

CUADERNOS DEL CURIHAM

REVISTA DE ESTUDIOS SOBRE LA CUESTION HIDROAMBIENTAL

CUADERNOS DEL CURIHAM / Volumen 25 / Año 2019

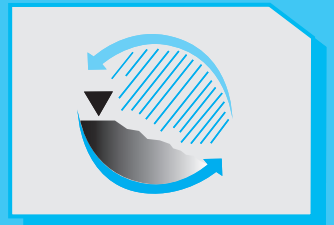
Temario

Artículos

- Alteración de los parámetros del modelo de Green y Ampt ante la ocurrencia de incendios en suelos de Córdoba (Argentina)
- Interacción agua-sedimentos-trazador fluorescente en un reactor. Medición de flóculos
- Cambios del uso de la tierra en la cuenca del Arroyo Ludueña, Santa Fe: Impacto en la sostenibilidad y en los servicios ecosistémicos
- Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la estación meteorológica del CIM-FICH. Serie 1986–2016
- Estudio experimental del efecto hidrológico de cubiertas verdes para su utilización en el área metropolitana del Gran Resistencia

Nota Técnica

- Caracterización de desastres naturales y tecnológicos con énfasis en desastres hidrológicos



Volumen 25
Año 2019

CURIHAM - FCEIA (UNR)
Rosario - Santa Fe
República Argentina



ISSN 1514-2906 (impreso)
ISSN 2683-8168 (en línea)

CUADERNOS DEL CURIHAM

REVISTA DE ESTUDIOS SOBRE LA CUESTION HIDROAMBIENTAL

|

L

|

L

ISSN 1514-2906 (Impresa)
ISSN 2683-8168 (En línea)

CUADERNOS DEL CURIHAM

REVISTA DE ESTUDIOS SOBRE LA CUESTION HIDROAMBIENTAL

Volumen 25
Año 2019

Editada por:
Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura

Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Santa Fe, Argentina

Riobamba 245 bis. Ciudad Universitaria.
S2000EKE. Rosario. Santa Fe. Argentina.
Tel: 54-341-4808541
e_mail: revistac@fceia.unr.edu.ar
Sitio web: <https://cuadernosdelcuriham.unr.edu.ar>

CUADERNOS DEL CURIHAM

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales

Volumen 25, año 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

Rector: Franco Bartolacci

Vicerrector: Darío Masía

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA

Decana: Dra. Ing. Graciela Utges

Vicedecano: Ing. Damián Portaro

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales

Director. Hernán Stenta



Universidad
Nacional
de Rosario



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



Libro
Universitario
Argentino

CiN REUN

Red de Editoriales
de las Universidades Nacionales
de la Argentina



**CUADERNOS
DEL CURIHAM**
REVISTA SOBRE
LA CUESTION HIDROAMBIENTAL



IMPRESO EN LA ARGENTINA/PRINTED IN ARGENTINA
UNR EDITORA - EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
SECRETARÍA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

CONSEJO EDITORIAL

Editora Responsable: Adelma Mancinelli. *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Editor Asociado: Gerardo Riccardi, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Equipo de Edición:

Carlos Scuderi, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Marina García, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Hernán Stenta, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

CONSEJO REVISOR

Pedro Basile, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Mónica Blarasin, *Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.*

Armando Brizuela, *Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos, Argentina.*

Gabriel Caamaño Nelli, *Instituto Nacional del Agua-Centro de la Región Semiárida, Córdoba, Argentina.*

Mario Castiglioni, *Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.*

Sandra Fernandez, *Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires, Argentina.*

Carlos Marcelo García, *Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.*

Leopoldo Génova, *Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.*

Javier Heredia, *Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España.*

Pablo Miguel Jacovkis, *Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.*

Victor Lallana, *Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos, Argentina.*

Sergio Montico, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Raúl Navarro, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Virginia Pacini, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Nora Pouey, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

Mariano Re, *Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina.*

Leticia Rodríguez, *Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.*

José Rodríguez, *University of Newcastle, Newcastle, Australia.*

Patricia Saco, *University of Newcastle, Newcastle, Australia.*

Carlos Scioli, *Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.*

Alfredo Trento, *Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.*

José Vargas, *Universidad de Concepción, Concepción, Chile.*

Luis Vives, *Instituto de Hidrología de Llanuras, Buenos Aires, Argentina.*

Juan Weber, *Universidad Tecnológica Nacional-Regional Córdoba, Córdoba, Argentina.*

Eduardo Zamanillo, *Universidad Tecnológica Nacional y Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos, Argentina.*

Erik Zimmermann, *Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.*

ACERCA DE LA REVISTA

La Revista CUADERNOS DEL CURIHAM, ISSN 2683-8168 (En línea) | ISSN 1514-2906 (Impresa), es una publicación de periodicidad anual (publica cada diciembre) editada por el Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM), Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

La revista tiene como objetivo la divulgación de trabajos de investigación básica y aplicada, como así también innovaciones tecnológicas en el campo concerniente a la disciplina hidroambiental. Además, esta publicación puede incluir resultados de investigaciones de campo, estudios interdisciplinarios como así también trabajos acerca de estado del arte en la temática.

Las temáticas comprendidas son: Hidráulica Fundamental, Fluvial e Hidrodinámica; Hidrología Superficial y Subterránea; Hidrología Urbana; Ingeniería Sanitaria, Hidráulica Experimental, Sistemas de provisión de agua, Estocástica; Planeamiento y Manejo de Recursos Hídricos; Evaluación Ambiental; Contaminación y Calidad de aguas; Política y Legislación de Aguas; Gerenciamiento Hidroambiental Regional; Obras Hidráulicas, Métodos y Técnicas Constructivas; y todos aquellos temas relacionados con las ciencias hidroambientales. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, docentes, estudiantes de posgrado y grado y profesionales de las áreas afines a la temática de la misma.

Los artículos y notas técnicas que se propongan para su publicación deberán ser originales y no haber sido publicados previamente, y no estar simultáneamente propuestos para tal fin en otra publicación. La responsabilidad del contenido, originalidad y autenticidad de los artículos o notas técnicas corresponde a los autores.

La Revista CUADERNOS DEL CURIHAM recibe trabajos en español; portugués y/o inglés.

Los autores no pagan ningún costo por el procesamiento; envío y publicación de los artículos y notas técnicas a la revista.

Todos los artículos / notas técnicas recibidos cumplen con las siguientes instancias. En primera instancia, los artículos son revisados por el Consejo Editorial y sólo aquellos artículos/ notas técnicas que cumplen con los estándares científicos y editoriales de la Revista; con sus objetivos y el enfoque pasan a la siguiente etapa. En segunda instancia se realiza la revisión por parte del Consejo Revisor. La Revista CUADERNOS DEL CURIHAM utiliza para la Evaluación de cada artículo o nota técnica el protocolo de arbitraje tipo simple ciego. Cada artículo o nota técnica debe ser analizado por expertos de alto nivel y de reconocido prestigio nacional e internacional en su ámbito profesional, quienes recomiendan su aceptación, provisoriamente aceptado, provisoriamente no aceptado o no aceptado. Por último, el Consejo Editorial de la revista será el responsable de la decisión final para la publicación o no del artículo o nota técnica. Adicionalmente, los autores deberán aprobar las pruebas finales de sus textos.

La Revista CUADERNOS DEL CURIHAM (versión papel) se encuentra indizada a partir de los criterios de calidad editorial establecidos por el sistema Latindex. Referencia: Catálogo LATINDEX N° 7515 (a partir del año 2004).

La Revista se publica bajo política de acceso abierto. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional(CC BY-NC-SA 4.0)

Sitio web: <https://cuadernosdelcuriham.unr.edu.ar/>

INDICE

ARTICULOS

Alteración de los parámetros del modelo de Green y Ampt ante la ocurrencia de incendios en suelos de Córdoba (Argentina)

Juan Weber y Santiago Reyna..... 01

Interacción agua-sedimentos-trazador fluorescente en un reactor. Medición de flóculos

Alex Wolfenson, Verónica Lanza, Lucas Palman, Matias Imhoff, Ana Alvarez y Alfredo Trento.... 19

Cambios del uso de la tierra en la cuenca del Arroyo Ludueña, Santa Fe: Impacto en la sostenibilidad y en los servicios ecosistémicos

Sergio Montico, Néstor Di Leo, Beatriz Bonel y Julio Denoia.....31

Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la estación meteorológica del CIM-FICH. Serie 1986–2016

Ramiro Marcus, María del Valle Morresi, Esteban Elizalde Carrillo, José Macor e Ignacio Cristina. 41

Estudio experimental del efecto hidrológico de cubiertas verdes para su utilización en el área metropolitana del Gran Resistencia

Néstor Holsbach, Jorge Pilar y Claudia Pilar..... 59

NOTA TÉCNICA

Caracterización de desastres naturales y tecnológicos con énfasis en desastres hidrológicos

Carlos Scuderi, Raúl Postiglione, Gerardo Riccardi y Hernán Stenta..... 65

ALTERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE GREEN Y AMPT ANTE LA OCURRENCIA DE INCENDIOS EN SUELOS DE CÓRDOBA (ARGENTINA)

Juan Weber ^{(1)(*)}, Santiago Reyna⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratorio de Hidráulica, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Córdoba, Córdoba, Argentina.

⁽²⁾ Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Córdoba, Argentina

^(*)e-mail: jweber@frc.utn.edu.ar

RESUMEN

En la provincia de Córdoba (Argentina), por sus características climáticas, se desarrollan frecuentemente incendios forestales en correspondencia con la estación seca. Hasta el momento no se han reportado mediciones sistemáticas del impacto de estos incendios en el comportamiento hidrológico de sus cuencas. Mediante el uso de simulador de lluvia portátil, y quemas controladas a temperaturas y duraciones representativas, se ha llevado a cabo una campaña de medición del impacto del fuego sobre la capacidad de infiltración en los suelos de Córdoba. Para ello, se han realizado mediciones en condiciones pre y post-incendio del escurrimiento superficial ante una lluvia simulada de intensidad conocida. Los resultados experimentales muestran una reducción de la capacidad de infiltración promedio del 32 % al finalizar los ensayos a consecuencia de la acción del fuego. A partir de estos resultados, se calibraron los parámetros del modelo de infiltración de Green y Ampt, analizando su alteración producto del fuego. La conductividad hidráulica presenta significativas reducciones, mientras que la carga de succión matricial se incrementa considerablemente. Se considera que los resultados obtenidos permitirán realizar evaluaciones cuantitativas del impacto de los incendios forestales en el ciclo hidrológico de las cuencas de la región serrana de Córdoba.

Palabras clave: Hidrología superficial, simulador de lluvia, incendios forestales, modelo de Green y Ampt

ABSTRACT

In the province of Córdoba (Argentina), due to its climatic characteristics, forest fires frequently develop in correspondence with the dry season. So far, there have been no systematic measurements of the impact of these fires on the hydrological behavior of their watersheds. Through the use of a portable rain simulator, and controlled burning at representative temperatures and durations, a campaign has been carried out to measure the impact of fire on the infiltration capacity in Córdoba soils. For this, measurements have been made in pre and post-fire conditions of surface runoff under a simulated rain of known intensity. The experimental results show a reduction of the average infiltration capacity of 32% at the end of the tests as a result of the fire action. From these results, the parameters of the infiltration model of Green and Ampt were calibrated, analyzing their alteration as a result of fire. The hydraulic conductivity presents significant reductions, while the suction head increases considerably. It is considered that the results obtained will allow quantitative assessments of the impact of forest fires in the hydrological cycle of the basins of the mountain region of Córdoba.

Keywords: Surface hydrology, rainfall simulator, wildfires, Green & Ampt model

INTRODUCCIÓN

La provincia de Córdoba se ubica en la región central de la República Argentina. En la provincia de Córdoba, por las características climáticas y régimen de precipitaciones, entre los meses de junio a septiembre se suceden numerosos incendios coincidiendo con la época de sequía de la zona (Figura 1). Estos incendios tienen diversos orígenes y se ven potenciados e influenciados por la presencia humana y sus condiciones naturales (baja humedad relativa, ocurrencia de heladas, vientos fuertes con orientación predominante Norte-Sur y abundancia de material combustible).

Los incendios de campos siempre son preocupantes en una provincia proclive a este tipo de siniestros por las características de su clima, por las extensiones cubiertas por bosques autóctonos o implantados o por el difícil acceso en las zonas serranas. La susceptibilidad al fuego de las especies de la flora local, la acumulación de material vegetal muerto y las condiciones climáticas, favorecen en gran medida este fenómeno (Consigli, 1999).



Figura 1. Incendio forestal en la provincia de Córdoba.

El principal efecto del fuego es el que produce a través de la remoción de las plantas y la hojarasca. El impacto que ocasiona éste sobre una cuenca puede ser analizado considerando su perturbación sobre los procesos que intervienen dentro del ciclo hidrológico (DeBano et al., 1996). Se puede clasificar según la alteración que provoca dentro y fuera de los sitios afectados (Baker, 1990). En el primer grupo se encuentran: la disminución de la intercepción vegetal, alteración en la capacidad de infiltración y lixiviación, erosión y pérdidas por volatilización (Baker, 1990). Dentro del segundo grupo aparecen la modificación de los caudales y de la calidad del agua. Entre los parámetros de calidad

del agua más afectados por un incendio figuran las concentraciones de sedimentos aportados y la variación de nutrientes (Tiedemann, 1978; DeBano et al., 1996).

Los incendios y el calentamiento del suelo asociado pueden destruir la estructura del mismo, afectando tanto a la porosidad total como la distribución del tamaño de los poros en los horizontes superficiales de un suelo. La pérdida de macroporos superficiales reduce las tasas de infiltración y produce un aumento en la escorrentía. La alteración de la materia orgánica también puede conducir a una condición de suelo hidrofóbico que disminuye aún más las tasas de infiltración. El escenario que se produce durante la destrucción de la estructura del suelo por el fuego, y por tanto puede inducir una alteración de la capacidad de infiltración, es el siguiente:

- La estructura del suelo colapsa y aumenta la densidad del mismo ya que la materia orgánica que servía como un agente de unión ha sido destruida.
- El colapso de la estructura reduce la porosidad del suelo (principalmente los macroporos).
- La superficie del suelo se encuentra más compactada por el efecto de las gotas de lluvia que caen sobre las partículas del suelo y su desplazamiento conjunto con el desplazamiento de las cenizas, que hacen que los poros de la superficie del suelo se sellen parcial o totalmente.
- Los residuos de cenizas y carbón obstruyen los poros del suelo.
- Por último la superficie del suelo impenetrable reduce las tasas de infiltración en el suelo, produciendo un aumento en la escorrentía y en la erosión de las laderas.

Los efectos del fuego sobre el ciclo hidrológico son determinados en gran medida por la gravedad del incendio. No es posible describir adecuadamente los posibles impactos del fuego en todas las situaciones imaginables (Neary et al., 2005).

La propiedad de infiltración del suelo a menudo es alterada cuando el fuego destruye la vegetación y la hojarasca que cubren a una cuenca, según los mecanismos anteriormente indicados.

La disminución de la infiltración produce un aumento del flujo superficial y en consecuencia el aumento del caudal de descarga. Esto provoca un incremento de la

erosión superficial que puede disparar procesos irreversibles de pérdida de suelo (Figura 2).



Figura 2. Pajonales de altura incendiados en las Sierras Grandes de Córdoba. Obsérvese la reducción de la cobertura vegetal, y la consecuente aparición de áreas de suelo expuesto, altamente erodible (fotografía del autor).

Se han reportado en la literatura mundial los efectos hidrológicos de los incendios forestales. Neary et al. (2005) realizan una presentación sistematizada del conocimiento en estos aspectos. En diversas regiones del planeta se han medido las respuestas hidrológicas de cuencas incendiadas. Doerr y Shakesby (2006) realizan una revisión crítica del estado del arte en el conocimiento del impacto hidrológico de los incendios forestales, concluyendo acerca de la necesidad de mejorar los modelos predictivos disponibles.

Existen numerosas observaciones, a lo largo de las áreas frecuentemente sometidas a incendios, del cambio en la respuesta hidrológica a nivel de cuenca. Bart y Hope (2010) presentan la variación en la respuesta hidrológica de cuencas en California, ante las situaciones pre y post incendio. El efecto de los incendios en la escorrentía superficial, independientemente del período de tiempo examinado, se encontró que era variable, dependiendo principalmente de las condiciones de humedad posteriores al incendio. No se evidenció ninguna relación entre el cambio en la escorrentía posterior al incendio y el tamaño de la cuenca o el área quemada. Sempere et al. (1994) muestran el impacto hidrológico de los incendios analizando los cambios observados en una pequeña cuenca mediterránea francesa comparando 23 años de registros preincendio y 3 años postincendio. Concluyen que el volumen total de agua escurrida, a nivel anual y mensual, aumenta entre un 25% y un

30% el año posterior al incendio con respecto al que se hubiese producido de no mediar el efecto del fuego. Respecto de los caudales punta, los valores medidos en los tres años hidrológicos posteriores al incendio fueron en promedio 280% mayores de los esperados según las estimaciones obtenidas por un modelo de regresión ajustado a partir de los episodios anteriores al incendio. Candela et al. (2005) analizan el impacto a nivel de cuenca de un incendio, estudiando la alteración de la curva de frecuencia de caudales a posteriori del fuego. Mayor et al. (2007) presentan un análisis de la dinámica a mediano plazo de una cuenca incendiada en la región de Alicante, España, en conjunto con otra cuenca vecina no incendiada. Tanto el escurrimiento anual como la producción de sedimentos se incrementaron en la cuenca afectada, prolongándose dichos efectos por más de seis años. Martin y Lavabre (1997) estiman la contribución del escurrimiento superficial y su separación del hidrograma total en una cuenca de Francia, luego de un incendio forestal. Mediante el análisis de dos eventos, concluyen que se observan claras diferencias en el volumen de escorrentía, pero similitudes en la descarga máxima. Loáiciga et al. (2001) muestran las alteraciones sufridas en una cuenca del Chaparral en California del Sud, debido a 10 grandes incendios ocurridos a lo largo de 45 años. En base a los registros, concluyeron que los escurrimientos totales anuales se incrementaron entre un 20 % a un 30 % en los años posteriores a los incendios. López Alonso et al. (2004) presentan los efectos de un incendio forestal sobre la respuesta hidrológica de una cuenca mediterránea en España. Han detectado una mayor respuesta hidrológica para los episodios hasta seis meses después del incendio, tanto en volumen de escorrentía como en caudal máximo, siendo más acusado el incremento para los episodios de mayor magnitud. Moody y Martin (2001) muestran la relación entre intensidad de lluvia y caudal pico en tres cuencas montañosas del oeste de los Estados Unidos, luego de un gran incendio. Las escorrentías máximas de estas tres cuencas hidrográficas quemadas oscilaron entre 3.2 m³/s.km² y 50 m³/s.km². Los autores sugieren que estos valores podrían proporcionar estimaciones iniciales de los límites de escorrentía que se pueden usar para predecir inundaciones después de incendios forestales en terrenos montañosos.

Algunos autores han analizado el impacto del fuego en la capacidad de infiltración. Moody et al. (2009) realizaron mediciones de infiltración, utilizando el

infiltrómetro de doble anillo, de un suelo afectado por incendios, modelándolo como un sistema de dos capas, y reportando valores para los parámetros del modelo de Phillip. Robichaud (2000) analiza el efecto del fuego en las tasas de infiltración de cuencas boscosas en las Montañas Rocosas, observando reducciones de entre el 10 y el 40 %. Kinner y Moody (2010) realizaron experimentos utilizando un simulador de lluvia, analizando la variabilidad espacial de la capacidad de infiltración en un sistema de suelo de dos capas, sobre laderas incendiadas. Doerr et al. (2006) concluyen, a partir de la observación in situ y en laboratorio, que la clasificación corriente de severidad de incendios no es adecuada para predecir el impacto hidrológico del fuego. Los autores remarcan que los impactos hidrológicos asociados a los efectos de fuego son más complejos que, simplemente, el incremento de la escorrentía y la erosión del suelo a medida que aumenta la gravedad del fuego. Para incendios forestales lo suficientemente severos sobre suelo ya hidrófobo, un incendio más severo, en la cual se destruya la repelencia de la superficie del suelo, resultaría en una menor respuesta del escurrimiento en comparación con un incendio menos severo. Sin embargo, durante las tormentas lo suficientemente intensas como para saturar rápidamente la superficie humectable, esta capa puede eliminarse mediante el flujo subsuperficial y la infiltración, con implicaciones potencialmente graves para la fertilidad del suelo, la recuperación del ecosistema después del incendio y la sedimentación y la calidad del agua río abajo. Lane et al. (2006) analizaron el impacto de un gran incendio forestal en Australia que quemó dos cuencas experimentales y una cuenca instrumentada, reportando incrementos del escurrimiento entre el 40 % y el 94 %, e incrementos en la producción de sedimentos en factores de 8 ó 9. Llovet (2005) hizo un seguimiento de la dinámica de la infiltración y de las producciones de escorrentía superficial y sedimentos, así como de parámetros asociados, en zonas afectadas por el fuego de la región mediterránea española. Reconoció sistemas vulnerables, tendientes a manifestar procesos de degradación posteriores a un incendio forestal y los factores críticos que los determinan. Para ello utilizó un simulador de lluvia portátil en cuatro experimentos, considerando diversas hipótesis sobre la dinámica de los procesos involucrados.

Más recientemente, se ha puesto atención en el rol

que juega la capa de cenizas producida por el incendio forestal en la alteración de la respuesta hidrológica de las cuencas quemadas. Esta es un área en plena investigación con diversos grupos a nivel mundial trabajando en el tema. Nuevamente, se destaca el carácter local de los fenómenos observados. Balfour et al. (2014), en base a la observación de dos cuencas que sufrieron incendios de alta severidad en Montana, indican que la formación de costras superficiales debidas a la presencia de las cenizas tuvo una importancia fundamental en la alteración de la respuesta hidrológica de esas cuencas a corto plazo. Bodí et al. (2014) profundizan en la relación entre la composición química de la ceniza y sus efectos, entre otros sobre el ciclo hidrológico. En esta revisión del conocimiento que presentan, destacan la importancia que tiene la incorporación de parte de la ceniza en la capa superior de matriz de suelo, generando un sistema de dos capas. Concluyen que este sistema funciona de diferentes maneras en función de: la profundidad de la capa de cenizas y su tipo, en tipo de suelo, y las características de la precipitación. Jordán et al. (2016) focalizan en la importancia que tiene la humectabilidad de la capa de cenizas en las tasas de escurrimiento y erosiones post-fuego. Realizaron sus experimentos en la región del matorral mediterráneo en Sevilla (España). Observan que el desprendimiento de partículas de ceniza (asociado a la energía cinética de impacto de la gota) es más acentuado en cenizas hidrófobas, y que en este caso la tasa de escurrimiento post-fuego está en relación inversa con la profundidad de la capa de cenizas. Stoof et al. (2016) presentan resultados experimentales que contradicen la hipótesis habitualmente asumida de que las cenizas provocan una reducción en la capacidad de infiltración debido a su infiltración y posterior sellado de la capa superior del suelo. Si bien sus experimentos fueron realizados sobre arenas puras, son de atención las hipótesis alternativas que plantean estos autores, lo que muestra el límite actual del conocimiento en el tema.

A diferencia de otros lugares del mundo azotados por esta misma problemática, entre los que se pueden citar California, España, Portugal, Australia, etc., a nivel local no se han reportado mediciones sistemáticas del impacto hidrológico de los incendios forestales.

Resulta de interés cuantificar cómo se altera el proceso de infiltración en suelos de Córdoba ante la

ocurrencia del fuego, tanto en cuanto a la información experimental hasta ahora inexistente, como en relación a la modelación del mencionado proceso; y cómo esta alteración se manifiesta en un cambio en los parámetros de modelos hidrológicos de infiltración, en particular el ampliamente difundido e implementado modelo de Green y Ampt.

En relación a esto último, resulta necesario además cuantificar la fracción de lluvia detenida por la vegetación, es decir, la interceptación vegetal. No se conocen a la fecha resultados experimentales vinculados a este proceso hidrológico, para las especies típicas de la región serrana de la provincia de Córdoba. Por tanto, también es de interés cuantificar este proceso hidrológico poco conocido a nivel local.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es describir en qué medida el fuego puede afectar los parámetros del modelo de Green y Ampt en cuencas de la zona serrana de la provincia de Córdoba (Argentina). Como objetivos particulares, se pueden citar:

- Desarrollar e implementar una metodología para la medición experimental del impacto hidrológico de los incendios en suelos de Córdoba.
- Caracterizar experimentalmente el impacto hidrológico de los incendios en suelos de Córdoba, a través del uso de un microsimulador de lluvia.
- Describir el posible impacto del fuego sobre los parámetros del modelo hidrológico de infiltración de Green y Ampt en suelos de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La medición de la capacidad de infiltración se determinó en forma indirecta a partir de la medición del escurrimiento superficial producto de una lluvia simulada de intensidad conocida. Para esto último se utilizó un simulador de lluvia portátil, denominado como Tipo B, que surgió de una modificación del simulador de lluvia original, también desarrollado en este Laboratorio (denominado Tipo A), con el que se realizó una amplia campaña de medición de la capacidad de

infiltración de los suelos de Córdoba (Weber et al., 2011).

Cabe destacar que el simulador Tipo B ha sido exitosamente utilizado en laboratorio (Weber y Reyna, 2016), pero limitaciones operativas llevaron a evaluar su aplicación a campo, como aquí se describe.

Las partes que componen el simulador de lluvia (tipo B) (Figura 3) son:

- La estructura: construida con perfiles para estantería, formando un prisma de 2.0 m de alto y 0.5 m de lado.
- El sistema de alimentación: está conformado por dos tanques, una bomba y un filtro de agua.
- El sistema de lluvia: consta de una red realizada con conectores tipo "T", unidos por trozos de manguera. Los formadores de gotas son agujas hipodérmicas que se introducen en los conectores. La malla formadora de gotas puede colocarse a diferentes alturas, permitiendo variar la carga, obteniendo diferentes intensidades de lluvia simulada.
- El sistema de puesta en régimen: conformado por una bandeja interceptora que se coloca entre el sistema de lluvia y la muestra de suelo. Evitando que se altere el contenido de humedad durante la puesta en régimen.
- El sistema de medición de intensidad: se utiliza la bandeja interceptora. La misma posee una descarga que escurre a un vaso graduado.
- El sistema de recolección del escurrimiento superficial: sobre el lado excavado de la parcela de suelo se coloca una bandeja de descarga, la misma direcciona el agua hacia el instrumento para medir el escurrimiento superficial.

