuarios de motos, en correlato con el aporte estadístico que demuestra sus mayores índices de fatalidad.

España, por su parte, dedica dos campañas a la siniestralidad vial en contexto de pandemia. También se puede observar la aparición de un enfoque argumentativo compartido por ambos anunciantes: en los casos «Top Vacacional», «Vivo o muerto» y «Si vas a manejar, no tomés» se hace mención a las consecuencias legales de los siniestros viales, la pérdida de la libertad luego de haber causado la muerte de otras personas.

Discusión

Consideramos que los discursos vertidos en las campañas analizadas reflejan no solo una mirada comunicativa: son, en definitiva, una extensión en forma de mensaje del posicionamiento que los gobiernos asumen frente a la seguridad vial. Como se evidencia en el caso de España, dedicar dos campañas a la siniestralidad vial en contexto de pandemia puede considerarse un signo de madurez comunicativa al sostener en agenda las problemáticas sociales prioritarias más allá de la urgencia inmediata. Exponer los puntos comunes entre dos causas paralelas demuestra una clara y rápida lectura del contexto, estrategia necesaria para abordar la realidad social en su complejidad.

Argentina dedica esfuerzos específicos hacia los usuarios de motos, en respuesta directa a los datos disponibles. De acuerdo a la Agencia Nacional de Seguridad Vial (2019), durante 2018 el país tuvo 5.493 víctimas fatales. Durante 2020, las restricciones estrictas de circulación motivadas por la pandemia redujeron la siniestralidad, pero la problemática sigue siendo crítica. Argentina registró un total de 3.138 muertes: la tasa de fatalidad en motos duplica a la de automóviles; el 81% fueron hombres y el mayor número de víctimas comprende a jóvenes entre 15 y 34 años (ANSV, 2021).

El caso español, aunque con cifras menores, también despierta preocupación creciente que encuentra eco en los mensajes generados. Desde 1989 (pico de siniestros viales) el país ha manifestado un profundo descenso de la siniestralidad vial hasta culminar en el amesetamiento sostenido de los últimos años. De acuerdo a la Dirección General de Tráfico (2020), en 2019 fueron 1.755 las personas fallecidas, lo cual representa un 3% menos respecto a 2018. La letalidad, entendida como la relación entre decesos sobre el total de víctimas (hospitalizadas y no hospitalizadas) fue de 1,2 y continúa como la más baja de la historia. «Las distracciones aparecen como factor concurrente en un 28% de los accidentes mortales; el consumo de alcohol, en un 25%; y la velocidad, en un 23%» (DGT, 2020, p. 53).

La dureza de este contexto social de Argentina y España es reflejada en la muestra que, a excepción de algunos casos con altas dosis creativas y nuevas perspectivas, continúa atrapada en recursos y enfoques publicitarios de larga data: mirada generalista, multitarget, unidireccional y con peso en la emoción negativa (Tomba, Muñoz y Allisiardi, 2020). Reproducen y perpetúan un mismo código de representación que acude al miedo y la violencia como principales aliados, estableciendo distancia y apatía entre el emisor y los públicos. Esta culpabilización y desmesurado dramatismo, aspectos discutidos por autores como Hoad (2011) y Storey (2011), son terrenos cortoplacistas que no consideran procesos sostenidos tendientes a un cambio real.

Conclusiones

La todavía incipiente literatura de las campañas de bien público sobre siniestros viales contrasta profundamente con la realidad social reflejada en el aporte estadístico, año tras año los datos se erigen como alarmas crecientes ante una problemática estructural. A raíz de lo analizado, se evidencia una débil concepción del valor creativo necesario en este tipo de comunicación. Los mensajes de bien público son, en definitiva, mensajes publicitarios que no pueden desprenderse de su esencia persuasiva. Bajo esta premisa y como quedó ejemplificado en el caso español, un gobierno que apuesta recursos al desarrollo de campañas sociales no debe descuidar su necesidad primera: que las piezas despierten la atención y el interés por parte de los públicos para lograr que adopten las conductas preventivas que se busca promover.

No obstante, que la «forma» publicitaria resulte novedosa puede inducir al error de considerar que estamos frente a un nuevo enfoque cuando en realidad lo que es simplemente una variación de recursos. Se observa en los mensajes analizados el reflejo

de la «línea realista», característica en las campañas sobre siniestros viales: los públicos son instados a modificar rápidamente sus actitudes y comportamientos, ante la amenaza tangible de la pérdida de la propia vida, la vida de otro o la libertad. Comparamos con Castelló Mayo (2010) lo que él denomina «barbecho comunicativo»: la imperiosa necesidad de superar esta línea realista y su inherente escalada de violencia para incursionar en nuevas estrategias de comunicación publicitaria.

El presente trabajo busca enriquecer la reflexión teórica sobre la comunicación preventiva de esta temática a través de conceptos y marcos de análisis que puedan ser el basamento para nuevos estudios. Este punto resultará esencial para ajustar futuras campañas, sus mensajes y planteos creativos. Sin dudas la búsqueda del bienestar social requiere de desarrollos comunicacionales eficientes que impliquen un tratamiento profundo y exhaustivo en virtud de una publicidad de bien público responsable y comprometida.

Artículo completo

Ciencias Sociales y Humanas

Bibliografía

- Agencia Nacional de Seguridad Vial (2019).** Anuario Estadístico de siniestralidad vial: Año 2018. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ansv_anuario2018_v3.pdf
- Agencia Nacional de Seguridad Vial (2021).** Informe anual 2020. Datos preliminares. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ansv_informe_anual_2020.pdf
- Castelló Mayo, E. (2010).** Las campañas de educación vial de la Dirección General de Tráfico: de la sensibilización a la victimización. En *Revista Comunicación*, n°8, 10-12.
- Dirección General de Tráfico (2020).** Anuario estadístico de accidentes 2019. <https://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/anuario-estadistico-de-accidentes/Anuario-estadistico-de-accidentes-2019.pdf>
- Dirección General de Tráfico (2020).** Las principales cifras de la siniestralidad vial. España 2019. https://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/Las_principales_cifras_de_la_siniestralidad_vial_Espana_2019.pdf
- Hoad, A. (2011).** *Iniciar un comportamiento positivo. En La publicidad de bien público. El impacto de la comunicación social* (1ª ed., 31-58). Buenos Aires: Temas Grupo Editorial.
- Storey, R. (2011).** *Iniciar un comportamiento positivo. En La publicidad de bien público. El impacto de la comunicación social* (1ª ed., 3-29). Buenos Aires: Temas Grupo Editorial.
- Tomba, C.; Muñoz, C. y Allisiardi, A. (2020).** La responsabilidad social de la publicidad: el rol de las campañas de bien público. En *Vivat Academia*, n° 150, 103-129.
- Vejling, L., Tomba, C. y Mateo, A. (2017).** *La esencia creativa de la publicidad: cómo medir el nivel creativo de una publicidad*. Mendoza: Editorial UMaza.