Las ventajas del ensayo en campo frente al ensayo en Laboratorio explorado anteriormente (Weber y Reyna, 2017) se pueden resumir en:

- Requiere muy poco esfuerzo físico.
- La cubierta vegetal del área seleccionada no se verá modificada por la falta de luz solar.
- Produce muy poca alteración en el suelo ensayado
- La preparación de la parcela para el ensayo se hace de manera rápida
- La cantidad de herramientas y elementos para el ensayo es menor que la utilizada en Laboratorio.



Figura 3. Simulador de lluvia Tipo B instalado en campo.

Aun así, el trabajo en campo conlleva algunas desventajas, entre las que se pueden citar:

- Las condiciones climáticas limitan la cantidad de días con la posibilidad de realizar ensayos.
- Se deben tomar las correspondientes precauciones para evitar la influencia del viento sobre el experimento (Figura 7).
- Hay un tiempo adicional en el traslado de herramientas y equipo hacia la zona.
- No es posible pesar el suelo ensayado (para realizar un balance de masas) ni obtener datos de percolación del mismo.
- Los servicios pueden no estar al alcance.

Arreglo experimental

El arreglo experimental (Figura 4) consta de un simulador de lluvia de baja presión (A) -cuyos formadores de gotas son agujas hipodérmicas-, alimentado por un banco de bombeo (I), que descarga su precipitación simulada sobre una parcela de 50 cm x 50 cm, la cual está confinada lateralmente para asegurar la unidimensionalidad del flujo.

El escurrimiento superficial generado se conduce a

una canaleta colectora que descarga en un recipiente montado sobre una balanza electrónica que permite registrar la masa de agua acumulada a un intervalo de tiempo prefijado. Previo al inicio del ensayo se mide la intensidad de la lluvia recolectando la precipitación en una bandeja colectora (D) en forma volumétrica. Despreciando otros fenómenos, la infiltración acumulada se obtiene como diferencia entre la precipitación, la interceptación vegetal y el escurrimiento acumulados.

El equipamiento de medición utilizado incluye: una balanza electrónica (de 6 kg x 1 g de resolución), con puerto de comunicaciones USB, para el registro del escurrimiento superficial; un sensor de humedad volumétrica de suelo, electrónico de tipo resistivo, también con comunicación USB; y un termómetro infrarrojo (pirómetro) para la medición de la temperatura de quema.

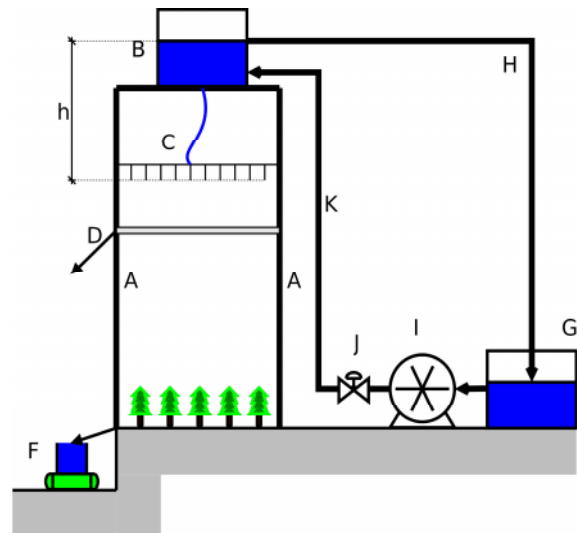


Figura 4. Arreglo experimental.

Para la cuantificación del impacto del fuego, se realizaron dos ensayos, denominados pre-incendio y post-incendio, sobre la misma parcela, bajo intensidades de lluvia similares, registrando la variación en el escurrimiento observado.

Instalación, puesta a punto y uso del equipo en campaña

A tal fin, se desarrollan los siguientes pasos:

Excavación del pozo de medición e hincado de chapas laterales

La parcela de ensayo se materializa con el hincado de

chapas de confinamiento las que se hincan en el suelo en forma vertical, alrededor de 10 cm de profundidad (Figura 5). Asimismo, en el lado libre se ubica la bandeja colectora del escurrimiento. Las juntas con las chapas se toman con suelo cemento y la junta con la bandeja colectora se toma con sellador siliconado, asegurándose que no se produzcan sobreelevaciones que entorpezcan el flujo hacia la bandeja. Sobre uno de los lados de la parcela es necesario realizar una excavación de aproximadamente 70 cm x 70 cm de 50 cm de profundidad para instalar la balanza que registrará el escurrimiento superficial y también para instalar el sensor de humedad, que se introducirá horizontalmente hasta el centro de la parcela. La cara expuesta del suelo a ensayar se cubre de un baño de parafina para su impermeabilización (Figura 6).



Figura 5. Excavación del pozo de medición e hincado de chapas laterales.



Figura 6. Instrumentación del ensayo y parafinado de la cara libre.

Instalación del simulador de lluvia y cierre con cortina cortavientos

A diferencia de los ensayos en Laboratorio, en los ensayos en campo, se debe tener en cuenta la acción perjudicial del viento (Figura 7). Para contrarrestarla, se

le adicionó al simulador una mampara cortaviento consistente en una cortina plástica.

Puesta en régimen del simulador de lluvia

Se coloca la bandeja interceptora (D) (Figura 4), que evitará que precipite sobre la parcela mientras el simulador de lluvia se pone en régimen, y además se utilizará para la medición de la intensidad de la lluvia generada. Se llena el tanque inferior (G), se pone en funcionamiento la bomba (I) y gradualmente se abre la válvula (J) lo cual permitirá que el nivel del agua suba en el tanque superior (B) y comience la alimentación a la parrilla de formadores de gotas (C), los cuales comenzarán a precipitar sobre la bandeja interceptora (D). Al alcanzar el agua en el tanque (B) el nivel del desborde (H), se establece el retorno, y se fija la posición de la válvula (J), logrando en el sistema el estado estacionario.



Figura 7. Simulador de lluvia con cortina cortavientos instalada.

Medición de la intensidad de lluvia generada

Una vez alcanzado el régimen, se mide en forma volumétrica el caudal escurrido por la bandeja interceptora (D); a partir del área de la misma, se establece la intensidad de la precipitación generada. Esto mismo se realiza al finalizar el ensayo, para verificar que esta intensidad se ha mantenido constante en el tiempo.

Realización del ensayo

Se extrae la bandeja interceptora (D) y al mismo tiempo se inicia la medición con la balanza electrónica, registrando la masa de agua escurrida superficialmente. Simultáneamente también se inicia el registro del sensor de humedad de suelo. El ensayo finaliza cuando se ha alcanzado una tasa de escurrimiento relativamente constante, lo que para los tipos de suelos loésicos ensayados se alcanza entre los 60 y 90 minutos. Para finalizar, se instala nuevamente la bandeja interceptora (D) y se paran los instrumentos de registro.

Desmontaje de la estructura

Se desmonta la estructura del simulador de lluvia y se retiran los instrumentos de medición, dejando instaladas las chapas de confinamiento y preservando la parcela para el ensayo post-incendio.

Ensayo post-incendio

Luego de algunos días, los necesarios para alcanzar un estado de humedad inicial equivalente al del ensayo preincendio, se aplica una quema controlada mediante un lanzallamas (Figura 8), se deja enfriar la superficie de la parcela, se montan nuevamente la estructura del simulador y los instrumentos de medición, y se repite el proceso antes indicado.

Intercepción vegetal

La capacidad de intercepción vegetal fue cuantificada mediante el método de humectación artificial. En este método el espécimen a ensayar se pesa, y manteniéndolo sobre la balanza se humecta mediante un rociador, agregando agua hasta alcanzar el peso máximo posible. La diferencia de peso representa la capacidad de intercepción de ese espécimen, en g.

Para cada espécimen en estudio, se capturaron fotografías cenitales con dimensiones de referencia. Luego, mediante un programa de procesamiento digital de imágenes, se rectificó y escaló la imagen y se detectó la máscara correspondiente al área foliar (Figura 9) la que fue medida en función de la escala del píxel. Finalmente, el volumen de agua retenido por el follaje dividido el área foliar da como resultado la capacidad de intercepción como lámina (en mm).

El procedimiento se aplicó reiteradas veces a cada espécimen, para garantizar la repetibilidad de los resultados, previo secado del follaje.



Figura 8. Parcela quemada.

Caracterización edafológica

Se determinó el contenido de humedad gravimétrico por extracción de muestras in situ y secado en estufa. Se extrajeron muestras representativas para la determinación de: granulometría (por cribado e hidrometría), peso unitario, y ajuste de parámetros del sensor de humedad.



Figura 9. Procesamiento digital de imágenes para la determinación del área foliar.

Caracterización experimental de la hidrofobicidad

Para la caracterización de la hidrofobicidad, se utilizó el método del tiempo de penetración de una gota de agua (Carter y Gregorich, 2008). Este método, de tipo cualitativo, como su nombre lo indica, consiste en medir el tiempo (WPDT) que tarda una gota en infiltrarse sobre la superficie del suelo.

MODELO HIDROLÓGICO

Green y Ampt, en 1911, propusieron un modelo simplificado para explicar la infiltración, factible de presentar una solución analítica, basado en la suposición de la existencia de un frente abrupto (frente húmedo) entre la columna saturada y la no saturada del suelo (Ravi y Williams, 1998). Las hipótesis fundamentales del modelo son las siguientes (Tucci, 1993):

- El suelo está totalmente saturado desde la superficie hasta el frente húmedo; por debajo, el suelo continúa en las condiciones previas a la precipitación. A medida que el frente húmedo avanza en profundidad, estas condiciones permanecen válidas
- En la superficie del frente húmedo (que separa el suelo saturado del no saturado) la tensión capilar es siempre la misma, independiente de la posición y del tiempo.

Aplicando las leyes de conservación de masa y de cantidad de movimiento, y combinándolas, se llega a la expresión para la infiltración acumulada:

$$F(t) - \ln \left[1 + \frac{F(t)}{K} \right] = Kt \quad (1)$$

donde K es la conductividad hidráulica (permeabilidad vertical) del suelo, $F(t)$ es la altura o potencial de succión mátrica o capilar del suelo, $f(t)$ es la variación máxima en el contenido de humedad del suelo (diferencia entre la porosidad y el contenido de humedad inicial). Por diferenciación, se obtiene la expresión para la tasa de infiltración:

$$f(t) = K \left[\frac{1}{F(t)} + 1 \right] \quad (2)$$

Tanto la expresión (1) como la (2) representan formulaciones implícitas para las incógnitas F y f , por lo que deben ser resueltas iterativamente.

El modelo de Green y Ampt ha sido ampliamente implementado en diversos modelos hidrológicos computacionales, tanto agregados -entre ellos HEC-HMS, EPA-SWMM- como distribuidos, entre ellos T-REX (Velleux et al., 2008). Es uno de los pocos modelos de infiltración cuyos parámetros tienen una correspondencia directa con las propiedades físicas del suelo y, en teoría, podrían ser determinados directamente en laboratorio. Sin embargo, es habitual que los parámetros se ajusten también sobre mediciones de campo de infiltración tanto puntuales (como la que se describen en este trabajo) como a nivel de cuenca (obteniéndose en este caso valores medios areales de dichos parámetros).

En la Tabla 1 se presentan valores de referencia de los parámetros del modelo de Green y Ampt (adaptada de Chow et al., 1994) para algunos tipos de suelo, en donde los valores entre paréntesis corresponden al intervalo centrado en la media (valor indicado) y con radio igual a un desvío estándar.

Tabla 1. Parámetros del modelo de Green y Ampt (adaptada de Chow et al., 1994).

Tipo de suelo	(adim.)	K (cm/h)	(cm)
Arena	0.437 (0.374-0.500)	11.78	4.95 (0.97-25.36)
Marga	0.463 (0.375-0.551)	0.34	8.89 (1.33-59.38)
Arcilla limosa	0.479 (0.425-0.533)	0.05	29.22 (6.13-139.4)
Arcilla	0.475 (0.427-0.523)	0.03	31.63 (6.39-156.5)

Green y Ampt (1911) derivaron la primera ecuación de base física que describe la infiltración de agua en un suelo. El modelo de Green y Ampt ha sido objeto de considerables desarrollos en física e hidrología del suelo aplicada debido a su simplicidad y rendimiento satisfactorio para una gran variedad de problemas hidrológicos. Para muchos problemas hidrológicos, el uso de enfoques más sofisticados (por ejemplo, los modelos basados en la ecuación de Richards no lineal) es impracticable e ineficiente debido a que se requiere más información sobre los parámetros hidráulicos del suelo (por ejemplo, retención de agua y funciones de conductividad

hidráulica). En estos métodos, generalmente se evalúa todo el perfil de humedad-presión del suelo, aunque la principal cantidad de interés es el flujo en uno o ambos de los límites. Por lo tanto, no es sorprendente que la ecuación de Green y Ampt haya sido el modelo de elección de la estimación de la infiltración en muchos modelos hidrológicos de base física. Además, el Servicio de Investigación Agrícola (ARS, por sus siglas en inglés) del USDA ha realizado un trabajo extensivo para desarrollar relaciones empíricas para obtener los parámetros del modelo de Green y Ampt (Brakensiek y Onstad, 1977, Rawls et al., 1982, Springer y Cundy, 1987), proporcionando así un ímpetu adicional para su inclusión en muchos modelos de cuencas hidrográficas (Ravi y Williams, 1998).

Green y Ampt asumieron un perfil de contenido de agua tipo pistón (Figura 10) con un frente húmedo bien definido. El perfil de tipo pistón supone que el suelo está saturado con un contenido de agua volumétrico θ_s (excepto por aire atrapado) hasta el frente húmedo. En el frente húmedo, el contenido de agua cae abruptamente a un valor antecedente de θ_0 , que es el contenido inicial de agua. La presión del agua en el frente húmedo se supone que es h_0 (negativo). Se supone que la presión del suelo en la superficie, h_s , es igual a la profundidad de encharcamiento.

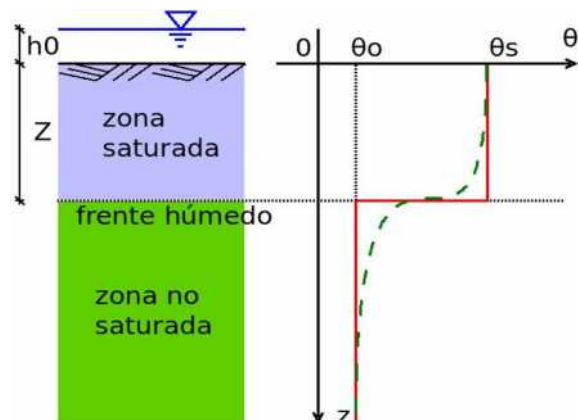


Figura 10. Esquema conceptual del modelo de Green y Ampt.

DESARROLLO

Se decidió trabajar en la zona ubicada al norte del ejido urbano de la ciudad de Alta Gracia, en la urbanización Villa Juana que a la fecha está aún en sus primeras etapas de obra y por lo tanto presenta la ventaja de

mostrar las condiciones típicas de los campos ubicados al piedemonte de la vertiente oriental de las Sierras Chicas de Córdoba (Figuras 11 y 12).

Características generales de los ensayos

Se realizaron cinco ensayos dobles (pre y post-incendio), a distancias comprendidas entre 1.5 y 4.0 m, denominados ensayos 1 a 5, en un sector con una cobertura vegetal relativamente sana, y con servicios al alcance. Los ensayos se realizaron entre finales del año 2016 y mediados del año 2017.



Figura 11. Sitio de ensayo.



Figura 12. Ubicación del sitio de ensayo.

En cada sitio se realizaron los dos ensayos: preincendio y post-incendio, con el simulador de lluvia; se extrajeron tres muestras de suelo para la determinación del contenido de humedad inicial w por el método de secado en estufa; y se realizó un ensayo de hidrofobicidad, bajo las mismas temperaturas de incendio que en el ensayo post-incendio. También se determinó la intensidad i de

lluvia generada. En todos los casos se utilizaron en los formadores de gotas, agujas hipodérmicas de diámetro 0.8 mm. La Tabla 2 presenta algunas características generales de los ensayos realizados.

De acuerdo a la metodología indicada anteriormente, en los ensayos post-incendio se provocaron fuegos cuyas temperaturas medias sobre la superficie del suelo oscilaron entre 731 °C y 816 °C, con dispersiones relativamente bajas (desvíos estándar de hasta 15 °C). La Tabla 3 resume la información indicada según cada punto de ensayo.

La información adquirida en forma digital consistió en los registros de masa en la balanza electrónica (medición del escurrimiento superficial) y de la diferencia de potencial registrada por el sensor de humedad del suelo.

Tabla 2. Características generales de los ensayos.

Sitio	Ensayo	carga (cm)	i (mm/h)	Duración (hh:mm)	w (%)	Prof. sensor hum. (cm)
1	Pre-incendio	72	115	01:13	—	18
	Post-incendio	72	111.1	01:13	13.94	18
2	Pre-incendio	67	74.7	01:02	17.76	18
	Post-incendio	67	73.3	01:03	17.48	18
3	Pre-incendio	72	93.2	01:03	16.55	18
	Post-incendio	72	91.9	01:04	19.31	18
4	Pre-incendio	60	61.7	02:00	16.51	23
	Post-incendio	60	62.9	02:55	13.94	23
5	Pre-incendio	70	83.7	00:54	17.22	15
	Post-incendio	70	83.9	00:56	16.63	15

Mediciones en suelos

Se realizó una caracterización granulométrica de una muestra de suelo de 1000 g del sector de ensayos, tanto por análisis mecánico (tamizado) como hidrométrico, obteniéndose la curva de la Figura 13. Puede apreciarse que el d_{50} de la muestra es aproximadamente 0.3 mm, correspondiente a las arenas finas. A partir de cuatro muestras indisturbadas de masas comprendidas entre 461 g y

1095 g, se determinó el peso unitario, el que arrojó valor de $1.50 \text{ kg/dm}^3 \pm 0.05 \text{ kg/dm}^3$ para un contenido de humedad (gravimétrica) de 8.1 %.

Tabla 3 Temperaturas medias, y su dispersión, en las quemas controladas.

Sitio	T (°C)	(T) (°C)
1	740	15.2
2	767	10.0
3	816	12.2
4	731	14.1
5	753	12.0

Se encontró que las muestras consideradas arrojaron una proporción de 83.9 % de arenas, seguido de un 13.5 % de limos y sólo un 2.6 % de arcilla, correspondiendo entonces una clasificación textural como franco-arenoso.

Se determinó la curva de calibración del sensor de humedad a partir de los registros iniciales de este sensor instalado en campo y las humedades determinadas en base a las muestras extraídas al inicio del ensayo.

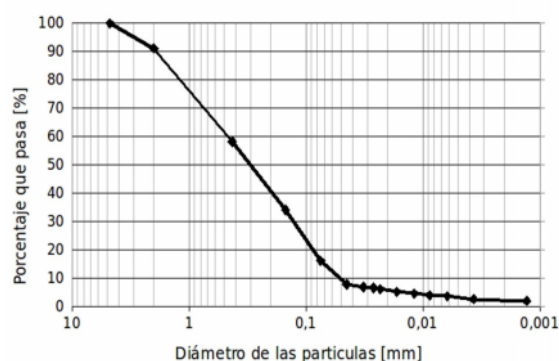


Figura 13. Curva granulométrica del suelo del sitio de ensayo.

Hidrofobicidad

Se realizaron además dos ensayos de hidrofobicidad (con fechas 10/5/17 y 24/5/17). Se procedió a cortar con tijera la vegetación y limpiar suavemente la superficie con un pincel, aplicando 16 gotas al área a quemar; las gotas infiltraron en un lapso de 1 a 2 segundos. Luego, se quemó la superficie a temperaturas de 810 °C y 730 °C respectivamente, esperando el posterior enfriado del suelo, para aplicar un número equivalente de gotas en la superficie quemada; obteniéndose tiempos de penetración de la gota de agua (WPDT)

comprendidos entre 10 y 22 minutos, para las gotas más alejadas y más cercanas al punto de aplicación de la llama. En base a esto (Carter y Gregorich, 2008), se clasifica al suelo como *severamente hidrofóbico*.

Estimación de la intercepción vegetal

Para la estimación de la intercepción vegetal, se siguió el procedimiento descripto anteriormente. Para ello, se identificaron las especies presentes en las cinco parcelas de ensayo, según se indica en la Tabla 4. De cada especie, se extrajeron tres especímenes de talla similar a los presentes en las parcelas de ensayo. Se llevaron al Laboratorio y se implementó el método de humectación artificial previamente descripto, mediante cinco repeticiones en cada espécimen: pesado previo, rociado hasta la saturación, pesado posterior, secado del follaje. Esto dio lugar a cinco observaciones de la masa retenida (en g) por cada espécimen.

Tabla 4. Especies identificadas en las parcelas de ensayo y su capacidad de intercepción.

Identificador	Nombre Vulgar	Nombre científico	C (mm)
A	Cardo	<i>Carduus pycnocephalus</i>	0.139
B	Diente de León	<i>Taraxacum officinale</i>	0.206
C	Sunchillo	<i>Wedelia Glauca</i>	0.228
D	Pata de Perdiz	<i>Cynodon dactylon</i>	0.366
E	Pasto horqueta	<i>Paspalum notatum Flüggé</i>	0.349

Para cada espécimen se determinó el área foliar por el procedimiento de edición digital de imágenes descripto. Se obtuvieron fotografías cenitales de cada espécimen, con un fondo que realizara el contraste y permitiera escalar la imagen; ésta se rectificó y se procesó para obtener el área foliar. A partir de la masa en g (o el volumen en cm³) de agua retenida y del área foliar, se obtuvo la lámina interceptada (en mm) por cada observación, por cada espécimen y por cada especie. En la Tabla 4 se presentan las capacidades de intercepción vegetal de las especies identificadas.

Luego, a partir de la interpretación de fotografías cenitales tomadas en cada parcela de ensayo, se determinó el área de cobertura de cada una de las especies descriptas en la Tabla 4, y ponderando las capacidades de intercepción presentadas en la misma

Tabla, se determinó la capacidad de intercepción C para cada sitio (en condiciones preincendio). En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos.

Ajuste del modelo hidrológico

En base a la información recopilada en campaña, se realizó el ajuste de los parámetros del modelo de Green y Ampt, buscando la minimización de la función objetivo F.O. representada por la suma de las desviaciones cuadráticas entre los n valores de infiltración acumulada observados (F_i) y calculados (F_i^c), para cada sitio de ensayo y cada condición inicial de humedad:

$$F.O. = \sum_{i=1}^n (F_i - F_i^c)^2 \quad (3)$$

Tabla 5. Capacidad de intercepción vegetal C de los ensayos pre-incendio.

Sitio	C (mm)
1	0.331
2	0.309
3	0.350
4	0.063
5	0.351

El proceso se automatizó mediante un código especialmente desarrollado en GNU Octave (Eaton et al., 2007) que permitió ajustar los parámetros óptimos del modelo de Green y Ampt a través del algoritmo de optimización multidimensional no restringida de Nelder-Mead.

El método de Nelder-Mead (Mathews y Fink, 2004) es un algoritmo de optimización ampliamente utilizado. Es debido a Nelder y Mead (1965) y es un método numérico para minimizar una función objetivo en un espacio multidimensional. El método utiliza el concepto de un simplex, que es un politopo de N + 1 vértices en N dimensiones: un segmento de línea en una línea, un triángulo en un plano, un tetraedro en un espacio tridimensional y así sucesivamente. El método busca de modo aproximado una solución óptima local a un problema con N variables cuando la función a minimizar varía suavemente.

Cabe destacar que para este procedimiento se asumió la hipótesis simplificada que el suelo sigue siendo homogéneo luego del incendio; esto es una

simplificación, ya que en realidad existe evidencia que las propiedades hidrológicas luego del fuego se ven severamente alteradas en la capa superficial, reduciéndose el efecto del fuego en la profundidad; esto implicaría la definición de un modelo de dos capas, lo cual por un lado incrementaría su complejidad y su parametrización, y por el otro reduciría el uso práctico de los parámetros ajustados en virtud de la limitada implementación de los modelos de infiltración de dos capas en las herramientas computacionales de uso común en análisis hidrológico. Por ello, en esta primera aproximación al problema, se optó por asumir la homogeneidad del suelo en la condición post-incendio a los fines de la determinación de los parámetros de los modelos hidrológicos de uso común.

Además, corresponde indicar que los procedimientos de ajuste descritos debieron ser modificados incluyendo una componente aleatoria (Monte Carlo) a los fines de evitar que la función objetivo quedara atrapada en mínimos locales. Esto permitió obtener parámetros físicamente significativos y numéricamente consistentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información recolectada por los sensores (balanza electrónica y sensor de humedad) fue procesada para su posterior uso. Los registros de masa adquiridos por la balanza electrónica fueron concatenados (para obtener la masa acumulada), eliminando valores erróneos; luego, a partir de las intensidades indicadas en la Tabla 2 y las capacidades de intercepción vegetal de la Tabla 5 (sólo para los ensayos pre-incendio) se determinó la infiltración acumulada $F(t)$, la que se grafica en las Figuras 14 a 18 para cada sitio, comparando los resultados de los ensayos pre y post-incendio.

En los sitios ensayados, se ha observado una reducción máxima de la capacidad de infiltración promedio del 32 % (con valores comprendidos entre 12 % y 51 %) lo que se corresponde con lo reportado en la bibliografía en diversos sitios del mundo (Neary et al., 2005).

La capacidad de intercepción vegetal estimada arrojó un valor promedio de 0.28 mm, pequeño en relación a las láminas precipitada e infiltrada, pero que juega un papel importante en el retardo del inicio del escurrimiento observado.

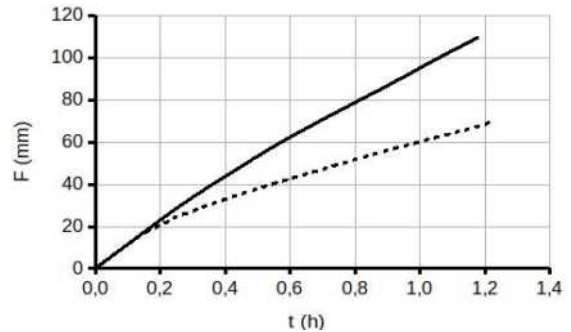


Figura 14. Curvas de infiltración acumulada en los ensayos pre-incendio (línea continua) y post-incendio (línea de trazos) – Sitio 1.

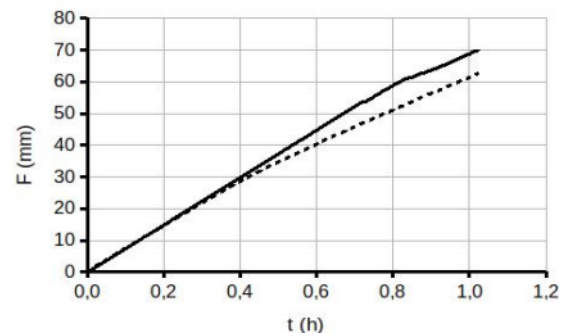


Figura 15. Curvas de infiltración acumulada en los ensayos pre-incendio (línea continua) y post-incendio (línea de trazos) – Sitio 2.

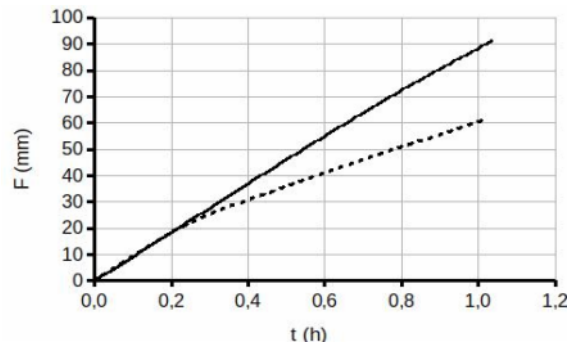


Figura 16. Curvas de infiltración acumulada en los ensayos pre-incendio (línea continua) y post-incendio (línea de trazos) – Sitio 3.

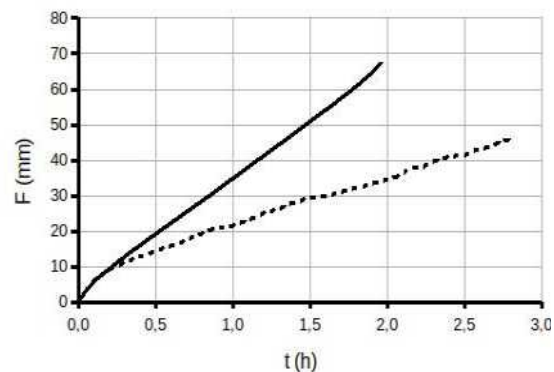


Figura 17. Curvas de infiltración acumulada en los ensayos pre-incendio (línea continua) y post-incendio (línea de trazos) – Sitio 4.

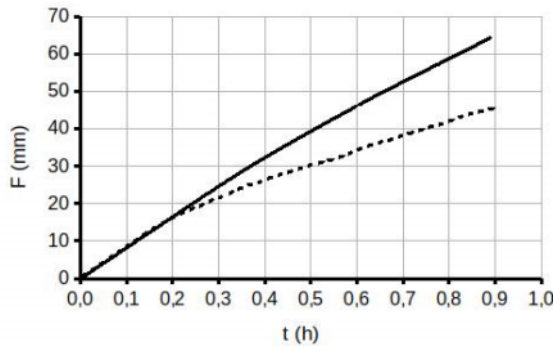


Figura 18. Curvas de infiltración acumulada en los ensayos pre-incendio (línea continua) y post-incendio (línea de trazos) – Sitio 5.

El incremento máximo observado por el sensor de humedad pasó de un valor medio de 2.2 % (pre-incendio) al 0.7 % (post-incendio), evidenciando el menor ingreso de agua al suelo por pérdida de la capacidad de infiltración.

Se calibraron los parámetros del modelo de Green y Ampt a los 10 ensayos, según la metodología descrita. En la Tabla 6 se presentan los parámetros así ajustados, junto con el coeficiente de determinación, como una medida de la bondad del ajuste. En las Figura 19 a 21 se realiza una comparación gráfica de dichos parámetros, bajo condiciones pre y post-incendio.

Tabla 6. Parámetros calibrados del modelo de Green y Ampt para los ensayos pre-incendio y post-incendio, junto con el coeficiente de determinación del ajuste.

sitio	ensayo	K (mm/h)		(mm)	R ²
1	pre-incendio	83.45	0.191	19.56	0.9983
	post-incendio	33.22	0.191	98.91	0.9972
2	pre-incendio	68.91	0.134	4.07	0.9973
	post-incendio	56.02	0.138	13.41	0.9975
3	pre-incendio	88.43	0.152	1.21	0.9995
	post-incendio	44.01	0.111	70.51	0.9966
4	pre-incendio	30.90	0.153	7.82	0.9996
	post-incendio	9.15	0.191	68.01	0.9981
5	pre-incendio	68.81	0.142	7.35	0.9979
	post-incendio	33.45	0.151	58.68	0.9954

Los parámetros del modelo de Green y Ampt han sufrido alteraciones diferenciadas por causa del fuego (Figuras 19 a 21). La conductividad hidráulica K ha sufrido reducciones, variables entre un 19 % y un 70 % (con una media del 50 %); el déficit inicial de humedad no presenta un comportamiento definido con la acción del fuego, mientras que la carga de succión sufre incrementos notables, de hasta 58 veces su valor; esto se explica por un incremento de las acciones capilares, en la estructura del suelo quemado.

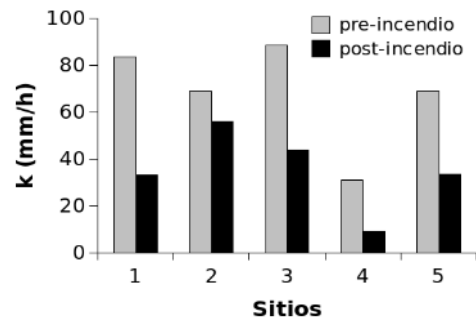


Figura 19. Alteración del parámetro K del modelo de Green y Ampt, a causa del fuego.

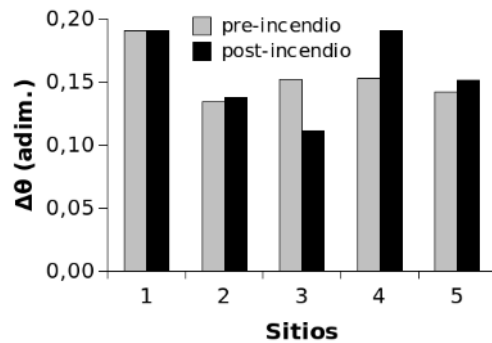


Figura 20. Alteración del parámetro del modelo de Green y Ampt, a causa del fuego.

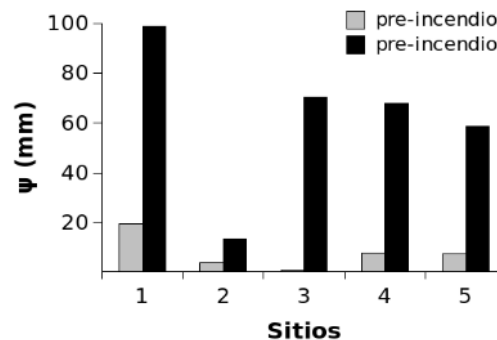


Figura 21. Alteración del parámetro del modelo de Green y Ampt, a causa del fuego.

CONCLUSIONES

Ha sido posible llevar a cabo una campaña sistemática de medición de la capacidad de infiltración en suelos de Córdoba (Argentina) bajo condiciones pre y post-incendio. El simulador de lluvia nuevamente se muestra como una herramienta poderosa para la caracterización experimental de procesos hidrológicos. La instrumentación digital ha posibilitado la adquisición de un volumen y calidad de información sin precedentes en la región; la incorporación del sensor de humedad posibilitará en un futuro el análisis no sólo de la capacidad de infiltración, sino también del flujo en el medio poroso no saturado subyacente.

Las temperaturas alcanzadas en el fuego prescripto caen dentro del rango de temperaturas estimadas en incendios forestales típicos (Dennison et al., 2006). Los tiempos de acción del fuego son compatibles con las velocidades de propagación obtenidas por simulación numérica en trabajos previos en la región (Weber et al., 2013).

Se ha confirmado la alteración de la capacidad de infiltración de los suelos del piedemonte de las sierras de Córdoba, con reducciones significativas que alientan a investigar la variabilidad espacial de la respuesta detectada, a través de futuras campañas de medición en otros ambientes de la provincia.

Si bien la información recopilada puede estar limitada por las hipótesis simplificadoras asumidas en el diseño del experimento, se considera que los resultados obtenidos (tanto los resultados experimentales directos, como la alteración de los parámetros del modelo de infiltración de Green y Ampt) permitirán realizar evaluaciones cuantitativas del impacto que los recurrentes incendios forestales que azotan la provincia de Córdoba (Argentina) tienen sobre las crecidas repentinas que ocurren al iniciarse la temporada de lluvias en la región, y que trae diversas consecuencias negativas. Varios aspectos asociados a la acción de los incendios forestales, como el incremento de caudales pico de inundación, el incremento de la dificultad de potabilización del agua, la disminución de la calidad del agua en los embalses, etc., podrían contar con argumentos y justificaciones cuantitativas a partir de los resultados de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los becarios de investigación, Gabriel Bogino Castillo y Alexis Padrón Gentile, a la urbanización Villa Juana a través de Nicolás Vargas, al biólogo José Toledo por la identificación de las especies presentes, y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina) por la financiación de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baker, M. B. Jr. (1990). Hydrologic and water quality effects of fire. Proceedings of a Symposium on Effects of Fire Management of Southwestern Natural Resources. Technical report, USDA Forest Service.
- Balfour, V. N., Doerr, S. H., y Robichaud, P. R. (2014). The temporal evolution of wildfire ash and implications for post-fire infiltration. *International Journal of Wildland Fire*, 23(5), 733–745.
- Bart, R. y Hope, A. (2010). Streamflow response to fire in large catchments of a mediterranean-climate region using paired-catchment experiments. *Journal of Hydrology*, 388, 370–378.
- Bodí, M. B., Martín, D. A., Balfour, V. N., Santín, C., Doerr, S. H., Pereira, P., Cerdà, A., y Mataix-Solera, J. (2014). Wildland fire ash: production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Science Reviews*, 130, 103–127.
- Brakensiek, D. y Onstad, C. (1977). Parameter estimation of the Green and Ampt infiltration equation. *Water Resources Research*, 13(6), 1009–1012.
- Candela, A., Aronica, G. y Santoro, M. (2005). Effects of forest fires on flood frequency curves in a mediterranean catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 50(2), 193–206.
- Carter, M. R. y Gregorich, E. G., eds. (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Boca Raton, EEUU. CRC Press Taylor & Francis Group, second edition.
- Chow, V. T., Maidment, R., y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia. Mc Graw-Hill.
- Consigli, R. E. (1999). El productor agropecuario y los incendios rurales. Sitio Argentino de Producción Animal. URL http://www.produccion-animal.com.ar/incendios_y_uso_del_fuego/14-productor_y_los_incendios_rurales.pdf.
- DeBano, L. F. , Folliott, P. F., y Baker, M. B. Jr.

- (1996). Fire severity effects on water resource. Technical report, USDA Forest Service. Mountain Research Station.
- Dennison, P. E., Charoensiri, K., Roberts, D. A., Peterson, S. H., y Green, R. O. (2006). Wildfire temperature and land cover modeling using hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, 100(2), 212-222.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A. (2006). Forest fire impacts on catchment hydrology: A critical review. *Forest Ecology and Management*, (234S):S161.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Blake, W. H., Chafer, C. J., Humphreys, G. S., y Wallbrink, P. J. (2006). Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology*, 319, 295-311.
- Eaton, J. W.; Bateman, D. y Hauberg, S. (2007). GNU Octave: a high-level interactive language for numerical computations. Disponible en www.octave.org.
- Green, W. H. y Ampt, G. (1911). Studies on soil physics. *The Journal of Agricultural Science*, 4(01), 1-24.
- Jordán, A., Zavala, L. M., Granged, A. J., Gordillo-Rivero, Á. J., García-Moreno, J., Pereira, P., Bárcenas-Moreno, G., de Celis, R., Jiménez-Compán, E., y Alanís, N. (2016). Wettability of ash conditions splash erosion and runoff rates in the post-fire. *Science of the Total Environment*, 572, 1261-1268.
- Kinner, D. A. y Moody, J. A. (2010). Spatial variability of steady-state infiltration into a two-layer soil system on burned hillslopes. *Journal of Hydrology*, 381, 322-332.
- Lane, P. N. J., Sheridan, G. J., y Noske, P. J. (2006). Changes in sediment loads and discharge from small mountain catchments following wildfire in south eastern Australia. *Journal of Hydrology*, 331, 495- 510.
- Llovet, J. (2005). Degradación del suelo posterior al fuego en condiciones mediterráneas. Identificación de factores de riesgo. PhD thesis, Universitat d'Alacant-Dept d'Ecologia.
- Loáiciga, H. A., Pedreros, D. y Roberts, D. (2001). Wildfire-streamflow interactions in a chaparral watershed. *Advances in Environmental Research*, 5, 295-305.
- López Alonso, R., Pérez Gispert, A., y Batalla, R. J. (2004). Efectos de un incendio forestal sobre la respuesta hidrológica de la cuenca mediterránea de Arbúcies (cordilleras costeras catalanas, NE España). *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12(2), 305-316.
- Martin, C. y Lavabre, J. (1997). Estimation de la part du ruissellement sur les versants dans les crues du ruisseau du Rimbaud (massif des Maures, Var, France) après l'incendie de forêt d'août 1990. *Hydrological Sciences Journal*, 42(6), 893-907.
- Mathews, J. H. y Fink, K. D. (2004). *Numerical Methods using Matlab*, 4th Ed., Pearson Prentice Hall.
- Mayor, A. G., Bautista, S., Llovet, J. y Bellot, J. (2007). Post-fire hydrological and erosional responses of a mediterranean landscape: Seven years of catchment-scale dynamics. *Catena*, 71, 68 - 75.
- Moody, J. A., Kinner, D. A. y Úbeda, X. (2009). Linking hydraulic properties of fire-affected soils to infiltration and water repellency. *Journal of Hydrology*, 379, 291-303.
- Moody, J. A., y Martin, D. A. (2001). Post-fire, rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA. *Hydrological Processes*, 15, 2981- 2993.
- Neary, D. G., Ryan, K. C. y DeBano, L. F. (2005). Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. Technical report, Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountains.
- Nelder, J. A. y Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. *The Computer Journal*, 7(4), 308-313.
- Ravi, V. y Williams, J. R. (1998). Estimation of infiltration rate in the vadose zone: compilation of simple mathematical models . Volume I. Technical Report No. EPA/600/R-97/128a . United States Environmental Protection Agency , National Risk Management Research Laboratory , Ada, OK 74820.
- Rawls, W., Brakensiek, D., y Saxton, K. (1982). Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*, 25(5), 1316-1320.
- Robichaud, P. R. (2000). Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA. *Journal of Hydrology*, (231-232), 220-229.
- Sempere, D., Urbano, A., Lavabre, J. y Dolz, J. (1994). Consecuencias hidrológicas de los incendios forestales. *Ingeniería del Agua*, 1(4), 33-48.
- Springer, E. P. y Cundy, T. W. (1987). Field-scale evaluation of infiltration parameters from soil texture for hydrologic analysis. *Water Resources Research*, 23(2), 325-334.
- Stoof, C. R., Gevaert, A. I., Baver, C., Hassanpour, B., Morales, V. L., Zhang, W., Martin, D., Giri, S. K., y Steenhuis, T. S. (2016). Can pore-clogging

- by ash explain post-fire runoff? *International Journal of Wildland Fire*, 25(3), 294–305.
- Tiedemann, A. R. (1978). Regional impact of fire. Proceedings of the conference “Fire and Ecosystems Properties”. Technical report, USDA Forest Service.
- Tucci, C. E. M. (Ed.). (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre. Editora da Universidade, UFRGS.
- Velleux M., England J., y Julien P. (2008). TRex: Spatially distributed model to assess watershed contaminant transport and fate. *Science of the Total Environment*, 404(1), 113–128,
- Weber, J. F., Apestequi, L., Baldazar, E. (2011). Medición de la capacidad de infiltración in situ de suelos de la ciudad de Córdoba mediante un microsimulador de lluvia portátil. XXIII Congreso Nacional del Agua - CONAGUA 2011, Resistencia, Argentina. pp. 235-254.
- Weber, J. F. y Reyna, S. M. (2016). Medición en laboratorio de la capacidad de infiltración en suelos mediante un simulador de lluvia. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú.
- Weber, J. F. y Reyna, S. M. (2017). Mediciones preliminares en laboratorio del impacto del fuego en la capacidad de infiltración. V Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica - MEH17. Buenos Aires, Argentina.
- Weber, J. F., Stehli, P. T. y Jorquera, E. (2013). Modelación matemática de los incendios en la zona serrana de la provincia de Córdoba. IV Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial - MACI 2013, Buenos Aires, Argentina.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

- Weber, J. F. y Reyna, S. M. (2019). Alteración de los parámetros del modelo de Green y Ampt ante la ocurrencia de incendios en suelos de Córdoba (Argentina). *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 1-17. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.112

Tipo de Publicación: ARTICULO.

Trabajo recibido el 27/11/2018 y aprobado para su publicación el 18/06/2019.

INTERACCIÓN AGUA-SEDIMENTOS-TRAZADOR FLUORESCENTE EN UN REACTOR. MEDICIÓN DE FLÓCULOS

Alex Wolfenson, Verónica Lanza, Lucas Palman, Matias Imhoff, Ana Alvarez y Alfredo Trento^(*)

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

^(*)e-mail: alfredotrento@gmail.com

RESUMEN

El objetivo fue estudiar en condiciones controladas de laboratorio la interacción entre el trazador fluorescente Amidorodamina G y sedimentos del río Salado (Santa Fe), con $d_{50}=11.6 \mu\text{m}$ y 97% de sedimentos finos. Se utilizó un reactor cilíndrico diseñado para tal fin, implementándose diferentes condiciones hidrodinámicas. Las velocidades tangenciales y radiales se midieron con una sonda ADV, los tamaños de flóculos, turbiedad y otras variables se determinaron con sondas multiparamétricas. El rango de velocidades angulares (N) utilizado fue función de las tensiones de corte esperadas para distintos escenarios del río. Los resultados obtenidos en una primera etapa de ensayos utilizando los sedimentos en agua destilada, se contrastaron con los de una segunda etapa en la que se agregó trazador. Los máximos tamaños de flóculos, $df_{50}\approx 48 \mu\text{m}$, se obtuvieron sin rodamina, para concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) entre 50 y 100 mg/L y $N>150 \text{ rpm}$. Para SST mayores a 100 mg/L los df_{50} decayeron para todo el rango de N hasta $df_{50}\approx 25 \mu\text{m}$, independientemente de la presencia del trazador. Para $SST>150 \text{ mg/L}$ con rodamina los df_{50} fueron mayores entre 5 y 10% a los obtenidos sin rodamina. Se concluye que tanto la turbiedad como el tamaño de flóculos fueron afectados por la presencia del trazador, para distintas N y SST.

Palabras clave: Trazador fluorescente, sedimentos, reactor

ABSTRACT

The objective was to study in controlled laboratory conditions the interaction between the Amidorhodamine G fluorescent tracer and sediments of the Salado river (Santa Fe), with $d_{50} = 11.6 \mu\text{m}$ and 97% of fine sediments. A cylindrical reactor designed for this purpose and for different hydrodynamic conditions were used. The tangential and radial velocities were measured by an ADV probe, while floc sizes, turbidity and other variables were determined with multiparametric probes. The range of angular velocities (N) used was a function of the expected shear stresses for different river scenarios. The results obtained in a first test using the sediments in distilled water were contrasted with those of a second test, in which tracer was added. The maximum floc sizes, $df_{50}\approx 48 \mu\text{m}$, were obtained without rhodamine, for concentrations of total suspended solids (SST) between 50 and 100 mg/L and $N>150 \text{ rpm}$. For SST greater than 100 mg/L the df_{50} decayed to $df_{50}\approx 25 \mu\text{m}$ for the entire range of N, regardless of the presence of the tracer. For $SST>150 \text{ mg/L}$ with rhodamine the df_{50} were greater between 5 and 10% than those obtained without rhodamine. It is concluded that both the turbidity and floc sizes were affected by the tracer presence, for different N and SST.

Keywords: Fluorescent tracer, sediments, reactor

INTRODUCCIÓN

Debido a sus diversas implicancias ambientales, el transporte de sedimentos suspendidos en cursos de agua es un tema de sumo interés en las disciplinas científicas relacionadas a la hidráulica. En particular los sedimentos finos, por sus propiedades físico-químicas, pueden sorber diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua, formar agregados y alterar su calidad. En ese contexto, la floculación de los finos es un factor importante a considerar en cuanto a la disminución de la transparencia del agua, que incide en la penetración de la luz y por lo tanto sobre la biota. La sedimentación de los agregados es más rápida y como pueden poseer metales pesados, bacterias y materia orgánica en general, pueden luego por resuspensión, transformar el lecho en una fuente secundaria de contaminación (Edzwald et al., 1974). La problemática del conocimiento de los complejos fenómenos de transporte de sedimentos suspendidos en cursos de agua ha sido abordada por técnicas que combinan mediciones de campo (hidrodinámicas, batimétricas y sedimentológicas) con simulaciones numéricas. Las mediciones son relevantes para la implementación y calibración de los parámetros de los modelos, no obstante lo cual, algunos son de difícil cuantificación cuando se pretende realizar una buena simulación del transporte de sedimentos. En este caso se requiere conocer el coeficiente de dispersión longitudinal, D_L , para modelos 1D, o para modelos 2DH los coeficientes de dispersión longitudinal y transversal, D_{xx} y D_{yy} , respectivamente. Estos pueden ser determinados por diferentes métodos: fórmulas empíricas (Fischer, 1968; Liu, 1977; Fischer et al., 1979; Rutherford, 1994), mediciones hidrodinámicas de detalle (Carr et al., 2007; Shen et al., 2010) o mediante experimentos con trazadores (Clark et al., 2009; Hamidifar et al., 2015). Este último método es el más preciso, pero exige cuidadosas y costosas mediciones en campo. Básicamente consiste en inyectar una cantidad de masa conocida de un trazador fluorescente y registrar sus concentraciones a lo largo y ancho del curso de agua con un instrumento adecuado. Se asume que el trazador se disuelve completamente en el agua y se mueve como un constituyente pasivo y conservativo. Esa hipótesis es equivalente a sostener que la dinámica del trazador no está afectada por la presencia de los finos floculados.

Otro método ampliamente difundido en la comunidad científica, para estudiar la dinámica de los sedimentos es el uso de diversos dispositivos de laboratorio, por ejemplo: jarras de floculación, columnas de sedimentación, canales anulares, floculadores Couette, de disco y reactores (Chapra, 1997). De este modo, es posible lograr aproximaciones de interés científico en laboratorio, para aquellos casos o problemas que resultan difíciles y costosos de estudiar en campo. La complejidad del problema se pone de manifiesto si se considera la diversidad de tamaños de los sedimentos, el movimiento turbulento a distintas escalas espaciales y el problema de la floculación, cuando las propiedades cohesivas son relevantes (Winterwerp, 2002).

Entre los trabajos con reactores de mezcla completa se destacan los de Mikes et al. (2004); Cheng et al. (2008); Bertrand et al. (2012); Benevides et al. (2014); Zhenbei et al. (2018), entre otros. En esos trabajos se trató de representar procesos de transporte de sedimentos bajo condiciones controladas y que guardaran cierta semejanza respecto de parámetros específicos, como por ejemplo las tensiones de corte medias del flujo. Por otra parte, Goes et al. (2019) mostraron, a partir de ensayos de laboratorio, las dificultades para determinar concentraciones utilizando sondas de turbiedad, en mezclas de sedimentos finos y gruesos, en un reactor.

Con el objetivo de estudiar la interacción entre el trazador y los sedimentos finos para diferentes condiciones hidrodinámicas, en este trabajo se utilizó un reactor cilíndrico, con paletas giratorias en la parte inferior, especialmente diseñado de acuerdo a los criterios de Nagata (1975). Se efectuaron experimentos para diferentes velocidades angulares (ω) y distintas concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST), utilizando sedimentos del río Salado (Santa Fe).

En una primera etapa, los sedimentos finos se mezclaron únicamente con agua destilada y en otra, con agua destilada y una concentración predeterminada del trazador fluorescente Amidorodamina G (Acid Red 50, color index 45220), que en adelante se denominará rodamina. Se contó con un difractoro láser sumergible LISST-25X (Sequoia, 2009) para determinar los tamaños medios de flóculos (df_{50}) en cada serie de ensayos y una sonda YSI 6600 (2009) para la determinación de la turbiedad (T).

METODOLOGIA

Descripción del reactor

El reactor utilizado para los ensayos (Figura 1) es un tubo cilíndrico de acrílico transparente de 0.40 cm de espesor, 19.5 cm de diámetro (D) y 39.5 cm de altura (H) que se apoya sobre una base de acrílico de 31 cm de diámetro. El movimiento rotacional es generado por una paleta de acero de 10 cm de longitud (d) y 2 cm de alto, la cual se fija al eje del motor mediante un tornillo de ajuste (ver Figura 2). El motor es trifásico, con una potencia de 0.25HP y regulado por un convertidor compacto de compensación automática, de alimentación monofásica y frecuencia de salida de hasta 400Hz. Esto permite asignar al motor la frecuencia que el usuario requiera. Para relacionar las frecuencias del convertidor compacto y la velocidad angular (ω) de las paletas se utilizó un tacómetro digital (Sinometer DT-2234C).



Figura 1. Fotografía del equipo utilizado

Descripción de los equipos de medición

Para realizar las mediciones se contó con los siguientes instrumentos: FlowTracker (Sontek, 2009) de tecnología acústica Doppler para la medición de velocidades, equipo LISST-25X (Sequoia, 2009) para medir el tamaño de partículas y

Sonda YSI 6600 con sensores de turbiedad y concentración de rodamina (Figura 3).

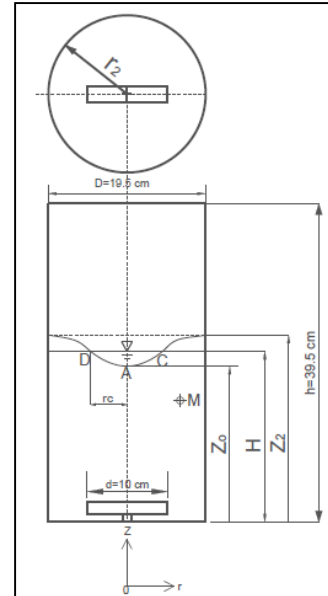


Figura 2. Esquema del reactor con la nomenclatura empleada por Nagata (1975)



Figura 3. Sonda YSI 6600 a la derecha y sonda LISST-25X a la izquierda de la imagen

La sonda FlowTracker es un velocímetro que utiliza la tecnología ADV, consta de un transmisor que emite señales de sonido, de velocidad y frecuencia conocidas, y dos receptores acústicos a los que llega

la señal luego de ser reflejada por los objetos en movimiento. El velocímetro requiere la presencia de sólidos en suspensión para obtener valores de velocidad, ya que el equipo no mide la velocidad de la partícula de agua sino del material suspendido que se mueve con ella. Puede medir velocidades en cursos con profundidad mínima de 2 cm, en un rango de 0.0001 a 4.5 m/s y con una seguridad de $\pm 1\%$ de la velocidad medida.

La sonda YSI 6600, para la medición de turbiedad, cuenta con un sensor óptico basado en el principio de refracción; desde un diodo emite un haz de luz, el cual al incidir sobre las partículas cambia su dirección e intensidad. Este cambio es detectado por un fotodetector que transmite la lectura al software Ecowatch, propio de la sonda, el que mediante un algoritmo convierte los registros en unidades de turbidez nefelométricas (NTU), en un rango de 0 a 1000 NTU con una resolución de 0.1 NTU y una seguridad de $\pm 5\%$ o 2 NTU, aquel que sea mayor.

Para la medición de concentraciones de rodamina el principio de funcionamiento de la sonda YSI 6600 consiste en irradiar, desde un sensor óptico con una longitud de onda particular, el volumen de agua cercano al cabezal; la rodamina al ser irradiada reacciona emitiendo una longitud de onda mayor, que es detectada por el sensor. El intervalo de muestreo (Δt) es regulado por el operador, adoptándose un intervalo $\Delta t = 5$ s. La sonda puede medir en un rango de 0-200 $\mu\text{g/L}$, con una resolución de 0.1 $\mu\text{g/L}$ y una seguridad de ± 1 $\mu\text{g/L}$ o 5% de la lectura, YSI 6600 (2009).

La sonda LISST-25X es un difractor que cuenta con un sensor láser para medir tamaños de sedimentos suspendidos en cuerpos de agua. Fue desarrollada por la empresa Sequoia Inc. LISST es acrónimo de Laser in-situ Scattering and Transmissometry. Puede determinar *in-situ* tamaños de sedimentos suspendidos: Diámetro Medio Sauter del total de la muestra (SMDt) y de la fracción de gruesos, concentración del total de sedimentos suspendidos y de gruesos, profundidad a la que se efectúa la medición y porcentaje de transmisión óptica (TO). Puede operar en el rango de concentraciones de 0.1 a 1000 mg/L, detectar diámetros medios en el intervalo 2.50 – 500 μm y de 63 a 500 μm para gruesos, con rango de TO entre 30 y 95% (Sequoia, 2009).

El SMDt representa el promedio del diámetro Sauter (SD) del total de las partículas en suspensión. SD se define como el diámetro de una esfera que tiene la

misma relación volumen/área superficial que la partícula en consideración. $SD = d_{32} = 6 V_p / A_p$, donde V_p y A_p son el volumen y el área superficial de la partícula, respectivamente. En caso de existir floculación, la sonda registra los SMDt de los agregados, en tal situación se calculó el d_{50} de los agregados con la fórmula $d_{50} = 3.4 \text{ SMDt}^{0.83}$ que fuera obtenida para partículas (Filippa et al., 2011).

Caracterización de los sedimentos

Los sedimentos utilizados en los ensayos corresponden a una muestra del río Salado, recolectada en una sección transversal cercana al camping de la ciudad de Esperanza (31.384134 S, 60.890158 O).

Su caracterización granulométrica se realizó con un difractor Malvern Mastersizer (2000) en el Laboratorio de Dinámica de Sedimentos Cohesivos (LDSC) - Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ). Los resultados indicaron que la muestra posee un 97% de finos ($< 62.5 \mu\text{m}$) de los cuales el 85% fueron limos y el 11% arcillas ($< 2 \mu\text{m}$). A su vez el 65% de los limos fueron finos (2 – 20 μm). La mediana de la distribución granulométrica (Figura 4) fue $d_{50} = 11.6 \mu\text{m}$ y $\text{SMDt} = 4.88 \mu\text{m}$.

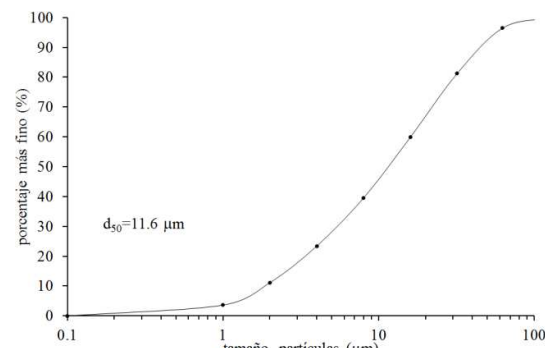


Figura 4. Distribución granulométrica obtenida mediante un difractor Malvern de una muestra de sedimentos del río Salado.

La mineralogía de las partículas es un factor relevante a considerar en referencia a la cohesión de los sedimentos suspendidos. En particular, según su composición, las arcillas presentan esta cualidad. Su tendencia a la agregación es mayor para las esmectitas, seguidas por las cloritas y, con la menor capacidad de cohesión las illitas y las caolinitas, (Mehta y McAnally, 2007).

La composición mineralógica de la muestra de las arcillas empleadas en el reactor fue: 60% de illita,

30% de esmectita y 10% de caolinita (Filippa, 2014). El análisis se realizó por difracción de rayos X, en el Laboratorio de Mineralogía y Micromorfología del Instituto de Suelos del INTA-CIRN. Esta composición es un fuerte indicativo de la capacidad de floculación de estas arcillas, de acuerdo a Mehta y McAnally (2007).

Metodología de laboratorio

La primera etapa de los experimentos consistió en la determinación de la hidrodinámica dentro del reactor para un rango de velocidades N , entre 100 y 200 rpm. Para ello, se introdujeron 6 litros de agua destilada y se utilizó la sonda FlowTracker para medir la velocidad radial (V_r) y tangencial (V_t) en distintos radios $r = 5.25, 6.25, 7.25, 8.25, 9.25$ y 9.75 cm, todos medidos desde el centro del reactor y sobre cuatro planos establecidos a diferentes alturas $Z=10, 12, 15$ y 18 cm desde la base del reactor. Estas mediciones fueron comparadas con valores obtenidos de expresiones teóricas (Nagata, 1975) que relacionan V_t con variables geométricas del reactor, altura de agua inicial (Z_2), altura del vórtice (Z_0), y velocidad angular (ω). La velocidad tangencial teórica, V_t , se obtuvo a partir de las expresiones (1) y (2):

$$\text{Si } r \leq r_c \quad V_t = r \omega \quad (1)$$

$$\text{Si } r \geq r_c \quad V_t = (\omega r_c^2)/r \quad (2)$$

Donde r_c (Figura 2) representa el radio para el cual la masa líquida se mueve como un cilindro sólido y la V_t sólo depende de ω y r . El valor de r_c se determinó utilizando la ecuación (3):

$$r_c = \sqrt{r_2 (r_2 - \sqrt{r_2^2 - k})}, \text{ con } k = \frac{2g}{\omega^2} (Z_2 - Z_0) \quad (3)$$

Con k un parámetro de cálculo (m^2), g la aceleración de la gravedad (9.8 m/seg^2), Z_2 la altura de agua medida sobre la pared del cilindro para una determinada ω (rad/s), Z_0 la altura del vórtice (m), r_2 el radio del reactor (m).

Para caracterizar la hidrodinámica, a partir de Bouyer et al. (2005) y Coufort et al. (2008), se calculó la tensión de corte media con la ecuación (4):

$$\sigma = \rho_w \nu \sqrt{\frac{0.63}{2}} G \quad (4)$$

Donde ρ_w es la densidad del agua (kg/m^3), ν es la viscosidad cinemática (m^2/s) y G (1/s) el parámetro de disipación que se determina con la expresión (5):

$$G = \sqrt{\frac{N_p d^5 n^3}{V \nu}} \quad (5)$$

G se relaciona con la potencia disipada en cada jarra por unidad de volumen V (m^3), N_p es el número de potencia, d (m) es la longitud de la paleta y $n = \omega / 60$. N_p según Nagata (1975):

$$N_p = \frac{A}{\text{Re}} + BL \left(\frac{H}{D}\right)^{(0.35+b/D)} (\text{sen } \theta)^{1.2} \quad (6)$$

Donde L se calcula con la expresión (7):

$$L = \left(\frac{10^3 + 1.2 \text{Re}^{0.66}}{10^3 + 3.2 \text{Re}^{0.66}}\right)^p \quad (7)$$

Con Re el número de Reynolds (ecuación 8), D : diámetro del reactor, θ : ángulo de las paletas respecto al plano horizontal, b : altura de las paletas y los coeficientes A , B y p definidos por las expresiones (9), (10) y (11) respectivamente:

$$\text{Re} = \frac{d^2 n}{\nu} \quad (8)$$

$$A = 14 + (b/D)[670(d/D - 0.6)^2 + 185] \quad (9)$$

$$B = 10^{(1.3 - 4(b/D - 0.5)^2 - 1.14(d/D))} \quad (10)$$

$$p = 1.1 + 4(b/D) - 2.5(d/D - 0.5)^2 - 7(d/D)^4 \quad (11)$$

En la segunda etapa de ensayos se prepararon concentraciones de SST dentro del reactor que cubren el rango observado en el río Salado en condiciones de aguas medias y bajas: 50, 100, 150, 300 y 600 mg/L. Para ello, se pesaron cantidades conocidas de los sedimentos del Salado en una balanza analítica (Metler Toledo AB240-5/FACT) del laboratorio de Limnología Física (INALI - CONICET, Santa Fe). Con el fin de verificar que las concentraciones de sólidos suspendidos totales observados o medidos (SSTo) en las inmediaciones de los sensores de las sondas fueran representativas de la concentración preparada (SSTp) se tomaron muestras de la mezcla agua-sedimentos dentro del reactor. Las mismas se extrajeron por vacío, mediante un tubo de goma de 0.5 cm de diámetro, ubicado a 15 cm

del fondo del reactor y a 7.25 cm del centro del mismo (denominado punto M). Este punto de medición M se seleccionó teniendo en cuenta las siguientes características: i) en él se disponían valores de velocidad tangencial y radial medidas, ii) M no era afectado por el vórtice para el rango de rpm evaluados, es decir, los sensores siempre se encontraban sumergidos, iii) era un punto de perturbación mínima de la hidrodinámica del sistema, al sumergir los sensores.

Se recolectaron muestras de 100 mL, 200 mL y 500 mL. Las concentraciones se determinaron con el método de filtrado, según la norma ASTM D-3977-97 (Guo, 2006), utilizando filtros Millipore de 47 mm de diámetro y 0.45 μ m de poro y la balanza analítica.

Las etapas posteriores de los ensayos consistieron en la medición de la turbiedad (T) de la mezcla agua-sedimento dentro del reactor con la sonda YSI 6000. Las determinaciones se realizaron para variaciones de las diferentes variables involucradas, a saber: variaciones de SSTp en el rango ya mencionado, diferentes alturas de los sensores medidas desde la base del reactor (Z= 8, 15 y 21 cm), distintos radios medidos desde el centro del reactor ($r = 0, 3.75, 5.75$ y 7.75 cm) y distintas velocidades angulares $N= 100, 125, 150, 175$ y 200 rpm. Estas determinaciones se realizaron para verificar la homogeneidad de la mezcla.

La medición del SMDt de las distintas mezclas preparadas se realizó con la sonda LISST-25X en la posición del punto M.

Por último, se efectuaron mediciones de la mezcla de sedimentos finos con agua destilada adicionando una concentración predeterminada de 20 μ g/L de Amidorodamina G extra. Este trazador cumple con una serie de características, necesarias para el tipo de experiencia realizada. Smart et al. (1977) analizaron el comportamiento de 8 trazadores fluorescentes, entre ellos la Amidorodamina G extra, cuyas características más sobresalientes son: 1) la estabilidad de la fluorescencia a valores de pH comprendidos entre 6 y 10, 2) no presentar cambios sensibles de fluorescencia ante variaciones importantes de temperatura (-25 a 25 $^{\circ}$ C), 3) tener bajas tasas de fotodecaimiento (tanto por luz solar como artificial), 4) resistencia a la absorción, tanto de la materia orgánica como inorgánica, 5) no ser tóxico para la salud humana y el medio ambiente (Behrens et al., 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de las condiciones hidrodinámicas

En las Figuras 5 y 6 se presentan a modo de ejemplo los valores de las velocidades tangenciales medidas (V_t) en Z=10, 12, 15 y 18 cm y las calculadas (V_t') con la expresión (2). Se advierte que los valores medidos presentan pequeñas variaciones en sentido radial (de hasta un 15% entre la máxima y la mínima) en tanto que, en sentido vertical, las variaciones no son importantes.

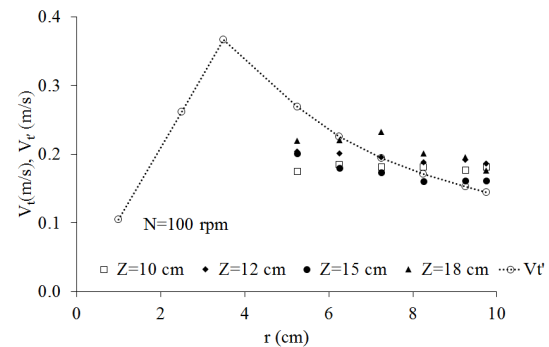


Figura 5: Velocidades tangenciales medidas (V_t) vs calculadas (V_t'), en Z=10, 12, 15 y 18 cm. N=100 rpm

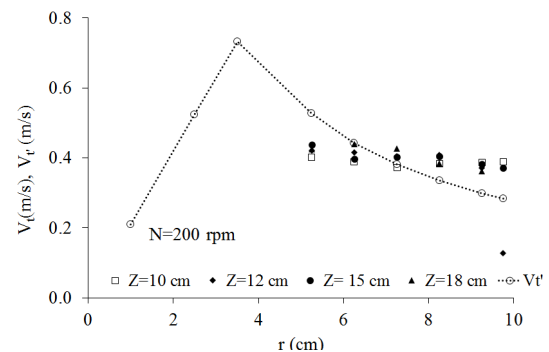


Figura 6: Velocidades tangenciales medidas (V_t) vs calculadas (V_t'), en Z=10, 12, 15 y 18 cm. N=200 rpm

Teniendo en cuenta estos resultados se obtuvieron las V_t promediadas en la vertical, en m/s, Tabla 1. El valor de V_t en el punto de medición M ($r=7.25$ cm, Z=15 cm), varía entre 0.20 y 0.40 m/s. Los valores medidos y calculados guardan similitud en magnitud y tendencia, pero se evidencian diferencias en la zona cercana a la pared del reactor ($r=9.75$ cm) y en $r=5.25$ cm, el más cercano a r_c . Los valores de r_c obtenidos para todas las N analizadas, estuvieron en el rango de 3.6 a 3.9 cm. Se observó que para el cálculo de r_c , la variable que presentó mayor incertidumbre en la medición fue Z_0 , debido a la

inestabilidad que se presentó en el vórtice a medida que aumentó N.

Tabla 1. Variación radial de V_r promediadas en la vertical (m/s), para N=100, 135, 156 y 200 rpm

N (rpm)	r (cm)					
	5.25	6.25	7.25	8.25	9.25	9.75
100	0.20	0.20	0.20	0.18	0.18	0.18
135	0.26	0.26	0.25	0.24	0.25	0.23
156	0.33	0.32	0.32	0.30	0.29	0.25
200	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.30

Por su parte, las V_r , variaron entre 0.02 y 0.08 m/s para el rango de N analizado; es decir un orden de magnitud inferior a las V_r . Además, se registraron variaciones en sentido vertical y radial, siendo estas últimas las más significativas, donde, cerca de la pared, la V_r promedió valores del orden de los 0.02 m/s, mientras que cerca del vórtice fueron de 0.06 m/s.

Los valores de Re estuvieron en el rango de $1.7 \cdot 10^3$ - $3.3 \cdot 10^4$, lo que confirma el régimen turbulento ($Re > 1000$ régimen turbulento, Nagata, 1975) de los experimentos. Las tensiones de corte, σ , calculadas de acuerdo a la ecuación 4 (Nagata, 1975), estuvieron en el intervalo $0.038 < \sigma < 0.098 \text{ N/m}^2$, compatibles con las tensiones calculadas para el río Salado en aguas bajas y medias (Trento y Alvarez, 2011), al igual que el parámetro G, en el intervalo $68 < G < 175 \text{ 1/s}$, para 100 y 200 rpm respectivamente.

Relación de las SSTp y SSTo. Verificación de la homogeneidad de la mezcla

En la Figura 7 se graficaron los valores de SSTp vs SSTo para los volúmenes de muestreo de 100, 200 y 500 mL. Todas las muestras fueron tomadas en el punto M. La línea de trazos a 45° representa SSTp = SSTo.

Se puede observar que a medida que aumenta el volumen de muestreo las SSTp se aproximan a las SSTo, de este modo la curva para el volumen de 500 mL es la más próxima a la línea de 45°. De tal modo, los registros de turbiedad obtenidos con la sonda fueron compatibles con las SSTp específicas para cada experimento, poniendo en evidencia la homogeneidad de la mezcla.

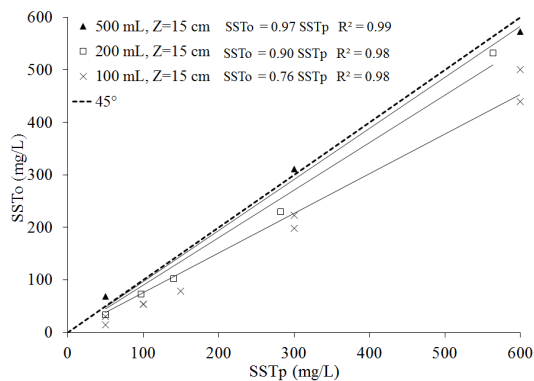


Figura 7: Concentraciones preparadas vs observadas. SSTp vs SSTo

A la vez se cuantificó el error debido a los procedimientos de filtrado de las muestras en laboratorio para obtener SSTo. Este error se debe básicamente a las acciones de filtrado, secado y pesado. Para ello se realizó el análisis para 6 concentraciones distintas en el intervalo $100 < SSTp < 600 \text{ mg/L}$, todas con un volumen de 200 mL. El error relativo entre las SSTp vs SSTo, estuvo en el intervalo 3.1%-7%. Los 6 errores fueron negativos, es decir, la determinación fue por defecto y su magnitud independiente de las concentraciones.

Análisis de la variación de la turbiedad (T)

Se realizaron mediciones de T con la sonda YSI 6600 para variaciones de N, SSTp, r y Z. En la Figura 8 se muestran las mediciones realizadas para las concentraciones de 300 y 600 mg/L, para diferentes radios (r) medidos desde el centro del reactor y para diferentes alturas (Z) medidas desde el fondo, para N=100 rpm.

Para ambas SSTp se observaron diferencias positivas de T de no más de 10 NTU, tanto en sentido vertical como radial.

En la Figura 9 se presentan las mediciones de T efectuadas para diferentes concentraciones y variaciones de la velocidad angular de la paleta (N) en el rango 100-200 rpm, en ausencia de rodamina. Se observa que independientemente de las SSTp, se incrementó la turbiedad a medida que aumentó N, un 15% en promedio. Los valores de T para N=200 rpm fueron mayores a los de 100 rpm para todas las SSTp.

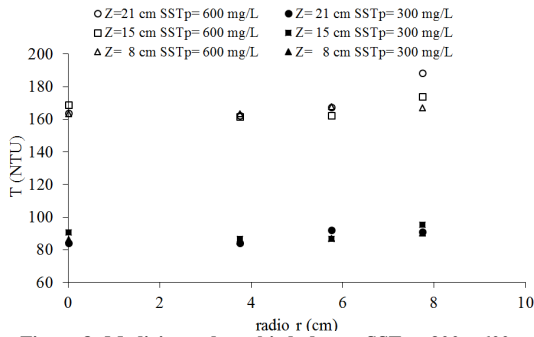


Figura 8: Mediciones de turbiedad para SSTp= 300 y 600 mg/L, en diferentes r medidos desde el centro y distintas Z medidas desde el fondo del reactor. N=100 rpm.

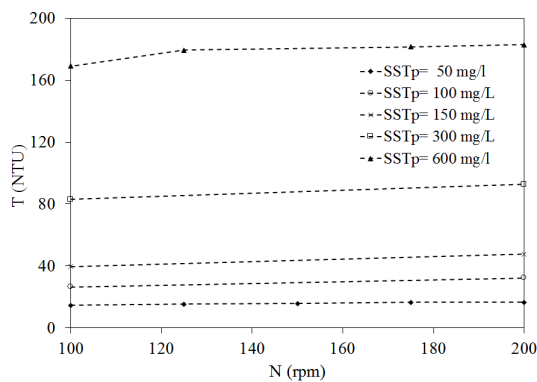


Figura 9: Mediciones de turbiedad para distintas SSTp y velocidades angulares (N), sin rodamina.

Las variaciones de T para distintas SSTp medidas en el reactor con rodamina (línea de trazos) y sin rodamina (línea llena) se presentan en la Figura 10. Se ajustaron funciones lineales para las mediciones correspondientes a N=200 y 100 rpm. Se observa que la presencia de rodamina produce un descenso de la turbiedad para todas las SSTp, lo cual queda en evidencia por las pendientes de las rectas de ajuste. Para N=200 rpm la disminución de la turbiedad es de 45%, para SSTp=50 mg/L y continúa con 24, 11 y 9% para SSTp=150, 300 y 600 mg/L respectivamente. Para N=100 rpm también la rodamina produce una disminución de T, en el intervalo 6%-18%, con un 15% para SSTp=50mg/L.

En la Figura 11 se muestran las concentraciones de rodamina para las diferentes SSTp y N ensayadas. Se advierte que se mantienen prácticamente constantes, en torno a un valor medio de 21.3 mg/L y con un intervalo de desvíos 20.5-22.2 mg/L, para todo el rango de N y SSTp. Es decir, que T aumenta con las concentraciones en forma independiente de la presencia del trazador, para cualquier N.

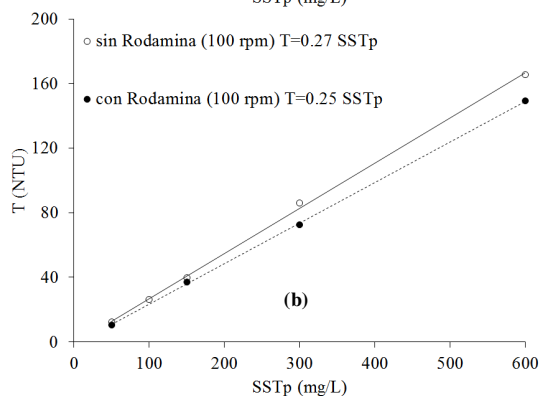
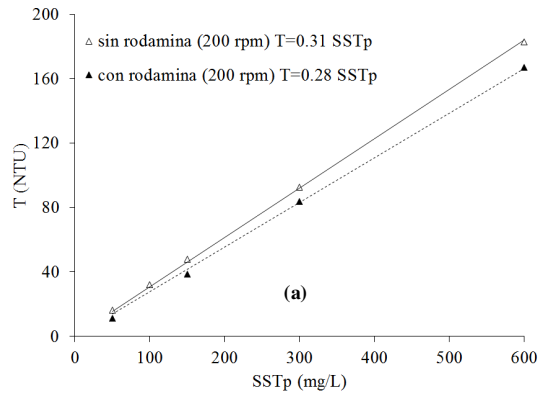


Figura 10: Mediciones de turbiedad, con y sin rodamina, para variaciones de SSTp. (a) N=200 rpm y (b) N=100 rpm

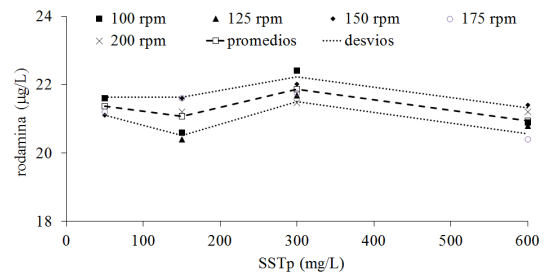


Figura 11: Mediciones de concentraciones de rodamina para variaciones de SSTp y N.

Análisis del diámetro de los flóculos: df_{50}

En la Figura 12 se graficaron los valores de df_{50} , obtenidos con la sonda LISST, para distintas N y distintas SSTp, en ensayos con y sin rodamina. Se advierte que los máximos $df_{50} \approx 48 \mu m$ se obtienen sin rodamina, para SSTp entre 50 y 100 mg/L y N superiores a 150 rpm, es decir con las mayores tensiones de corte. Para valores mayores de SSTp, los df_{50} decaen para todo el rango de N hasta $df_{50} \approx 25 \mu m$, independientemente de la presencia de rodamina.

Puede inferirse que el aumento de tensiones de corte para bajas SSTp aumenta la frecuencia de colisiones entre partículas, de modo tal que el resultado final es la producción de microflóculos de hasta 48 μm y menor turbiedad, producto de la agregación. Mientras que para SSTp mayores y por consiguiente con una presencia de más partículas de sedimentos, las mismas tensiones redundan en la formación de microflóculos más pequeños y una mayor turbiedad. Este tipo de proceso de agregación y desagregación fue esquematizado por Dyer (1989) mediante su conocido diagrama conceptual.

Para una concentración constante de rodamina de 20 $\mu\text{g/L}$ en el rango inferior de SSTp, para las tensiones intermedias empleadas, se obtuvo un tamaño máximo $df_{50} \approx 35 \mu\text{m}$. Para $SSTp > 150 \text{ mg/L}$ con rodamina, los df_{50} superaron entre 5 y 10% a los obtenidos sin rodamina. Las TO estuvieron en el rango 13%-83%, es decir que todas las determinaciones de df_{50} estuvieron dentro de los límites admisibles del equipo LISST-25X.

Se debe tener en cuenta que la floculación generalmente ocurre a escala cercana a la de Kolmogorov (Coufort et al., 2008), la cual define el tamaño de los remolinos más pequeños, $\eta = (v^3/\epsilon)^{1/4}$, que disipan la energía de la turbulencia, con ϵ la tasa de disipación viscosa de la energía cinética. Para estos experimentos se calculó $\eta = 121 \mu\text{m}$ para $N = 100 \text{ rpm}$ y $\eta = 76 \mu\text{m}$ para $N = 200 \text{ rpm}$. En todos los casos los tamaños medios de los agregados

fueron menores a η , pudiéndose deducir entonces condiciones de turbulencia isotrópica en el reactor.

CONCLUSIONES

Se realizaron mediciones de velocidad tangencial -y radial- y se lograron ajustes satisfactorios con las expresiones teóricas de V_t , destacándose velocidades en la zona de medición de 0.20 a 0.40 m/s. El número de Re estuvo en el rango $1.7 \cdot 10^3$ y $3.3 \cdot 10^4$, lo que indica régimen turbulento, mientras que las tensiones de corte y los gradientes de velocidad estuvieron en los rangos de 0.038-0.098 N/m^2 y de 68-175 1/s, para 100 y 200 rpm respectivamente.

Se determinó que T aumenta con las SSTp en forma independiente de la presencia del trazador, para cualquier N.

En ausencia de rodamina la turbiedad fue mayor (15% en promedio) a medida que aumentó N, independientemente de las SSTp. Los valores de T para $N = 200 \text{ rpm}$ fueron mayores a los T para 100 rpm para todas las SSTp. Para iguales condiciones generales, la presencia de rodamina produjo un descenso de la turbiedad para todas las SSTp. La disminución fue de 45%, para $SSTp = 50 \text{ mg/L}$ y continuó con 24, 11 y 9% para $SSTp = 150, 300$ y 600 mg/L respectivamente. Para $N = 100 \text{ rpm}$ también la rodamina produjo una disminución de T, en el intervalo 6%-18%, con un 15% para $SSTp = 50 \text{ mg/L}$.

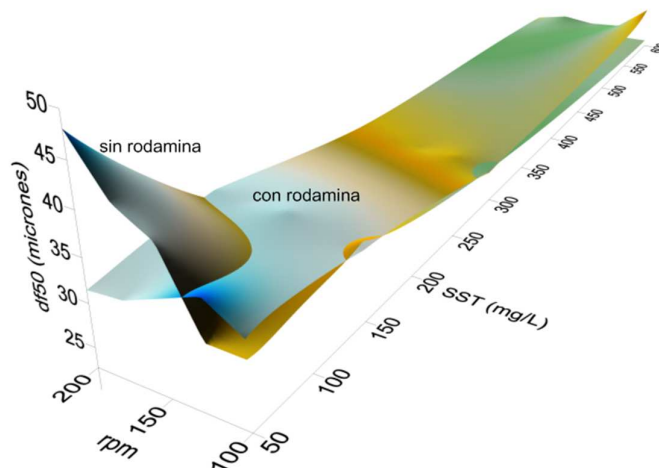


Figura 12: Valores de tamaño de flóculos vs concentraciones para distintas N

Los máximos tamaños promedio de flóculos, $df_{50} \approx 48 \mu\text{m}$, se obtuvieron sin rodamina, para SSTp entre 50 y 100 mg/L y N superiores a 150 rpm, es

decir con las mayores tensiones de corte y la menor turbiedad. Para valores mayores de SSTp, los df_{50} decayeron para todo el rango de N hasta $df_{50} \approx 25 \mu\text{m}$,

independientemente de la presencia de rodamina. Para SSTp > 150 mg/L con rodamina, los df_{50} fueron entre 5 y 10% mayores a los obtenidos sin rodamina.

Se concluye que el aumento de tensiones de corte para bajas SSTp redundan en la producción de microfloculos más grandes y con menor turbiedad. Mientras que para SSTp mayores las mismas tensiones generan microfloculos más pequeños y una mayor turbiedad.

Se realizaron avances importantes sobre la interacción trazador-sedimentos para diferentes condiciones hidrodinámicas en un ambiente controlado, y se encuentran en etapa desarrollo una serie de ensayos, pero bajo otras condiciones hidroambientales que permitirán una comprensión más acabada del fenómeno.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por los Proyectos de Investigación CAI+D 2011 PI 50120110100326 y PIC 50420150100048LI 2016 subsidiados por la Universidad Nacional del Litoral (UNL-Santa Fe).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Behrens, H., Beims, U., Dieter, H., Dietze, G., Eikmann, T., Grummt, T., Hanisch, H., Henseling, H., Käb, W., Kerndorff, H., Leibundgut, C., Müller-Wegener, U., Rönnefahrt, I., Scharenberg, B., Schleyer, R., Schloz, W. y Tilkes, F. (2001) Toxicological and Ecotoxicological Assessment of Water Tracers. *Hydrogeology Journal*, 9(3):321-325. doi: 10.1007/s100400100126
- Benevides, X., Oliveira Silva, I., Gallisa Guimarães L., Gallo, M., Parente Ribeiro, C. y Figueiredo, A. (2014) Estimation of suspended sediment concentration by acoustic scattering: an experimental and theoretical analysis for spherical particles. *J Soils Sediments*, 14, 1325–1333. doi: 10.1007/s11368-014-0905-5
- Bertrand, M., Parmentier, D., Lebaigue, O., Plasari, E. y Ducros F. (2012) Mixing Study in an Unbaffled Stirred Precipitator Using LES Modelling. *International Journal of Chemical Engineering*, ID 450491, 11 pages. doi:10.1155/2012/450491
- Bouyer, D., Coufort, C., Liné, A., Do-Quang, Z. (2005) Experimental analysis of floc size distributions in a 1-L jar under different hydrodynamics and physicochemical conditions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 292 (2) 413–428. doi: 10.1016/j.jcis.2005.06.011
- Carr, M. y Rehmann, C. (2007) Measuring the Dispersion Coefficient with Acoustic Doppler Current Profilers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(8). doi:10.1061/(ASCE)0733-9429
- Chapra, S.C. (1997) Surface Water-Quality Modelling. John Wiley and Sons Inc., Iowa, 844 p.
- Cheng, W.P., Kao, Y.P. y Yu, R. F. (2008) A novel method for on-line evaluation of floc size in coagulation process. *Water Research*, 42 (10-11), 2691-2697. doi: 10.1016/j.watres.2008.01.032
- Clark, D., Feddersen, F., Omand, M. y Guza R. (2009) Measuring Fluorescent Dye in the Bubbly and Sediment-Laden Surfzone. *Water, Air and Soil Pollution*, 204 (1-4), 103–115. doi: 10.1007/s11270-009-0030-z
- Coufort, C., Dumas, D., Bouyer, D. y Liné, A. (2008) Analysis of floc size distributions in a mixing tank. *Chemical Engineering and Processing*, 47(3), 287–294. doi: 10.1016/j.cep.2007.01.009
- Dyer, K. R. (1989) Sediment Processes in estuaries: Future research requirements. *Journal of Geophysical Research*, 94, C10, 14327-14339. doi: 10.1029/JC094iC10p14327
- Edzwald, J.K., Upchurch, J.B. y O'Melia, C.R. (1974) Coagulation in Estuaries. *Environmental Science and Technology*, 8 (1) 58-63.
- Filippa, L., Freire, L., Trento, A., Alvarez, A., Gallo, M. y Vinzón, S. (2011) Laboratory evaluation of two LISST-25X using river sediments. *Sedimentary Geology*, 238, 268-276. doi: 10.1016/j.sedgeo.2011.04.017
- Filippa, L. (2014) Estudio de la dinámica de la floculación y su relación con el transporte de cromo en el río Salado (Santa Fe). (Tesis de Doctorado), Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Fischer, H. B. (1968) Dispersion predictions in natural streams. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 94 (5), 927-943.
- Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J. y Brooks, N. H. (1979) Mixing in inland and coastal waters. Academic Press.
- Goes, Y. W., Buraschi, G. B., Freire, L. C., Benevides, C. X., Álvarez, A. M. T., Gallo, M. N., Gallisa, L. (2019) Mediciones de concentración con sondas de turbiedad (OBS) en la presencia de mezclas de sedimentos. VI Simposio sobre métodos experimentales en hidráulica. Paysandú, República

- Oriental del Uruguay.
- Guo, Q. (2006) Correlation of Total Suspended Solids (TSS) and Suspended Sediment Concentration (SSC) Test Methods. New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Science, Research and Technology. Contract No. SR05-005.
- Hamidifar, H., Omid, M. y Keshavarzi, A. (2015) Longitudinal dispersion in waterways with vegetated floodplain. *Ecological Engineering*, 84, 398–407. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.09.048
- Liu H. (1977) Predicting Dispersion Coefficient of Streams. *Journal of the Environmental Engineering*, 103(1), 59-69.
- Mehta, A. y McAnally, W. W. (2007) Fine-grained sediment transport. En M. Garcia. (Ed.), *Sedimentation Engineering Processes, Measurements, Modeling, and Practice* (pp. 253-306). Reston, Estados Unidos de Norteamérica: American Society of Civil Engineers.
- Mikes, D., Verney, R., Lafite, R. y Belorgey, M. (2004) Controlling factors in estuarine flocculation processes experimental results with material from the Seine Estuary, Northwestern France. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 41.
- Nagata, S. (1994) *Mixing: principles and applications*. Chichester, Halsted Press Wiley.
- Rutherford, J.C. (1994) *River mixing*. New York. John Wiley and Sons.
- Sequoia (2009) LISST-25 User's Guide, 2009. <http://sequoiasci.com>.
- Shen, C., Niu, J., Anderson, E. y Phanikumar, M. (2010) Estimating longitudinal dispersion in rivers using Acoustic Doppler Current Profilers. *Advances in Water Resources*, 33(6), 615-623. doi: 10.1016/j.advwatres.2010.02.008
- Smart, P.L. y Laidlaw, I.M.S. (1977) An Evaluation of Some Fluorescent Dyes for Water Tracing. *Water Resources Research*, 13(1), 15-33. doi: 10.1029/WR013i001p00015
- Sontek (2009) *FlowTracker Handheld ADV Technical Manual Firmware 3.7 Software Version 2.30*. San Diego, Estados Unidos de Norteamérica.
- Trento, A. y Álvarez, A.M.T. (2011) A numerical model for the transport of chromium and fine sediments. *Environmental Modeling and Assessment*, 16(6), 551-564. doi: 10.1007/s10666-011-9263-5.
- Winterwerp, J. C. (2002) On the flocculation and settling velocity of estuarine mud, *Continental Shelf Research*, 22(9), 1339-1360. doi: 10.1016/S0278-4343(02)00010-9
- YSI 6600 (2009) *User Manual*. <http://www.ysi.com/media/pdfs/E52-6600V2.pdf>
- Zhenbei Whang, J.N., Xiaoyu Ji, Y. Y. (2018) Effect of the micro-flocculation stage on the flocculation and settling velocity of estuarine mud. *Science of the Total Environment*, 633(15) 1183-1191. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.286

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO:

Wolfenson, A., Lanza, V., Palman, L., Imhoff, M., Alvarez, A. y Trento, A. (2019) Interacción agua-sedimentos-trazador fluorescente en un reactor. Medición de flóculos. *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 19-29. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.114

Tipo de Publicación: ARTÍCULO.

Trabajo recibido el 14/02/2019 y aprobado para su publicación el 30/09/2019.

CAMBIOS DEL USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL ARROYO LUDUEÑA, SANTA FE: IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD Y EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Sergio Montico^(*); Néstor Di Leo; Beatriz Bonel; Julio Denoia

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Zavalla, Santa Fe, Argentina

^(*)e-mail: smontico@unr.edu.ar

RESUMEN

En la región pampeana Argentina, en las últimas décadas, los agroecosistemas han evolucionado hacia esquemas más agrícolas que ganaderos. Los pastizales naturales fueron siendo reemplazados mayoritariamente por la agricultura afectando la sostenibilidad biofísica territorial. Asimismo, hubo efectos negativos en los servicios ecosistémicos (SE) como consecuencia de esas transformaciones. El objetivo de este trabajo es valorar el impacto del cambio del uso de la tierra durante cuatro décadas en la sostenibilidad biofísica (SB) y en los servicios SE, en la cuenca del arroyo Ludueña en el sur de Santa Fe (Argentina). Para evaluar los cambios de la SB entre 1976-2015 se utilizaron tres indicadores: Índice de Vegetación Remanente (IVR), Índice de Presión Demográfica (IPD) e Índice de Criticidad Ambiental (ICA). Se identificaron tres tipos de ecosistemas y nueve coberturas de suelo y se valoraron los servicios ecosistémicos a través de la metodología elaborada por Castañeda Camacho (2013). Los resultados indican que la cuenca está en peligro, y la SB con bajas probabilidades de persistencia, siendo alto el riesgo ambiental, principalmente por el mayor cambio del IVR. Las plantaciones forestales, los montes nativos y el arroyo principal, son las coberturas más importantes para la provisión de SE y los cultivos agrícolas representan una cobertura de baja importancia ecológica. Las nueve coberturas contribuyen en diferentes proporciones con los ecosistemas para sostener el equilibrio ecológico y recibir los desechos. Es necesario producir con la mayor celeridad, cambios en el uso de la tierra que se orienten a balancear la superficie de pasturas temporarias con la agricultura, ampliar la dedicada a plantaciones forestales, y preservar todos los ecosistemas acuáticos.

Palabras clave: Uso de la tierra, sostenibilidad biofísica, servicios ecosistémicos, cuencas rurales

ABSTRACT

In the Pampa region of Argentina, in the last decades, agroecosystems have evolved towards more agricultural than livestock schemes. The natural grasslands were being replaced mainly by agriculture, affecting territorial biophysical sustainability. Likewise, there were negative effects on ecosystem services (SE) as a result of these transformations. The objective of this work is to assess the impact of land use change over four decades on biophysical sustainability (SB) and on the SE services, in the basin of Ludueña stream in southern Santa Fe (Argentina). To evaluate the SB changes between 1976-2015, three indicators were used: Remaining Vegetation Index (IVR), Demographic Pressure Index (IPD) and Environmental Criticality Index (ICA). Three types of ecosystems and nine land coverings were identified and ecosystem services were valued through the methodology developed by Castañeda Camacho (2013). The results indicate that the basin is in danger, and the SB with low probabilities of persistence, with high environmental risk, mainly due to the greater change of the IVR. Forest plantations, native forests and the main stream are the most important cover for the provision of SE and agricultural crops represent a low ecological importance coverage. The nine coverings contribute in different proportions with the ecosystems to sustain the ecological balance and receive the waste. It is necessary to produce as quickly as possible, changes in the use of land that are oriented to balance the surface of temporary pastures with agriculture, expand the dedicated to forest plantations, and preserve all aquatic ecosystems.

Keywords: Land use, biophysical sustainability, ecosystem services, rural basins

INTRODUCCIÓN

Desde aproximadamente 1960 se ha producido en la región pampeana Argentina un proceso de agriculturización, principalmente, a expensas de la disminución de la superficie dedicada a ganadería extensiva (Cruzate y Casas, 2012; Montico, 2013; Volante et al., 2015).

Este escenario instalado progresivamente en las últimas décadas, ha influido en el estado de los ecosistemas pampeanos y en los servicios ambientales que ellos proporcionan, provocando la alteración de hábitats, cambios en biodiversidad, resistencia a fitosanitarios, alteración de los ciclos de nutrientes, modificaciones de las propiedades físico-químicas del suelo, y contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nutrientes y biocidas (Manuel-Navarrete et al., 2005).

Principalmente las praderas o pastizales naturales han sido los biomas más impactados, donde la flora y fauna se ha visto alterada por la actividad agraria (Bilenca, 2000). Los pastizales naturales son biomas que contribuyen a la sostenibilidad biofísica. Son entidades naturales que poseen la capacidad para atender la demanda de bienes y servicios ambientales para satisfacción de necesidades básicas, soporte de procesos productivos y prevención de riesgos (Márquez, 2000).

La implantación de agroecosistemas en la pampa bonaerense ha modificado sustancialmente su estructura y funcionamiento, con los consecuentes cambios que ello implica para la biodiversidad regional (Bilenca et al., 2012). Resulta relevante conocer la incidencia de estos cambios en la transformación de los agroecosistemas, y con ello, las posibilidades de sostenibilidad territorial.

Los ecosistemas terrestres brindan una serie de servicios vitales para las personas y la sociedad, como la diversidad biológica, los alimentos, las fibras, los recursos hídricos, el secuestro de carbono y la recreación. La capacidad futura de los ecosistemas para proporcionar estos servicios está determinada por los cambios en los aspectos socioeconómicos, características del uso del suelo, biodiversidad, composición atmosférica y clima (Metzger et al., 2006). Las modificaciones producidas principalmente por el uso de la tierra, ha impactado en las capacidades que poseen los ecosistemas para brindar aquellos bienes y servicios que resultan de suma

importancia para el desarrollo de las actividades humanas (Egoh et al., 2007; Sarandón, 2014).

Existe un especial y creciente interés en evaluar la provisión de los servicios ecosistémicos (SE). En los últimos años han surgido varias herramientas para realizarlo desde un punto de vista ecológico. No obstante, la complejidad de los SE desalienta los intentos de adoptar una única aproximación metodológica (Rositano y Ferraro, 2017).

El objetivo de este trabajo es valorar el impacto del cambio del uso de la tierra durante cuatro décadas en la sostenibilidad biofísica y en los servicios ecosistémicos, en la cuenca del arroyo Ludueña en el sur de Santa Fe (Argentina).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la cuenca del arroyo Ludueña en la provincia de Santa Fe, la cual posee una superficie de 83418.3 ha y se ubica entre los paralelos 32° 45' y 33° 08' S y los meridianos 61° 04' y 60° 39' O (Figura 1). El clima es subhúmedo mesotermal, con una temperatura media anual de 17 °C y con precipitaciones totales promedio de 1110 mm (Cáceres, 1980).

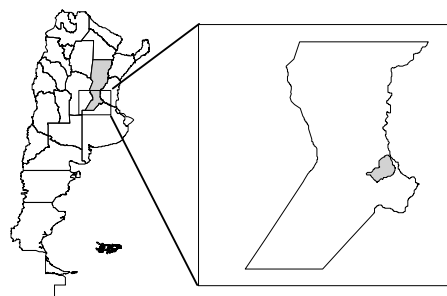


Figura 1. Ubicación de la cuenca.

Se efectuó el análisis de las modificaciones de las coberturas de suelo sucedidas en la cuenca en el período 1976-2015, principalmente de las tierras agrícolas y de los pastizales naturales. Mediante el software QGIS 2.18 se determinó la cobertura en 1976 en imágenes satelitales Landsat 1 Multispectral Scanner (MSS), de 80 m de tamaño de píxel (captada el 26/02/1976). Para el estudio del cambio de ambas coberturas luego de cuarenta años, se empleó el mismo software para procesar una imagen Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI) de 30 m de tamaño de píxel (captada el 4/12/2015).

Asimismo, se relevó información de la población rural y urbana de las quince localidades ubicadas en la cuenca, a través de datos censales (IPEC, 2019).

Para evaluar los cambios de la sostenibilidad biofísica en el período analizado, se recurrió a tres indicadores utilizados por Montico y Di Leo (2007) en las cuencas del arroyo Ludueña y del Saladillo para el período 1976-2006. Estos indicadores se describen a continuación:

a) Índice de Vegetación Remanente (IVR), expresa la cobertura de vegetación natural (área de pastizal natural remanente) en la cuenca como porcentaje del total de la misma: $IVR = (AVR/At).100$. Se consideraron cuatro categorías de transformación adaptadas por Márquez (2000): NT, no transformado, $IVR > 70\%$: Sostenibilidad Alta (SA); PT, parcialmente transformado, $30\% < IVR < 70\%$: Sostenibilidad Media (SM); MT, muy transformado, $10\% < IVR < 30\%$: Sostenibilidad Baja (SB); CT, completamente transformado, $IVR < 10\%$: Sostenibilidad improbable (NS).

b) Índice de Presión Demográfica (IPD), valora las tasas de incremento en la densidad de población humana, según Winograd (1995): $IPD = DP1976 r$, siendo, DP1976, la densidad poblacional en 1976 (población por 100 ha), y r es la tasa de incremento poblacional en el período intercensal 1976-2015.

Los valores del IPD propuestos por Márquez (2000) son: $IPD < 1$: la unidad expulsa población. La sostenibilidad podría mantenerse o recuperarse; $1 < IPD < 10$: población y amenazas crecientes, pero normales. Sostenibilidad media; $10 < IPD < 100$: crecimiento acelerado de la población. Sostenibilidad amenazada; $IPD > 100$: crecimiento excesivo. Grave amenaza a la sostenibilidad.

c) De la combinación del IVR con el IPD, se obtiene el Índice de Criticidad Ambiental (ICA). En la siguiente matriz (Tabla 1) se presenta el esquema de valoración propuesto por Márquez (2000):

Tabla 1. Categorías de Índice de Criticidad Ambiental a partir de los IVR y IPD.

IVR	IPD < 1	1 < IPD < 10	10 < IPD < 100	IPD > 100
NT	I	I	II	II
PT	I	I	II	II
MT	III	III	IV	IV
CT	III	III	IV	V

-I: Relativamente Estable o Relativamente Intacto; conservado y sin amenazas inminentes.

-II: Vulnerable. Conservación aceptable y/o amenazas moderadas. Sostenible en el mediano plazo, en especial con medidas de protección.

-III: En peligro. Baja conservación y/o presiones fuertes. Sostenibilidad con probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos 15 años.

-IV: Crítico. Conservación baja y presiones fuertes. Pocas probabilidades de sostenibilidad en los próximos 10 años.

-V: Muy crítico (Extinto). Sostenibilidad improbable; transformación radical y presiones muy elevadas.

Respecto a los SE que existen en la cuenca, y de acuerdo a los establecidos por Millennium Ecosystem Assessment (2005) se reconocen los siguientes tipos:

- Servicios de Abastecimiento. Son los bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas. Alimentos, fibra, combustible, bioquímicos, recursos genéticos y agua pura.
- Servicios de Regulación. Son los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, inundaciones, control de plagas, polinización, dispersión de semillas, control de erosión, purificación de agua, control de enfermedades.
- Servicios Culturales. Son los beneficios no materiales, valores espirituales y religiosos, sistema de conocimiento, educación, e inspiración, valores estéticos y recreativos.
- Servicios de Soporte. Son aquellos necesarios para la producción de todos los otros servicios de los ecosistemas producción primaria, ciclo de nutrientes, provisión de hábitats, producción de oxígeno en atmósfera y agua.

En este trabajo se planteó la evaluación de estos servicios en 2015, luego de cuatro décadas de sucesivos cambios de uso de la tierra en la cuenca. La valoración de los ecosistemas se llevó a cabo con el propósito de identificar y valorar las funciones y beneficios ambientales, sociales, culturales y económicos que brindan. Para ello, se aplicó la metodología elaborada por Castañeda Camacho (2013). Los tipos de ecosistemas y coberturas propuestos por esta autora fueron parcialmente modificados y se presentan en la Tabla 2.

Toda vez definidas las coberturas de los diferentes ecosistemas se establecieron los criterios de evaluación y su calificación, los cuales se indican en la Tabla 3.

De acuerdo a la propuesta de Catañeda Camacho (2013), para conocer la importancia de una cobertura perteneciente a un ecosistema, según al nivel de satisfacción y la atención de necesidades que brinda, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$I = Co + Of + Pem + Per + NS \quad (1)$$

Donde: I = Importancia; Co = Cobertura; Of = Oferta;

Pem = Permanencia; Per = Periodicidad; NS = Nivel de Satisfacción.

Tabla 2. Tipificación de los ecosistemas y cobertura en la cuenca.

ECOSISTEMAS	COBERTURA
TIPO I Ecosistemas transformados	Cultivos agrícolas (Ca) Pasturas temporarias (Pt) Plantación forestal (Pt)
TIPO II Ecosistemas naturales terrestres	Pastizal natural (Pn) Monte nativo (Mn)
TIPO III Ecosistemas naturales acuáticos	Albardón costero (Ac) Arroyo (Ar) Laguna temporaria (Lt) Avenamiento discontinuo (Ad)

Tabla 3. Descripción de los criterios de evaluación y valores de calificación utilizados en la evaluación de las coberturas de los ecosistemas.

Criterio	Descripción	Calificación	Valor
Cobertura (co)	*Área hasta donde se puede extender el beneficio humano obtenido por el servicio que suministra un ecosistema específico.	Puntual	1
	-Puntual: cuando el beneficio se halla muy localizado, y no va más allá del área donde se produce.	Local	5
	-Local: cuando el beneficio se extiende más allá de donde se genera.	Regional	10
Oferta (of)	*Cantidad de elementos benéficos para el humano provenientes de un ecosistema, y que son empleados conforme a la función que cumple y el servicio que provee.	Baja	1
	-Baja: cuando los elementos benéficos tienden a ser homogéneos, reduciendo el nivel de oferta.	Media	5
	-Media: cuando se encuentran diferencias entre uno y otro elemento, y el nivel de oferta se regula.	Alta	10
Permanencia (pem)	*Tiempo en el que permanecerá el efecto del beneficio obtenido por un eco-servicio.	Corto plazo (< 1 año)	1
	-Corto plazo: cuando el beneficio transcurre en un tiempo inferior a 1 año.	Mediano plazo (1-5 años)	5
	-Mediano plazo: cuando el beneficio se presenta en un periodo de tiempo 1 de 1 a 5 años.	Largo plazo (> 10 años)	10
Periodicidad (per)	*Regularidad con la que se manifiesta el beneficio percibido por el servicio que proporciona un ecosistema.	Periódico	1
	-Periódico: cuando la manifestación del beneficio es de forma recurrente o cíclica.	Discontinuo	5
	-Discontinuo: cuando el beneficio se presenta de manera irregular o impredecible.	Continuo	10
Nivel de satisfacción (ns)	*Grado en que se suple una necesidad humana a través del bienestar propiciado por un eco-servicio.	Nula	1
	-Nulo: cuando no se cubre ninguna de las necesidades requeridas por un grupo social o individuo.	Parcial	5
	-Parcial: cuando las necesidades humanas no son cubiertas en su totalidad, pero se trabaja en las más prioritarias.	Total	10
	-Total: cuando se cubre la totalidad de las necesidades manifestadas por una comunidad o individuo.		

Mediante una matriz de evaluación que interacciona las diferentes coberturas de la cuenca y los servicios y funciones provistos por los ecosistemas presentes, se obtuvo la importancia de los eco-servicios de cada una de las coberturas, los cuales se clasificaron por su calidad de acuerdo a las categorías que se indican en la Tabla 4. De esta manera, mediante la sumatoria de los valores de la importancia de cada eco-servicio se obtuvo la relevancia del ecosistema al cual pertenece.

Tabla 4. Valoración de la importancia de los eco-servicios conforme al bienestar humano y ambiental que proveen. Modificado de Castañeda Camacho (2013).

Calidad de la importancia del eco-servicio	Valor
Baja	1 – 12.5
Media	12.6 – 25.0
Alta	25.1 – 37.0
Muy alta	> 37.1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sostenibilidad biofísica

En la Tabla 5 se presentan los datos de superficie cubierta por pastizales naturales y agricultura en los dos momentos de análisis: 1976 y 2015 (la diferencia de superficie con el total de la cuenca se debe a otros tipos de uso menores).

Tabla 5. Superficie ocupada por pastizales naturales y agricultura en 1976 y 2015 en la cuenca del arroyo Ludueña. PN: Pastizal natural; A: Agricultura.

1976		2015	
PN	A	PN	A
18652.7	61889.6	7933.1	72568.1

En la cuenca del arroyo Ludueña, en 1976, la agricultura representaba el 76.8% de la superficie total. En 2015, esta aumentó a 90.1% (10668.5 ha), en cambio, en igual período, los pastizales naturales disminuyeron su superficie de 23.1% a 9.8%, coincidiendo con el nuevo paradigma productivo que se fue instalando en la región, más específicamente, desde fines de la década del '80 spp a la actualidad (Montico et al., 2013; Volante et al., 2015). Montico y Di Leo (2007) ya habían reportado para esta cuenca, una importante disminución de la superficie ocupada por pastizales naturales desde 1976 y por tres décadas. La cifra correspondiente a 2015 representa sólo el 57.5% de la superficie ocupada por pastizales naturales en 1976, mostrando una severa intervención

antropogénica, y con ello, un perjuicio ambiental para la región.

De acuerdo al IVR, la cuenca del Ludueña se encontraba en 1976 en la categoría completamente transformado, por lo que ya era de baja sostenibilidad (Tabla 6). En 2015, pasó a la categoría sostenibilidad improbable, ostentando la peor clasificación de este indicador. El IPD estima las amenazas a la biodiversidad y conservación del área por aumento de la densidad poblacional.

Tabla 6. Valores de IVR, IPD y categoría de ICA en 1976 y 2015 en la cuenca del arroyo Ludueña.

IVR	IVR	IPD	ICA
1976	2015	2015	2015
23.3 %	9.80 %	4.40 %	III

La cuenca posee un IPD que lo categoriza como un territorio con población y amenazas crecientes, pero normales, indicando una tendencia a la mayor demanda ambiental y presión sobre los ecosistemas, y sus funciones en sistemas naturales antropizados. El ICA representa una relación estado/presión donde la interacción entre la transformación de los biomas y la presión demográfica definen la condición de criticidad del ambiente. Según la clasificación propuesta, y considerando la intervención sobre los pastizales naturales, el ambiente de la cuenca está en peligro, y la sostenibilidad con bajas probabilidades de persistencia. La cuenca posee alto riesgo ambiental, principalmente por el mayor cambio del índice verde. El avance de la agricultura sobre el principal bioma local en el período 1976-2015, ha transformado el territorio, y alterado negativamente su capacidad para ofertar servicios ambientales. En este sentido, Rótolo et al. (2014a) advierten sobre la necesidad de recuperarla en toda la región para optimizar la sostenibilidad biofísica, y utilizar indicadores fiables para tomar decisiones políticas sobre cómo planificar el territorio (Rótolo et al., 2014b). Asimismo, Pucheta et al. (2004) alertan que cuando se suplantán los pastizales, se pierde el valor de parches o fragmentos del paisaje, tanto como fuente de biodiversidad, como de corredores biológicos.

Servicios ecosistémicos

A través de la matriz de evaluación se obtuvo la relevancia de los tipos de ecosistemas presentes en la cuenca, por sumatoria de los distintos valores de los criterios que definen la importancia de los diferentes servicios y funciones de las coberturas (Tabla 7).

Con la información obtenida de la matriz, se efectuó la valoración de la importancia de las nueve coberturas de las tierras de la cuenca (Figura 2). Se observa que algunas se destacan favorablemente frente a otras, no

obstante, las superficies que ocupan son pequeñas en proporción al resto y al total de la cuenca. Se destacan las plantaciones forestales (2 ha), los montes nativos (3 ha) y el arroyo principal (29,8 ha).

Tabla 7. Matriz de importancia de las coberturas de los servicios brindados por los ecosistemas de la cuenca.

ECOSISTEMAS	FUNCIONES	COBERTURAS								
		Ca	Pt	Pf	Pn	Mn	Ac	Ar	Lt	Ad
Para sustento básico	Alimentación	31								
	Abastecimiento de agua						40	36	9	
	Fuente de energía	18		45	5					
Para productividad	Bienestar económico	31	26	36	18					
	Actividades productivas agrícolas	27								
	Materias primas									
Proveedores de recursos naturales	Ganadería		40		25			27		
	Pesca									
	Madera			45		45				
	Recursos genéticos									
Para prevención de riesgos	Control de inundaciones	8	40	45	45	45	35	30	5	9
Receptores de desechos	Calidad del agua			27	22	27	40	45	13	13
	Calidad del aire			27	22	27				
	Procesamiento de desechos y materia orgánica							40		
Para el equilibrio ecológico	Control biológico									
	Mantenimiento de la biodiversidad		35	50	40	50	45	45	13	18
	Regulación de la erosión	9	45	45	45	45				17
	Disponibilidad de nutrientes		26							
	Mantenimiento de las condiciones climáticas			9		9				
Que abarcan beneficios recreativos y estéticos	Belleza escénica			40	13	40	9	45		
	Recreación y ecoturismo			32		32		45		
Asociados a la identidad, cultura y sentido de pertenencia de una región	Relevancia espiritual									
	Relevancia e identidad cultural					31		25		

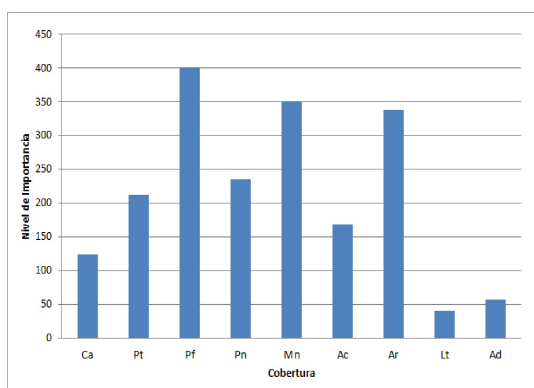


Figura 2. Nivel de importancia de las coberturas de la cuenca.

Luego le siguen en importancia los pastizales naturales (7933.1 ha), las pasturas artificiales (770 ha) y el albardón costero (11.7 ha). Los avenamientos discontinuos (113.1 ha), las lagunas temporarias (127.5 ha) y los cultivos agrícolas (72.568.1 ha) son las coberturas de menor importancia. Respecto a esta última, a pesar de su extensión, las funciones están ceñidas a su rol como ecosistema para el sustento básico y la productividad. Por el contrario, las coberturas más importantes poseen una muy baja representatividad areal, siendo entonces restringidas sus capacidades para impactar ambientalmente de manera positiva en la cuenca. Esta desproporción entre agricultura y las otras coberturas, tal como advierten

Paruelo et al. (2006) se funda en las diferentes posibilidades de proveer ciertos servicios sin valor de cambio en el mercado frente a la producción de bienes comerciales como granos y oleaginosas.

Se destaca que la matriz propuesta por Castañeda Camacho (2013) resultó útil para establecer vínculos entre coberturas y funciones ecosistémicas complejas, y que otras alternativas con abordajes similares como el protocolo ECOSER diseñada por Lateral et al. (2011), podrían aportar a tal fin (Rosinato y Ferraro, 2017).

En la Figura 3 se representa la proporción de la clasificación de la importancia de todos los eco-servicios provistos por cada cobertura. La cobertura Ar es la que posee la mayor proporción de Muy alta (34.9%) y Alta (65.1%), mientras que Lt y Ad, tienen la mayor proporción de Baja (35.0% y 15.8%, respectivamente) y Media (15.8% y 84.2%, respectivamente). Conviene destacar a las pasturas temporarias (Pt) y a las plantaciones forestales (Pf) como coberturas que también poseen gran importancia respecto a la calidad de lo eco-servicios

que ofrecen, dado que se encuentran en la categoría de Alta y Muy alta.

En la Figura 4 se indican los aportes que realizan los ecosistemas de la cuenca al bienestar de la sociedad y el ambiente. Las nueve coberturas en conjunto contribuyen al equilibrio ecológico en diferentes proporciones, siendo las plantaciones forestales y los montes nativos los que diferencialmente más eco-servicios aportan. Los ecosistemas receptores de desecho (integrados por las coberturas Pf, Pn, Mn, Ac, Ar, Lt y Ad) también poseen una gran capacidad de contribuir a la calidad ambiental de la cuenca. La identidad, cultura y sentido de pertenencia de una región como ecosistema socio-natural, es la que menor valor posee (56) respecto a los demás ecosistemas. Los montes nativos y el arroyo principal son las únicas coberturas que le suman importancia. En relación a ello, y tal como plantea Maris (2012), es imprescindible que la sociedad recupere esos atributos de modo que conduzca a un mayor involucramiento en las cuestiones vinculadas al sostenimiento de los beneficios que otorga la naturaleza, más allá de la rentabilidad del uso de la tierra.

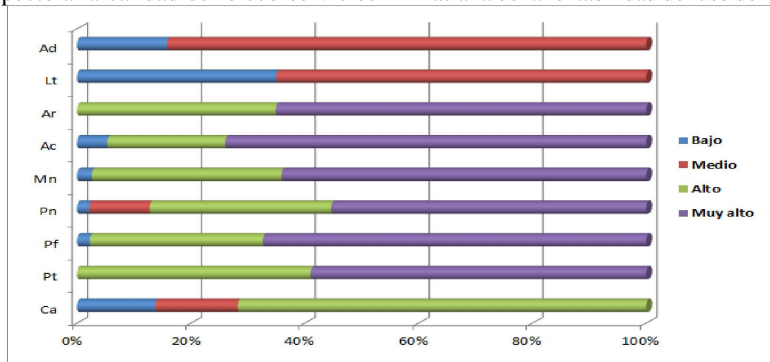


Figura 3. Proporción de la clasificación de la importancia de los eco-servicios provistos por cada cobertura.

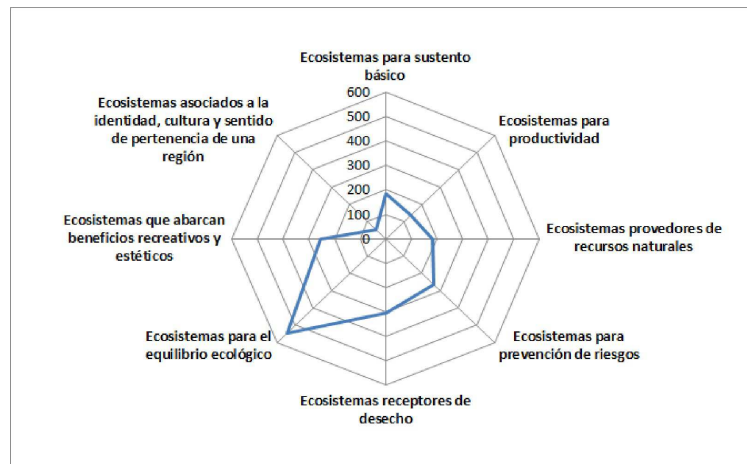


Figura 4. Valores de los aportes de bienes y servicios de los ecosistemas de la cuenca.

Las modificaciones territoriales que ocurren en la cuenca desde el comienzo de la agriculturización, han dejado una severa impronta en las estructuras y funciones de los ecosistemas locales (Montico et al., 2013; Sarandón, 2014). La búsqueda de mayor renta a expensas de la producción agrícola, y sin resguardo de las condiciones ambientales mínimas, ubica actualmente a la mayor superficie de este espacio integrado en una situación de vulnerabilidad extrema. Dependerán del tipo de decisiones que se tomen y de la rapidez con que se realicen las acciones futuras, las posibilidades de neutralización de las intervenciones degradantes y de restauración de las condiciones naturales.

CONCLUSIONES

Los cambios del uso de la tierra en la cuenca en las últimas cuatro décadas, produjeron alteraciones ambientales, principalmente en los biomas locales, y en especial en la proporción de la superficie de los pastizales naturales y la agricultura. El incremento de esta última actividad ha impactado negativamente en la sostenibilidad biofísica siendo su condición muy crítica y amenazada.

Actualmente, los bienes y servicios ecosistémicos de mayor calidad, son prestados por coberturas de la tierra que poseen escasa extensión en toda la cuenca, y la agricultura, la de mayor superficie, resulta una de las que menor calidad de eco-servicios aporta.

Para la optimización ambiental del territorio, será necesario producir con la mayor celeridad, cambios en el uso de la tierra que se orienten a balancear la superficie de pasturas temporarias con la agricultura, ampliar la dedicada a plantaciones forestales, y preservar todos los ecosistemas acuáticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bilenca, D. (2000). Los agroecosistemas y la conservación de la biodiversidad: El caso del pastizal pampeano. *Gerencia Ambiental*, N° 67.
- Bilenca, D.; Codesido, M.; González Fischer, C.; Pérez Carusi, L.; Zufiaurrel, E. y Abba, A. (2012). Impactos de la transformación agropecuaria sobre la biodiversidad en la provincia de Buenos Aires. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 14(2), 189-198.
- Cáceres, L. M. (1980). Caracterización climática de la provincia de Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Provincia de Santa Fe, Argentina. 35 pags.
- Castañeda Camacho, A. C. (2013). Diseño de una metodología para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos. Universidad Militar Nueva Granada - especialización en planeación ambiental y gestión integral de los recursos naturales. Bogotá, Colombia.
- Cruzate, G. A. y Casas, R. (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 6, 7-14.
- Egoh, B.; Rouget, M.; Reyers, B.; Knight, A. T.; Cowling, M. R.; van Jaarsveld, A. S. y Welz, A. (2007). Integrating ecosystem services into conservation assessments: a review. *Ecological Economics*, 63(4), 714-721.
- IPEC. (2019). Instituto Provincial de Estadísticas y Censo de la provincia de Santa Fe. Recuperado de: www.ipeec.gov.ar. Consultado el: 10/1/2019.
- Laterra, P.; Castellarini, F. y Orúe, E. (2011). ECOSER: un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social. En: P.L. Laterra; E. G. Jobbagy y J. M. Paruelo (Eds.) *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. 740 pags. Buenos Aires, Argentina: Ed INTA.
- Manuel-Navarrete, D.; Gallopín, G.; Blanco, M.; Díaz-Zorita, M.; Ferraro, D.; Herzer, H.; Laterra, P.; Morello, S.; Murmis, M. R.; Pengue, W.; Piñeiro, M.; Podestá, G.; Satorre, E. H.; Torrent, M.; Torres, F.; Viglizzo, E.; Caputo, M. G. y Celis, M. A. (2005). Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. CEPAL, Chile.
- Maris, V. (2012). De la naturaleza a los servicios ecosistémicos - una mercantilización de la biodiversidad. *Ecología Política*, 44, 27-32
- Márquez, G. (2000). Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de sostenibilidad en Colombia. *Gestión y ambiente* 5, 33-49.
- Metzger, M. J.; Rounsevell, M. D. A.; Acosta-Michlik, L.; Leemans, R. y Schroter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 69-85.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington D.C., EEUU: Island Press.

- Montico, S. (2013). Vulnerabilidad de unidades de paisaje en una cuenca de Santa Fe, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM*, 19, 15-24.
- Montico, S. y Di Leo, N. (2007). Cambio de la sostenibilidad biofísica en cuencas hidrográficas: tres décadas de reemplazo de pastizales naturales por agricultura. *Cuadernos del CURIHAM*, 13(1), 1-7.
- Montico, S.; Bonel, B.; Di Leo, N. y Denoia, J. (2013). La aplicación del método GEO en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe. En CD: Actas VIII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Buenos Aires. Argentina.
- Paruelo, J. M.; Guerschman, J. P.; Piñeiro, G.; Jobbágy, E. G.; Verón, S. R.; Baldi, G. y Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*, X(2), 47-61
- Pucheta E.; Bonamici, I.; Cabido, M. y Díaz, S. (2004). Below-ground biomass and productivity of a grazed site and a neighbouring ungrazed enclosure in a grassland in central Argentina. *Austral Ecology*, 29, 201-208.
- Rositano, F. y Ferraro, D.O. (2017). Una nueva aproximación metodológica basada en redes conceptuales y redes probabilísticas para evaluar la provisión de servicios de los ecosistemas. *Ecología Austral*, 27, 10-17.
- Rótolo, G.; Francis, C.; Craviotto, R.; Viglia, S.; Pereyra, A. y Ulgiati, S. (2014a). Time to re-think the GMO revolution in agriculture. *Ecological Informatics*, 6(1), 35-49. doi: 10.1016/j.ecoinf.2014.05.002. 2
- Rótolo, G.; Montico, S.; Francis, C. y Ulgiati, S. (2014b). Performance and environmental sustainability of cash crops in Pampas Region, Argentina. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 2(3), 38-66.
- Sarandón, S. (2014). El agroecosistema: Un ecosistema modificado. En: Sarandón, S. y Flores, C. (Eds.) *Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. (pp. 100-130). La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP)
- Volante, J.; Mosciaro, M. J.; Morales Poclava, M. C.; Vale, L.; Castrillo, S.; Sawchik, J.; Tiscornia, G.; Fuente, M.; Maldonado, I.; Vega, A.; Trujillo, R.; Cortéz, L. y Paruelo, J. (2015). Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010: Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 41 (2), 179-191.
- Winograd, M. (1995). Indicadores Ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras. Documento IICA/GTZ/OEA/WRI. IICA, 85 p.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO:

- Montico, S.; Di Leo, N.; Bonel, B. y Denoi, J. (2019). Cambios del uso de la tierra en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe: Impacto en la sostenibilidad y en los servicios ecosistémicos. *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 31-39. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.115

Tipo de Publicación: ARTÍCULO.

Trabajo recibido el 14/02/2019 y aprobado para su publicación el 28/04/2019.

CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF) DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DEL CIM-FICH. SERIE 1986–2016

Ramiro Marcus, María del Valle Morresi^(*), Esteban Elizalde Carrillo, José Macor e Ignacio Cristina

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Santa Fe. Argentina

^(*)email: valle@fich.unl.edu.ar

RESUMEN

El estudio de la precipitación, su distribución y evolución temporal son de interés para proyectos de diseño hidrológico. Las curvas IDF es la metodología más utilizada para definir la tormenta de diseño en base a la relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y la recurrencia. Su construcción muchas veces se ve limitada por la escasa disponibilidad de datos pluviográficos, referente a la cobertura espacial de las estaciones y a la longitud insuficiente de los registros. El presente trabajo tiene por objetivo actualizar las curvas IDF del Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) "Lic. Enrique B. Rodríguez", Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL). Las curvas IDF fueron calculadas por el método de Sherman y se verificó que la intensidad de precipitación decrece cuando aumenta la duración y para una misma duración, la intensidad aumenta con el periodo de retorno. Las intensidades menores e iguales a 10 minutos superan los 100 mm.h⁻¹ para todas las recurrencias. Las curvas IDF determinadas para la estación del CIM presentan intensidades de lluvia menores a las definidas para las localidades de Rafaela y Paraná, con diferencias porcentuales que aumentan con la recurrencia.

Palabras clave: IDF, intensidad, precipitación, CIM

ABSTRACT

The study of the rainfall distribution and temporal evolution is interesting in hydrological design projects. The IDF curves is most useful methodology to define the design storm based on rain intensity, duration and recurrence. Its construction has often been limited by the availability of pluviographic data, in relation to the spatial coverage of the stations and the insufficient length of the records. The objective of this work is to update the curves of the IDF of the Meteorological Information Center (CIM) "Lic. Enrique B. Rodríguez", Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL). The IDF curves was determined by Sherman methodology and was verified that the rain intensity decreases when the duration increases and, during the same duration, the rain intensity increases with the return period. The rain intensities less than and equal to 10 minutes exceed 100 mm/h for all recurrences. The IDF curves for the CIM station show a lower rain intensity and those defined for the cities of Rafaela and Paraná, with percentage differences that increase with recurrence.

Keywords: IDF, intensity, rainfall, CIM

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida y constituye un bien de consumo indispensable en todas las actividades que desarrolla el hombre, ya que posibilita la expansión demográfica y los progresos de la producción, pero en cantidades extremas y no controladas: excesivas (inundación) o reducidas (sequía), puede provocar un desastre.

Si bien como recurso hídrico es la necesidad más urgente para el ser humano, son muy pocas las poblaciones que disponen de este elemento en cantidad suficiente, ya que su distribución en el mundo es desigual. El aumento de la población y el crecimiento tecnológico han potenciado la variedad e intensidad de los usos del agua, incrementando su importancia estratégica y evidenciando su vulnerabilidad.

Es indispensable realizar tareas de planificación y gestión a mediano y largo plazo que tiendan al uso racional del recurso, preservando tanto su cantidad como calidad. Estas tareas no son factibles de realizar si no se dispone del conocimiento de las variables que cuantifican la existencia y movimiento del agua dentro de una cuenca. Para los profesionales que estudian el recurso hídrico es de fundamental importancia la caracterización de las lluvias intensas que se utilizan para estimar indirectamente los caudales de diseño (Bertoni y Tucci, 2003).

Debido a que la disponibilidad de información de caudales es escasa, se han desarrollado metodologías para realizar la estimación indirecta de caudales a partir de la precipitación, que es una variable cuyo registro es más sencillo, más extenso y frecuente; a pesar de ello, en ocasiones se presentan problemas frente a registros poco extensos y/o incompletos. Es así como el conocimiento de las características de las precipitaciones intensas es importante para el diseño de obras hidráulicas, para evitar daños de inundaciones o sequías y preservar la calidad del agua.

Las relaciones entre intensidad-duración-recurrencia (curvas IDF) de las precipitaciones intensas deben ser deducidas a partir de observaciones de precipitaciones ocurridas durante un período largo de tiempo suficientemente representativo de los eventos extremos del lugar. De allí parte la necesidad de disponer de registros pluviográficos suficientemente extensos para establecer claramente patrones de comportamiento de las lluvias que

permitan diseños racionales, confiables y efectivos para la ingeniería hidráulica y que constituyan a su vez una herramienta de análisis y planificación a largo plazo (Varela et al., 2004).

Según Collazos y Cazenave (2015), para la longitud de los registros pluviográficos, se suele considerar que aunque no se disponga de series superiores a 20-25 años (OMM, 2011) para un cálculo riguroso, con una cierta cantidad de años (superior a 10 años de registro) pueden realizarse –con prudencia– extrapolaciones e inferencias que permitan disponer de valores provisionales a utilizar (los mejores posibles de momento) mientras se continúa recogiendo y procesando nueva información.

Las curvas IDF con que se dispone actualmente en el CIM fueron determinadas en el año 2003 para una serie de registros pluviográficos de 17 años (1986–2002) y fueron luego actualizadas con nuevos registros en el año 2010, contabilizándose una extensión total de la serie de 25 años (1986–2010).

En este trabajo, realizado en el marco de una Pasantía de Investigación, se extendió la serie de intensidades máximas hasta el año 2016 (totalizando 31 años de registros) que incluye los eventos extremos de los últimos 6 años. En consecuencia, según Bertoni et al. (2009), la extensión de las series utilizadas permite afirmar que los resultados de aplicar las relaciones propuestas resultan confiables hasta un tiempo de recurrencia de 25 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recopilación de la información pluviográfica

La información pluviográfica necesaria para el desarrollo del presente trabajo fue suministrada por el Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) “Lic. Enrique B. Rodríguez”, Foto 1, perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL).

El CIM es una Unidad Operativa de Servicios de la Facultad en la que se realizan actividades de: actualización diaria y horaria de la información en la página web; operación y mantenimiento de la Estación Hidrometeorológica, de la Ciudad Universitaria; procesamiento y actualización de datos meteorológicos e hidrológicos básicos en un banco único de datos; aplicación de nuevas tecnologías en el desarrollo de instrumental para

captura de información hidrometeorológica de bajo costo; asesoramiento a diversos grupos de investigación y a organismos provinciales y/o

municipales en lo referente a nuevo equipamiento y sistemas de comunicaciones; apoyo didáctico a profesores y alumnos de diferentes estamentos.



Foto 1. Detalle de la estación meteorológica del CIM.

Como antecedente de este trabajo se consideran:

- El trabajo de Investigación realizado por Piccoli (2003): “Determinación de las curvas intensidad-duración-frecuencia a partir de los datos pluviométricos obtenidos en la estación meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas”, que utilizó la información pluviográfica de las fajas semanales para el período 1986–1999 y diarias del período 2000–2002.
- El trabajo de Investigación desarrollado por Marcus (2010): “Actualización de las curvas intensidad-duración-frecuencia a partir de los datos pluviométricos obtenidos en la estación meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas” se utilizó la información de las fajas diarias para el período 2003–2009 y los registros digitales de la estación automática Pegasus para el período 2007–2009.

La información pluviográfica utilizada en este trabajo se compone de:

- series de fajas semanales, período 1986–1999.
- series de fajas diarias, período 2000–2016.
- información pluviográfica digital, período 2007–2016.

Series de intensidades máximas para distintas duraciones

De acuerdo a la información recopilada, se seleccionó para cada año de la serie 1986–2016, la máxima precipitación registrada para distintas duraciones.

Para el período 1986–1999, se seleccionaron de las fajas semanales, por cada año de la serie, las máximas precipitaciones registradas en 1, 2, 4, 6, 12, 18 y 24 horas. Debido a la precisión en el paso de tiempo de los instrumentos de registro disponibles en dicho período, no fue posible determinar la precipitación máxima para duraciones menores a una hora (Piccoli, 2003).

Para el período 2000–2016, se seleccionaron de las fajas diarias, por cada año de la serie, las máximas

precipitaciones registradas en 10, 20 y 30 minutos y en 1, 2, 4, 6, 12, 18 y 24 horas. A partir del año 2007 se contrastó la información pluviográfica con la

digital. En función de las series de precipitaciones máximas se obtuvieron las series de intensidades máximas para cada duración (Tabla 1).

Tabla 1. Intensidades máximas ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) de la serie para cada duración.

Año	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h	4 h	6 h	12 h	18 h	24 h
1986	n/c	n/c	n/c	34.0	20.5	12.5	11.7	6.5	4.4	3.3
1987	n/c	n/c	n/c	14.0	10.0	9.5	9.2	7.2	5.3	4.3
1988	n/c	n/c	n/c	21.8	17.4	9.6	7.5	5.6	3.7	2.8
1989	n/c	n/c	n/c	29.0	19.5	12.5	9.8	7.3	4.9	3.7
1990	n/c	n/c	n/c	25.0	23.3	17.5	15.9	8.5	5.7	4.3
1991	n/c	n/c	n/c	17.0	12.0	7.8	6.0	4.6	3.3	2.5
1992	n/c	n/c	n/c	23.0	20.0	15.8	11.3	6.2	4.1	3.1
1993	n/c	n/c	n/c	33.0	28.5	20.8	16.5	10.5	7.6	6.8
1994	n/c	n/c	n/c	21.3	19.6	9.8	8.0	4.0	2.7	2.0
1995	n/c	n/c	n/c	21.0	17.5	14.5	13.0	7.5	5.8	5.2
1996	n/c	n/c	n/c	63.0	46.5	25.4	16.9	8.5	5.6	4.2
1997	n/c	n/c	n/c	42.0	33.8	18.1	12.1	11.3	7.5	5.6
1998	n/c	n/c	n/c	61.5	35.8	21.1	19.3	10.6	7.8	5.9
1999	n/c	n/c	n/c	20.0	16.5	16.0	12.8	9.2	6.9	6.3
2000	108.0	93.0	76.0	49.0	44.0	33.5	27.5	13.8	9.2	6.9
2001	36.0	30.0	24.0	21.0	18.3	14.9	13.5	7.1	4.8	3.6
2002	90.0	84.0	76.0	58.0	35.3	23.3	18.0	9.2	6.2	4.6
2003	90.0	75.0	75.0	61.5	37.8	20.2	13.9	7.1	4.7	3.5
2004	57.0	52.5	49.0	40.0	27.5	19.6	14.7	7.5	5.0	3.8
2005	63.0	55.5	46.5	41.3	33.1	20.1	16.0	10.9	7.4	5.6
2006	120.0	81.0	75.0	63.0	33.4	17.6	11.8	5.9	3.9	2.9
2007	84.0	56.3	45.5	45.0	27.0	17.1	14.2	12.9	8.8	6.6
2008	90.0	75.0	70.0	57.5	33.6	18.0	12.0	6.0	4.0	3.0
2009	118.5	99.8	89.5	62.8	35.6	21.9	16.3	11.1	7.5	5.6
2010	91.5	74.3	56.5	42.8	31.9	25.4	18.7	12.3	8.6	6.5
2011	124.5	102.8	80.5	60.8	34.5	23.0	18.0	10.6	7.2	5.4
2012	180.0	125.3	98.5	67.8	41.1	23.2	16.3	8.5	5.7	4.3
2013	112.5	90.8	82.5	65.0	48.0	29.8	20.7	11.3	7.5	5.6
2014	120.0	93.8	71.5	40.3	33.1	23.6	16.6	9.4	6.3	4.7
2015	148.5	113.3	91.5	59.8	43.1	26.8	21.8	12.9	8.8	6.6
2016	132.0	90.0	79.5	63.5	38.3	21.3	15.4	8.2	5.4	4.0

n/c: no calculado.

Análisis de frecuencia de intensidades máximas

El siguiente paso consistió en ajustar las series de intensidades de precipitación máximas a funciones de distribución de probabilidad mediante la aplicación del modelo de Análisis de Frecuencia Múltiples AFMULTI (Cacik y Paoli, 1996), para recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

El modelo AFMULTI utiliza el método de máxima verosimilitud para realizar el análisis de frecuencia

con 6 distribuciones estadísticas: Log Gauss, Gumbel, Valores Extremos Generalizados (GEV), Pearson, Log Pearson y Exponencial y la expresión de frecuencia empírica de Hazen (1930), Weibull (1951), Blom (1958) o Gringorten (1963), que se selecciona según el criterio del profesional.

Con las anteriores expresiones se halla la distribución empírica de una muestra, que se puede ajustar a una de las distribuciones teóricas presentadas anteriormente. Los resultados se dibujan en el papel de probabilidad y se puede verificar si la

secuencia de datos experimentales se ajusta a la distribución probabilística (teórica).

De acuerdo a Torres et al. (2012), la verosimilitud consiste en otorgar a un estimador/estimación una determinada "credibilidad" o una mayor apariencia de ser el cierto valor (estimación) o el cierto camino para conseguirlo (estimador).

En términos probabilísticos se puede hablar de que la verosimilitud es la probabilidad de que ocurra una determinada muestra si es cierta la estimación que se ha efectuado o el estimador que se ha decidido plantear. Evidentemente, la máxima verosimilitud, será aquel estimador o estimación que arroje la mayor credibilidad.

Para seleccionar la distribución estadística que mejor ajusta a las series de intensidades máximas el programa realiza la bondad de ajuste de cada distribución y calcula los errores cuadráticos medios en valores (ECMV) y en frecuencia (ECMF).

Determinación de las curvas IDF

La relación que liga o vincula la intensidad de la precipitación, su duración y su recurrencia se estudia mediante las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF), también llamadas curvas intensidad – duración – recurrencia (Témez, 1978 y Chow, 1994). Estas curvas muestran la probabilidad de ocurrencia de intensidades de lluvia en períodos cortos para distintas duraciones. A menudo se trata de un conjunto de curvas, cada una indicando una determinada frecuencia de ocurrencia o un período de retorno expresado en años (Varela et al., 2004).

Una definición más detallada es la propuesta por Mintegui y López (1990), quienes señalan que las curvas IDF representan a las duraciones en las abscisas y a la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas. Cada curva representada corresponde a una frecuencia (o periodo de retorno), de tal forma que las gráficas de estas curvas representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los puntos de una misma curva a un idéntico periodo de retorno.

Según Paoli et al. (2009), la recurrencia o tiempo o período de retorno (denotado con la letra T) de una magnitud dada de un determinado evento hidrológico es el intervalo de tiempo promedio, medido en años, entre eventos que igualan o exceden

dicha magnitud, al menos una vez, en una serie suficientemente larga.

Si se considera que la variable denotada como x representa el valor máximo anual de una determinada variable (por ejemplo, la precipitación), entonces la expresión $F(x)$ representa la probabilidad anual de que el valor de x no sea superado y la expresión $1 - F(x)$ representa la probabilidad anual de que el valor de la variable x sea alcanzado o superado.

En consecuencia, el período de retorno T resulta igual a la inversa de la probabilidad de excedencia que se expresa como $1 - F(x)$ (ecuación 1):

$$T = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (1)$$

Si la muestra de la variable se refiere a un año, un mes, o una estación, la recurrencia T estará referida a ese período y se cuenta en años, meses o estaciones climáticas.

Considerando los valores de período de retorno recomendados por la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina para el diseño de obras civiles viales (Fattorelli y Fernández, 2011), se decidió adoptar para el diseño de las curvas IDF recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Asimismo, la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés, 2008) de los Estados Unidos de Norteamérica, recomienda una recurrencia de 100 años como base para la toma de medidas de gestión y/o control de agua en llanuras o planicies de inundación. También recomienda un tiempo o período de retorno de 500 años para áreas circundantes con alto riesgo de vulnerabilidad.

La construcción de la familia de curvas IDF se puede realizar a partir de diferentes ecuaciones analíticas. Entre las más difundidas se encuentra la propuesta por Sherman (1931) (ecuación 2) que relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, pudiéndose extrapolar las mismas a zonas que carecen de registros pluviográficos y que se encuentran relativamente próximas entre sí:

$$I = \frac{kT^m}{(d + c)^n} \quad (2)$$

Donde I es la intensidad de la precipitación (en mm.h^{-1}), T es el período de retorno o recurrencia (en años), d es la duración de la tormenta (en minutos) y k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación o regresión lineal múltiple. Para ello la ecuación (2) es linealizada a través de la transformación logarítmica:

$$\log I = \log k + m \log T - n \log(d + c) \quad (3)$$

La cual puede re-expresarse como:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (4)$$

Donde: $y = \log I$, $a_0 = \log k$, $a_1 = m$, $x_1 = \log T$, $a_2 = -n$ y $x_2 = \log(d + c)$.

En esta última ecuación a_0 representa la ordenada al origen, a_1 es el espaciamiento entre curvas y a_2 corresponde a la pendiente.

Los datos de intensidad, duración y frecuencia obtenidos de la función de distribución de probabilidad con menores errores si se dibujan en un papel bilogarítmico generalmente se agrupan en torno a líneas rectas. En algunas situaciones las líneas resultan ligeramente curvas, lo cual se puede corregir agregando a las duraciones un valor constante del parámetro c (Aparicio, 1992).

Luego, al hacer un ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres tipos de datos, se obtiene un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\sum y = N a_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2$$

$$\sum (x_1 y) = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum (x_1 x_2) \quad (5)$$

$$\sum (x_2 y) = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum (x_1 x_2) + a_2 \sum x_2^2$$

En la primera ecuación N es número total de datos y las incógnitas son a_0, a_1, a_2 . Mientras que de acuerdo a (3) y (4) x_1, x_2 e y representan, respectivamente, los logaritmos del período de retorno, el binomio $(d+c)$ y la intensidad de la precipitación de la función de distribución de probabilidad adoptada.

En la segunda ecuación del sistema (5) $x_1 y$ es el producto de los logaritmos de la recurrencia T y de la intensidad de lluvia, x_2^2 es el cuadrado del logaritmo

de la recurrencia T y $x_1 x_2$ es el producto de los logaritmos de la recurrencia T y del binomio $(d+c)$.

En la tercera ecuación del sistema (5) $x_2 y$ es el producto de los logaritmos del binomio $(d+c)$ y de la intensidad de lluvia, x_2^2 es el cuadrado del logaritmo del binomio $(d+c)$.

El tamaño de la matriz de cálculo N se obtiene multiplicando las recurrencias T por las duraciones d , quedando así conformada una matriz de tamaño $T = N.d$.

La resolución del sistema de ecuaciones (5) se realizó utilizando el método de eliminación gaussiana, mientras que el valor c del binomio $(d+c)$ se determinó mediante tanteos sucesivos, adoptándose aquel valor para el cual se verificó el menor error entre la intensidad de lluvia obtenida de la distribución de probabilidad adoptada y aquella intensidad de lluvia calculada por la ecuación analítica ajustada.

Una vez calculados los coeficientes a_0, a_1 y a_2 se evaluaron los parámetros k, m y n de la ecuación analítica de ajuste (Aparicio, 1992).

RESULTADOS

Distribuciones Estadísticas representativas de las series de intensidades máximas

Se seleccionó la frecuencia de Hazen ($B = 0.5$) y luego de aplicar el programa AFMULTI a las series de intensidades máximas de diferentes duraciones (Tabla 1) se obtuvieron los estadísticos de las series (Tabla 2).

Tabla 2. Características estadísticas de las intensidades máximas.

Duración (minutos)	Media (mm/h)	Desvío (mm/h)	Coeficientes		
			Asimetría	Variación	Curtosis
10	103.70	34.78	0.13	0.34	2.71
20	81.60	23.77	-0.36	0.29	2.51
30	69.50	19.34	-0.86	0.28	2.62
60	42.30	16.83	-0.05	0.40	1.55
120	29.60	-10.06	0.19	-0.34	2.10
240	19.10	6.10	0.04	0.32	2.51
360	14.60	4.59	0.51	0.31	3.08
720	8.50	2.67	0.26	0.31	1.84
1080	5.70	1.85	0.39	0.32	2.16
1440	4.40	1.48	0.27	0.33	2.16

Considerando los valores de los errores cuadráticos medios de las frecuencias y de las variables, se seleccionó la distribución que permitió la mejor representación de los datos experimentales. En consecuencia, para duraciones de 10, 20, 30 minutos, 2, 4 y 6 horas se adoptó la distribución de Pearson y para

duraciones de 1, 12, 18 y 24 horas se seleccionó la distribución de los Valores Extremos Generalizados (Tabla 1 del Anexo).

La Tabla 3 muestra los valores de intensidad máxima obtenidos con la distribución de Pearson y de GEV para cada duración y recurrencia.

Tabla 3. Intensidad máxima (mm.h⁻¹) del análisis de frecuencia.

Período de retorno (años)	Duración (minutos)									
	10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440
2	103.0	83.0	72.3	42.1	30.0	19.0	14.3	8.3	5.5	4.3
5	132.7	101.9	86.1	57.4	38.2	24.1	18.3	10.8	7.2	5.7
10	148.7	111.0	91.8	65.2	42.3	26.8	20.6	12.3	8.3	6.4
25	166.1	120.1	97.1	73.1	46.6	29.7	23.3	14.0	9.5	7.3
50	177.5	125.7	99.9	77.8	49.3	31.6	25.1	15.2	10.3	7.8
100	187.9	130.5	102.2	81.7	51.6	33.3	26.7	16.3	11.1	8.3
200	197.5	134.7	104.0	84.9	53.8	34.8	28.3	17.2	11.8	8.7
500	206.4	138.6	105.6	88.3	55.7	36.3	29.8	18.4	12.7	9.2

Obtención de la expresión analítica de las curvas IDF

Los parámetros k , m , n y c de la ecuación analítica propuesta por Sherman y que permite relacionar simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas IDF, se determinaron a partir de los parámetros x_1 , x_2 e y , de sus sumas, cuadrados y productos, obteniendo la Tabla 2 del Anexo con 80 datos (resultado del producto de las 10 duraciones y las 8 recurrencias consideradas).

Sustituyendo los resultados de las sumatorias y luego de iteraciones sucesivas de c para obtener el menor error promedio global para todas las recurrencias y duraciones se adoptó un valor del parámetro c igual a 24.43, mientras que el sistema de ecuaciones (5) resultó igual a:

$$\begin{aligned} 124.1 &= 80.0a_0 + 121.0a_1 + 184.8a_2 \\ 193.0 &= 121.0a_0 + 230.0a_1 + 279.4a_2 \quad (6) \\ 266.2 &= 184.8a_0 + 279.4a_1 + 452.4a_2 \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones (6) por eliminación gaussiana:

$$a_0 = 3.21, a_1 = 0.11, a_2 = -0.79 \quad (7)$$

En consecuencia, los valores de los parámetros de la ecuación analítica (2) resultaron:

$$\begin{aligned} k &= 10^{a_0} = 10^{3.21} = 1632.27 \\ m &= a_1 = 0.11 \\ n &= -a_2 = 0.79 \end{aligned} \quad (8)$$

Finalmente, la ecuación analítica de la familia de curvas IDF resultó igual a:

$$I = \frac{1632.27T^{0.11}}{(d + 24.43)^{0.79}} \quad (9)$$

Donde I es la intensidad de la precipitación (en mm.h⁻¹), T es la recurrencia (en años) y d es la duración del evento (en minutos).

La Tabla 4 muestra las intensidades máximas obtenidas con la ecuación (9) para las duraciones y recurrencias analizadas.

En la Tabla 3 del Anexo se muestran los errores relativos de las intensidades máximas obtenidas por Pearson, GEV y las intensidades calculadas mediante la ecuación de ajuste de Sherman, encontrándose en el rango de 5.5% y 12.8%, siendo el promedio global de los errores de las diferentes recurrencias del orden del 7.3%.

Tabla 4. Intensidad máxima (mm.h⁻¹). Ecuación analítica de Sherman (1931).

Período de retorno (años)	Duración (minutos)									
	10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440
2	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4
5	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0
10	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5
25	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2
50	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8
100	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4
200	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1
500	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2

En la Figuras 1 y 2 se muestran, para cada recurrencia T , las curvas obtenidas a partir de la aplicación de la ecuación (9) para duraciones menores y mayores a 2 horas, respectivamente. Según puede observarse en las figuras, la intensidad decrece a mayor duración y a su vez, para cada

duración, se verifica una mayor intensidad a mayor período de retorno.

Para duraciones de tormentas menores e iguales a 10 minutos las intensidades de las precipitaciones superan, para todas las recurrencias, los 100 mm.h⁻¹.

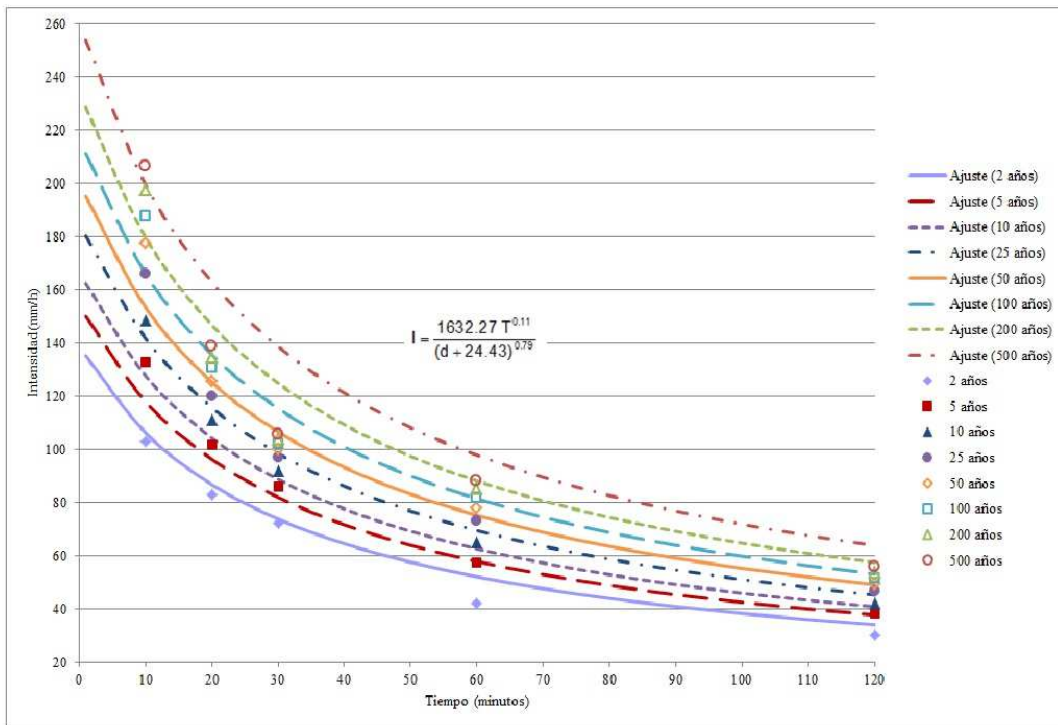


Figura 1. Curvas IDF para duraciones menores a 2 horas.

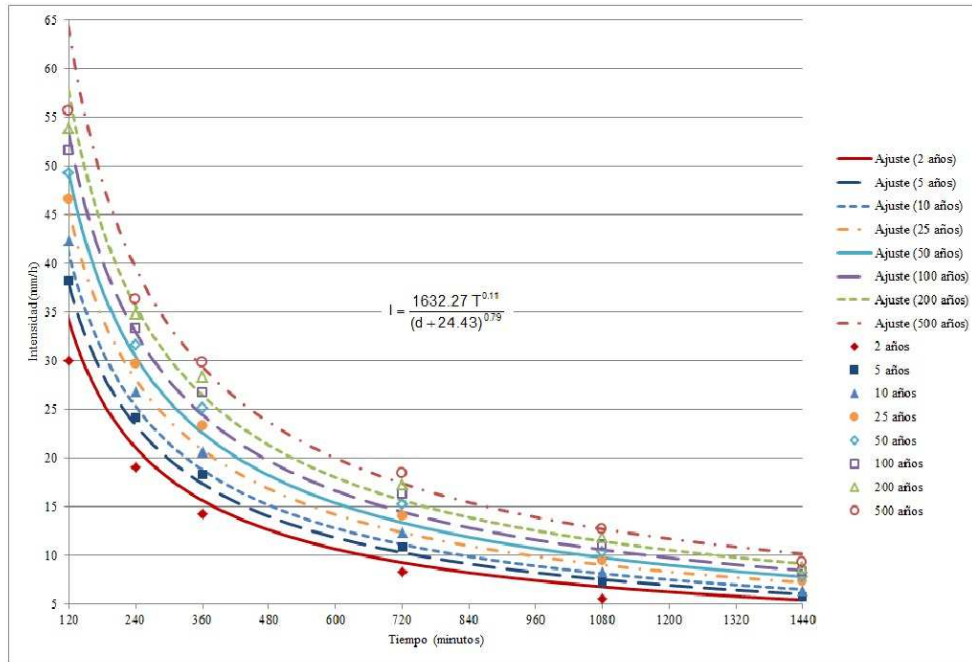


Figura 2. Curvas IDF para duraciones mayores a 2 horas.

Comparación con otras curvas IDF de estaciones cercanas

En la ecuación (10) se presenta la expresión analítica de las curvas IDF definidas por Bertoni et al. (2009) para la localidad de Rafaela para una serie de registros pluviográficos de 36 años:

$$I = \frac{1214.90T^{0.16}}{(d+17.48)^{0.76}} \quad (10)$$

Donde I es la intensidad de la precipitación (en mm.h^{-1}), T es la recurrencia (en años) y d es la duración del evento (en minutos).

Las curvas IDF obtenidas para la estación del CIM resultan similares a aquellas definidas para la localidad de Rafaela, verificándose diferencias porcentuales de las intensidades entre 2.1 y 20.8%, siendo el promedio global de los errores de las diferentes recurrencias del orden del 11%. Se observa asimismo que las diferencias porcentuales se incrementan a medida que aumenta la recurrencia.

Una situación similar se observa si se comparan las curvas IDF con aquellas generadas para la localidad

de Paraná por Zamanillo y Larenze (2008) para una serie de registros pluviográficos de 46 años, aunque las diferencias porcentuales se encuentran entre 7.1 y 34.9%, siendo el error promedio global del 18.8%. La expresión de ajuste analítico por Sherman de las curvas IDF de la localidad de Paraná se presenta en la ecuación (11):

$$I = \frac{601T^{0.23}}{(d+6)^{0.69}} \quad (11)$$

CONCLUSIONES

A partir del procesamiento de la información pluviográfica obtenida de la estación meteorológica perteneciente al Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM) “Lic. Enrique Rodríguez”, ubicada en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (FICH-UNL) fue posible actualizar hasta el año 2016 las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

Se determinó la ecuación de las curvas IDF por el método dado por Sherman y de la comparación de los resultados obtenidos con los de las distribuciones

teóricas de Pearson y GEV se obtuvieron errores relativos de entre 5.5 y 12.8%, siendo el promedio global de los errores de las diferentes recurrencias del orden del 7.3%.

Las curvas IDF diseñadas presentan intensidades menores a aquellas definidas para las localidades de Rafaela y Paraná, verificándose que las diferencias porcentuales se incrementan a medida que aumenta la recurrencia.

Se pretende continuar con esta línea de investigación, procurando una futura actualización de las curvas IDF-CIM-FICH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México, DF, Estados Unidos Mexicanos. Editorial Limusa. ISBN 968-18-3014-8.
- Bertoni, J. y Tucci, C. (2003). Inundaciones urbanas en América del Sud. Global Water Partnership. World Meteorological Organization. Porto Alegre, República Federativa del Brasil.
- Bertoni, J., Ganancias, F., Brarda, J., Tibaldo, O., Rudolf, C. y Verga, L. (2009). Actualización de Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia de la Ciudad de Rafaela (Provincia de Santa Fe, Argentina). II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Córdoba, República Argentina.
- Blom, G. (1958). Statistical Estimates and Transformed Beta-Variables. John Wiley & Sons Academic Publishing. Nueva York.
- Cacik, P. y Paoli, C. (1996). Modelo de Análisis de Frecuencia Múltiples AFMULTI. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.
- Chow, V. (1994). Hidrología Aplicada. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Series Mac Graw Hill Interamericana. ISBN 9789586001717.
- Collazos, G. y Cazenave, G. (2015). Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para el centro de la provincia de Buenos Aires. XXV Congreso Nacional del Agua. Paraná, República Argentina.
- Fattorelli, S. y Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico. Water Assessment & Advisory Global Network. Edición Digital.
- FEMA. (2008). Managing Floodplain Development Through The National Flood Insurance Program. Federal Emergency Management Agency. Publication E-273 / 08219-1. Washington, DC.
- Gringorten, I. (1963). A plotting rule for extreme probability paper. *Journal of Geophysical Research*, 68(3). American Geophysical Union. Washington, DC.
- Hazen, A. (1930). Flood Flows. A Study of Frequencies and Magnitudes. John Wiley & Sons Academic Publishing. Nueva York.
- Marcus, R. (2010). Actualización de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia a partir de los datos Pluviométricos obtenidos en la Estación Meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.
- Mintegui, J. y López, J. (1990). La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Vitoria, España. Editorial del Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). De la medición a la información hidrológica. Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I Hidrología. N° 168. Sexta edición.
- Paoli, C., Hammerly, R., Giacosa, R. y Cacik, P. (2009). Tormentas de Diseño con Datos Escasos – Situación de la localidad de Bariloche. II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Córdoba, República Argentina.
- Piccoli, N. (2003). Determinación de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia a partir de los datos Pluviométricos obtenidos en la Estación Meteorológica El Pozo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.
- Sherman, C. (1931). Frequency and Intensity of Excessive Rainfall at Boston, Massachusetts. American Society of Civil Engineers. Estados Unidos de Norteamérica.
- Témez, J. (1978). Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Dirección General de Carreteras. Madrid, España.
- Torres, J., Ordoñez, J. y Duque, R. (2012). Comparación de los métodos de Máxima Verosimilitud y L-Momentos en el análisis de Frecuencias en la Cuenca Alta del Río Magdalena. XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Barranquilla, Colombia.
- Varela, C., Entraigas, I. y Varni, M. (2004). Curvas intensidad – duración – frecuencia para diez años de datos pluviográficos en la ciudad de Azul, centro de la provincia de Buenos Aires. Instituto de Hidrología de Llanuras. Azul, República Argentina.

Weibull, W. (1951). A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. American Society of Mechanical Engineers (ASME). Journal of Applied Mechanics.

Zamanillo, E. y Larenze, E. (2008). Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos. Dirección de Hidráulica de Entre Ríos. Facultad Regional de Concordia. Universidad Tecnológica Nacional. ISBN 978-950-42-0109-0.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Marcus, R., Morresi, M. V., Elizalde Carrillo, E. R., Macor, J. L. y Cristina, I. M. (2019). Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la estación meteorológica del CIM-FICH. Serie 1986 – 2016. *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 41-57. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.118

Tipo de Publicación: ARTICULO.

Trabajo recibido el 07/03/2019 y aprobado para su publicación el 30/09/2019.

ANEXO 1: TABLAS

Tabla 1. Bondad de ajuste de las distribuciones.

Duración (minutos)	Error Cuadrático Medio	Distribución					
		Log Gauss	Gumbel	GVE	Pearson	Log Pear- son	Exponen- cial
10	Frecuencia	0.0674	0.0703	0.0549	0.0498	0.0546	0.1068
	Variable	7.58	7.93	6.34	5.70	6.45	12.77
20	Frecuencia	0.0754	0.0828	0.0501	0.0407	0.0485	0.1332
	Variable	6.38	7.22	4.16	3.28	4.01	10.74
30	Frecuencia	0.1111	0.1192	0.0674	0.0611	0.0675	0.1611
	Variable	7.59	8.35	4.13	3.57	4.22	11.17
60	Frecuencia	0.0752	0.0661	0.0542	0.0612	0.0554	0.1026
	Variable	6.47	6.57	4.28	4.37	4.40	8.62
120	Frecuencia	0.0891	0.0884	0.0518	0.0507	0.0553	0.1428
	Variable	3.00	3.23	1.74	1.74	1.76	4.71
240	Frecuencia	0.0536	0.0570	0.0335	0.0317	0.0346	0.0944
	Variable	1.27	1.45	0.76	0.69	0.75	2.42
360	Frecuencia	0.0353	0.0387	0.0350	0.0327	0.0336	0.0673
	Variable	0.63	0.70	0.58	0.57	0.57	1.38
720	Frecuencia	0.0622	0.0581	0.0518	0.0558	0.0571	0.1010
	Variable	0.61	0.69	0.56	0.58	0.53	1.01
1080	Frecuencia	0.0670	0.0647	0.0591	0.0892	0.0630	0.1040
	Variable	0.40	0.44	0.39	0.98	0.38	0.64
1440	Frecuencia	0.0849	0.0833	0.0735	0.0752	0.0766	0.1337
	Variable	0.46	0.49	0.42	0.41	0.42	0.64

Tabla 2. Determinación de los parámetros x_1 , x_2 e y por el método de Regresión Lineal Múltiple.

x_1	x_2	y	$x_1 y$	$x_2 y$	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$
2.70	1.54	2.31	6.25	3.56	7.28	2.36	4.15
2.30	1.54	2.30	5.28	3.53	5.29	2.36	3.54
2.00	1.54	2.27	4.55	3.49	4.00	2.36	3.07
1.70	1.54	2.25	3.82	3.46	2.89	2.36	2.61
1.40	1.54	2.22	3.10	3.41	1.95	2.36	2.15
1.00	1.54	2.17	2.17	3.34	1.00	2.36	1.54
0.70	1.54	2.12	1.48	3.26	0.49	2.36	1.07
0.30	1.54	2.01	0.61	3.09	0.09	2.36	0.46
2.70	1.65	2.14	5.78	3.53	7.28	2.71	4.45
2.30	1.65	2.13	4.90	3.51	5.29	2.71	3.79
2.00	1.65	2.12	4.23	3.49	4.00	2.71	3.30
1.70	1.65	2.10	3.57	3.46	2.89	2.71	2.80
1.40	1.65	2.08	2.91	3.43	1.95	2.71	2.30
1.00	1.65	2.05	2.05	3.37	1.00	2.71	1.65
0.70	1.65	2.01	1.40	3.31	0.49	2.71	1.15
0.30	1.65	1.92	0.58	3.16	0.09	2.71	0.50
2.70	1.74	2.02	5.46	3.51	7.28	3.01	4.68
2.30	1.74	2.02	4.64	3.50	5.29	3.01	3.99
2.00	1.74	2.01	4.02	3.49	4.00	3.01	3.47
1.70	1.74	2.00	3.40	3.47	2.89	3.01	2.95
1.40	1.74	1.99	2.78	3.45	1.95	3.01	2.43
1.00	1.74	1.96	1.96	3.41	1.00	3.01	1.74
0.70	1.74	1.94	1.35	3.36	0.49	3.01	1.21
0.30	1.74	1.86	0.56	3.23	0.09	3.01	0.52
2.70	1.93	1.95	5.25	3.75	7.28	3.71	5.20
2.30	1.93	1.93	4.44	3.72	5.29	3.71	4.43
2.00	1.93	1.91	3.82	3.68	4.00	3.71	3.85
1.70	1.93	1.89	3.21	3.64	2.89	3.71	3.27
1.40	1.93	1.86	2.61	3.59	1.95	3.71	2.69
1.00	1.93	1.81	1.81	3.50	1.00	3.71	1.93
0.70	1.93	1.76	1.23	3.39	0.49	3.71	1.35
0.30	1.93	1.62	0.49	3.13	0.09	3.71	0.58
2.70	2.16	1.75	4.71	3.77	7.28	4.66	5.83
2.30	2.16	1.73	3.98	3.74	5.29	4.66	4.97
2.00	2.16	1.71	3.43	3.70	4.00	4.66	4.32
1.70	2.16	1.69	2.88	3.66	2.89	4.66	3.67
1.40	2.16	1.67	2.33	3.60	1.95	4.66	3.02
1.00	2.16	1.63	1.63	3.51	1.00	4.66	2.16
0.70	2.16	1.58	1.11	3.42	0.49	4.66	1.51
0.30	2.16	1.48	0.44	3.19	0.09	4.66	0.65
2.70	2.42	1.56	4.21	3.78	7.28	5.87	6.54
2.30	2.42	1.54	3.55	3.73	5.29	5.87	5.57
2.00	2.42	1.52	3.04	3.69	4.00	5.87	4.84
1.70	2.42	1.50	2.55	3.63	2.89	5.87	4.12
1.40	2.42	1.47	2.06	3.57	1.95	5.87	3.39
1.00	2.42	1.43	1.43	3.46	1.00	5.87	2.42

Tabla 2. Determinación de los parámetros x_1 , x_2 e y por el Método de Regresión Lineal Múltiple (continuación).

x_1	x_2	y	$x_1 y$	$x_2 y$	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$
0.70	2.42	1.38	0.97	3.35	0.49	5.87	1.69
0.30	2.42	1.28	0.38	3.10	0.09	5.87	0.73
2.70	2.58	1.47	3.98	3.81	7.28	6.68	6.98
2.30	2.58	1.45	3.34	3.75	5.29	6.68	5.95
2.00	2.58	1.43	2.85	3.69	4.00	6.68	5.17
1.70	2.58	1.40	2.38	3.62	2.89	6.68	4.39
1.40	2.58	1.37	1.91	3.53	1.95	6.68	3.61
1.00	2.58	1.31	1.31	3.40	1.00	6.68	2.58
0.70	2.58	1.26	0.88	3.26	0.49	6.68	1.81
0.30	2.58	1.16	0.35	2.99	0.09	6.68	0.78
2.70	2.87	1.26	3.41	3.63	7.28	8.25	7.75
2.30	2.87	1.24	2.84	3.55	5.29	8.25	6.61
2.00	2.87	1.21	2.42	3.48	4.00	8.25	5.74
1.70	2.87	1.18	2.01	3.39	2.89	8.25	4.88
1.40	2.87	1.15	1.60	3.29	1.95	8.25	4.01
1.00	2.87	1.09	1.09	3.13	1.00	8.25	2.87
0.70	2.87	1.03	0.72	2.97	0.49	8.25	2.01
0.30	2.87	0.92	0.28	2.64	0.09	8.25	0.86
2.70	3.04	1.10	2.98	3.36	7.28	9.26	8.21
2.30	3.04	1.07	2.47	3.26	5.29	9.26	7.00
2.00	3.04	1.05	2.09	3.18	4.00	9.26	6.09
1.70	3.04	1.01	1.72	3.08	2.89	9.26	5.17
1.40	3.04	0.98	1.37	2.98	1.95	9.26	4.25
1.00	3.04	0.92	0.92	2.80	1.00	9.26	3.04
0.70	3.04	0.86	0.60	2.61	0.49	9.26	2.13
0.30	3.04	0.74	0.22	2.25	0.09	9.26	0.92
2.70	3.17	0.96	2.60	3.05	7.28	10.02	8.54
2.30	3.17	0.94	2.16	2.97	5.29	10.02	7.28
2.00	3.17	0.92	1.84	2.91	4.00	10.02	6.33
1.70	3.17	0.89	1.52	2.82	2.89	10.02	5.38
1.40	3.17	0.86	1.21	2.73	1.95	10.02	4.43
1.00	3.17	0.81	0.81	2.55	1.00	10.02	3.17
0.70	3.17	0.76	0.53	2.39	0.49	10.02	2.21
0.30	3.17	0.63	0.19	2.01	0.09	10.02	0.95
120.97	184.75	124.09	193.01	266.19	229.99	452.35	279.37

Tabla 3. Errores relativos entre las distribuciones de Pearson y GEV y la ecuación analítica de Sherman.

Recurrencia (años)	Intensidad (mm/h)	Duración (minutos)										Error relativo (%)	Promedio errores (%)
		10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440		
500	Analítico	206.4	138.6	105.6	88.3	55.7	36.3	29.8	18.4	12.7	9.2	10.4	
	Estadístico	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2		
	Error (%)	3.3	17.6	31.3	10.8	14.7	8.9	1.5	5.6	0.0	10.3		
200	Analítico	197.5	134.7	104.0	84.9	53.8	34.8	28.3	17.2	11.8	8.7	7.5	
	Estadístico	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1		
	Error (%)	9.0	9.0	20.1	3.8	7.0	2.3	6.5	9.0	3.1	5.1		
100	Analítico	187.9	130.5	102.2	81.7	51.6	33.3	26.7	16.3	11.1	8.3	5.9	
	Estadístico	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4		
	Error (%)	11.6	3.9	12.9	0.3	3.1	1.2	8.5	11.3	4.8	1.8		
50	Analítico	177.5	125.7	99.9	77.8	49.3	31.6	25.1	15.2	10.3	7.8	5.5	
	Estadístico	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8		
	Error (%)	13.6	0.3	6.8	3.3	0.3	3.8	10.0	12.1	5.2	0.1		
25	Analítico	166.1	120.1	97.1	73.1	46.6	29.7	23.3	14.0	9.5	7.3	6.1	
	Estadístico	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2		
	Error (%)	14.6	3.6	1.5	4.9	2.6	5.4	10.5	11.8	5.0	1.2		
10	Analítico	148.7	111.0	91.8	65.2	42.3	26.8	20.6	12.3	8.3	6.4	5.8	
	Estadístico	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5		
	Error (%)	14.1	6.0	3.3	3.9	3.3	5.6	8.8	9.6	2.1	1.5		
5	Analítico	132.7	101.9	86.1	57.4	38.2	24.1	18.3	10.8	7.2	5.7	4.6	
	Estadístico	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0		
	Error (%)	11.1	5.4	4.7	0.8	1.1	3.0	5.1	4.9	4.3	5.3		
2	Analítico	103.0	83.0	72.3	42.1	30.0	19.0	14.3	8.3	5.5	4.3	12.8	
	Estadístico	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4		
	Error (%)	3.2	4.6	2.2	23.8	13.5	10.8	9.4	11.5	23.0	25.7		

Tabla 4. Errores relativos entre las curvas IDF de las estaciones del CIM y Rafaela.

Recurrencia (años)	Intensidad (mm/h)	Duración (minutos)										Error relativo (%)	Promedio errores (%)
		10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440		
500	CIM	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2	20.8	
	Rafaela	263.9	208.8	174.6	120.6	78.2	48.7	36.5	22.0	16.3	13.1		
	Error (%)	24.4	21.9	20.6	18.9	18.3	18.8	19.5	21.0	22.0	22.7		
200	CIM	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1	17.6	
	Rafaela	228.5	180.8	151.2	104.4	67.7	42.1	31.6	19.0	14.1	11.4		
	Error (%)	21.4	18.8	17.4	15.6	15.0	15.5	16.2	17.8	18.8	19.6		
100	CIM	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4	15.1	
	Rafaela	204.9	162.1	135.6	93.7	60.7	37.8	28.3	17.1	12.6	10.2		
	Error (%)	19.0	16.3	14.9	13.0	12.4	13.0	13.7	15.3	16.4	17.2		
50	CIM	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8	12.5	
	Rafaela	183.8	145.4	121.6	84.0	54.5	33.9	25.4	15.3	11.3	9.1		
	Error (%)	16.5	13.8	12.3	10.4	9.8	10.3	11.1	12.7	13.8	14.7		
25	CIM	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2	9.9	11.0
	Rafaela	164.8	130.4	109.0	75.3	48.8	30.4	22.8	13.7	10.2	8.2		
	Error (%)	14.0	11.2	9.6	7.7	7.0	7.6	8.4	10.1	11.2	12.1		
10	CIM	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5	6.3	
	Rafaela	142.7	112.9	94.4	65.2	42.3	26.3	19.7	11.9	8.8	7.1		
	Error (%)	10.5	7.6	6.0	4.0	3.3	3.9	4.7	6.5	7.7	8.6		
5	CIM	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0	3.4	
	Rafaela	128.0	101.2	84.7	58.5	37.9	23.6	17.7	10.7	7.9	6.4		
	Error (%)	7.8	4.8	3.1	1.1	0.4	1.0	1.8	3.6	4.9	5.8		
2	CIM	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4	2.1	
	Rafaela	110.8	87.7	73.3	50.6	32.8	20.4	15.3	9.2	6.8	5.5		
	Error (%)	4.1	1.0	0.8	2.9	3.6	3.0	2.2	0.3	1.0	2.0		

Tabla 5. Errores relativos entre las curvas IDF de las estaciones del CIM y Paraná.

Recurrencia (años)	Intensidad (mm/h)	Duración (minutos)										Error relativo (%)	Promedio errores (%)
		10	20	30	60	120	240	360	720	1080	1440		
500	CIM	199.5	163.0	138.7	97.9	63.9	39.5	29.4	17.4	12.7	10.2	34.9	
	Paraná	370.5	265.0	211.7	139.4	89.2	56.2	42.7	26.6	20.2	16.6		
	Error (%)	46.1	38.5	34.5	29.8	28.4	29.7	31.3	34.8	37.1	38.7		
200	CIM	179.7	146.8	124.9	88.2	57.6	35.6	26.4	15.6	11.4	9.1	27.6	
	Paraná	300.1	214.7	171.5	112.9	72.3	45.5	34.6	21.6	16.3	13.4		
	Error (%)	40.1	31.6	27.2	21.9	20.3	21.8	23.6	27.5	30.0	31.8		
100	CIM	166.1	135.6	115.4	81.5	53.2	32.9	24.4	14.5	10.6	8.4	21.5	
	Paraná	255.9	183.0	146.2	96.2	61.6	38.8	29.5	18.4	13.9	11.4		
	Error (%)	35.1	25.9	21.1	15.4	13.7	15.3	17.2	21.4	24.2	26.1		
50	CIM	153.4	125.3	106.7	75.3	49.1	30.4	22.6	13.4	9.8	7.8	15.0	
	Paraná	218.2	156.1	124.7	82.1	52.5	33.1	25.2	15.7	11.9	9.8		
	Error (%)	29.7	19.7	14.5	8.3	6.5	8.2	10.3	14.8	17.8	20.0		
25	CIM	141.8	115.8	98.5	69.5	45.4	28.1	20.9	12.3	9.0	7.2	8.1	18.8
	Paraná	186.0	133.1	106.3	70.0	44.8	28.2	21.5	13.4	10.1	8.3		
	Error (%)	23.8	13.0	7.3	0.6	1.4	0.5	2.8	7.7	10.9	13.3		
10	CIM	127.7	104.3	88.8	62.6	40.9	25.3	18.8	11.1	8.1	6.5	7.1	
	Paraná	150.7	107.8	86.1	56.7	36.3	22.9	17.4	10.8	8.2	6.7		
	Error (%)	15.2	3.2	3.1	10.5	12.7	10.6	8.1	2.6	0.9	3.5		
5	CIM	118.0	96.4	82.0	57.9	37.8	23.4	17.4	10.3	7.5	6.0	12.7	
	Paraná	128.5	91.9	73.4	48.3	30.9	19.5	14.8	9.2	7.0	5.7		
	Error (%)	8.1	4.9	11.7	19.8	22.2	19.9	17.2	11.2	7.3	4.5		
2	CIM	106.3	86.8	73.9	52.1	34.0	21.1	15.6	9.3	6.8	5.4	23.5	
	Paraná	104.1	74.4	59.5	39.1	25.1	15.8	12.0	7.5	5.7	4.7		
	Error (%)	2.1	16.6	24.2	33.2	35.9	33.3	30.3	23.7	19.4	16.2		

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EFECTO HIDROLÓGICO DE CUBIERTAS VERDES PARA SU UTILIZACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL GRAN RESISTENCIA

Néstor Holsbach, Jorge Pilar^(*), Claudia Pilar

Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco, Argentina.

^(*)e-mail: jvpilar@gmail.com

RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares de un estudio sobre modelo físico, referidos a la eficacia y eficiencia hidrológicas de cubiertas verdes para su utilización en el Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR), Chaco. Las cubiertas verdes de tipo extensivas son sistemas que se colocan sobre techos tradicionales para disminuir los efectos de la impermeabilización del suelo urbano, buscando laminar los hidrogramas de escurrimiento que se generan. Están compuestas por varias capas construidas con distintos elementos, con características y propiedades diferentes, estando la capa superior constituida por un sustrato orgánico, de poco espesor, que permite el crecimiento de vegetación de bajo porte y por el que recibe el nombre de cubiertas verdes. El aumento de la impermeabilización asociada a la creciente urbanización, la baja pendiente natural del terreno y su localización en una zona de riesgo hídrico hacen propicia la implementación de este sistema en las ciudades que conforman el Área Metropolitana del Gran Resistencia como una medida de mitigación que permitiría minimizar los efectos de precipitaciones de elevada intensidad, reduciendo y retardando el agua de escurrimiento directo, colaborando a evitar (o por lo menos minimizar) los anegamientos provocados por las lluvias. En el presente trabajo se buscó evaluar cualitativa y cuantitativamente el efecto de este tipo de techos. Para ello, se construyó un modelo físico de la cubierta extensiva, utilizándose además otra de tipo plana tradicional como contraste. Los resultados preliminares obtenidos mostraron un notorio efecto amortiguador y retardador del escurrimiento de este tipo de cubiertas.

Palabras Clave: Techos verdes, drenaje pluvial urbano, hidrología urbana.

ABSTRACT

Preliminary results of a study on a physical modeling referred to hydrologic effectiveness and efficiency are presented herefor use in the Greater Resistencia Metropolitan Area (AMGR), Chaco. Extensive green roofs are systems that are placed on traditional roofs to reduce the effects of waterproofing of urban land in order to laminate runoff hydrograms they generate. They are composed of several layers built with different elements, having different characteristics and properties, the upper layer consisting of an organic substrate, and thin thickness, which allows growth of low size vegetation and for what are known green roofs. Increasing on waterproofing associated to urbanization, the low natural slope of the land and its location in an area of water risk makes it conducive implementing this system in the cities making up Great Resistencia Metropolitan Area, as a mitigation measure that would minimize effects of high intensity rainfall, thus reducing and delaying direct runoff water, helping to avoid (or at least minimize) flooding caused by rainfall. The aim of this work was evaluate qualitatively and quantitatively effects of this type of roofing. To do this, a physical model of the extensive roof was constructed, by using a traditional flat roof as a comparison. Preliminary results obtained showed an important damping and retarding effect of the runoff of this type of roof.

Key words: Green roofs, urban storm drainage, urban hydrology.

INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista hidrológico, el crecimiento de la urbanización se ve reflejado en el incremento de áreas impermeables, lo que provoca un mayor volumen de escurrimiento superficial, un aumento del caudal de pico de ese escurrimiento, además de una aceleración de ese proceso.

Ello tiene un efecto significativo en muchas de las grandes ciudades de la región NEA, especialmente las que se localizan en áreas planas, con drenaje complejo, que ante la ocurrencia de precipitaciones intensas (inclusivo de algunas de mediana intensidad) quedan paralizadas por los anegamientos producidos. Y esto se torna preocupante en el contexto de cambio climático por el que se está transitando.

Como respuesta a esta problemática, algunas ciudades, siguiendo la tendencia internacional liderada por Francia y ciudades como Copenhague o Barcelona, dictaron normativas que promueven el uso de los denominados techos verdes.

Tal es el caso de Buenos Aires, que promulgó en 2012 la Ley 4428 de Techos y Terrazas Verdes (Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2012); esta iniciativa fue incluida posteriormente en el Código de Edificación de la Ciudad (CE). También la ciudad de Córdoba promulgó una normativa similar en el año 2016, cuyos términos originales fueron flexibilizados por la oposición de los promotores inmobiliarios.

Sin embargo, en la Región NEA aún no se han puesto en vigencia normativas similares, a pesar que ciudades como Resistencia han sido pioneras en el uso obligatorio de medidas no estructurales y de mitigación como parte del abordaje de la problemática del drenaje pluvial urbano (Depettris y Pilar, 2001).

El Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR) se localiza sobre la Llanura Chaco-Pampeana, sobre la margen derecha del río Paraná, a un par de decenas de kilómetros de la desembocadura del río Paraguay, en una zona de alto riesgo de inundaciones fluviales. Muestra una urbanización que crece a una tasa del orden de 2 hectáreas por semana (Scornik, 1998), no siempre planificada adecuadamente, lo que sumado a la baja energía del relieve (pendiente regional inferior a 10cm/km) son condiciones de contexto que hacen propicia la implementación de los techos verdes, que en ese escenario complejo podrían servir como gran

ayuda en la búsqueda de un sistema de drenaje pluvial urbano eficaz y eficiente.

El aumento de la impermeabilización asociada a la creciente urbanización provoca una reducción de la infiltración, de la percolación, del escurrimiento subsuperficial y del subterráneo, incrementando el volumen de escurrimiento superficial.

Entonces, el uso generalizado de los techos verdes permitiría minimizar los efectos de precipitaciones de elevada y mediana intensidad, reduciendo y retardando el agua de escurrimiento directo, mitigando los anegamientos por lluvias de calles, veredas y lotes urbanos (Depettris y Pilar, 2001).



Figura 1. Localización del Área Metropolitana del Gran Resistencia (Fuente: imágenes de Google Earth intervenidas gráficamente por los autores).

La construcción de cubiertas verdes permitiría retardar el flujo del agua de los techos hacia la red colectora pluvial, como consecuencia de la absorción radicular y del efecto almacenador del manto de tierra.

Por lo expuesto, queda claro que los techos verdes constituyen una estrategia constructiva alternativa que redundará en beneficios ambientales, paisajísticos y también técnicos.

Si bien este tipo de cubiertas es mencionado en numerosas publicaciones, no es fácil encontrar datos cuantitativos de sus efectos desde una óptica hidrológica.

Un esquema de funcionamiento sería como el mostrado en la Figura 2.

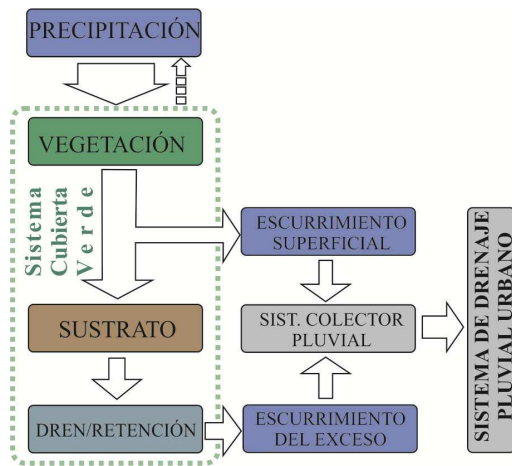


Figura 2. Esquema de funcionamiento hidrológico de una cubierta tipo extensiva (Fuente: elaboración propia).

La norma IRAM N° 11.649 define al techo como: “el sistema de uno o más elementos que cierra o que cubre la parte superior de un edificio, contribuyendo a crear una determinada situación de uso y manteniéndolo frente a una determinada situación ambiental”. Por lo tanto, es una de las partes del edificio, al igual que las paredes, que suministran protección contra los agentes externos (Chandías y Ramos, 2009). Este sistema está compuesto principalmente por dos elementos fundamentales: la cubierta, constituida por materiales resistentes a las variaciones térmicas e hidráulicas, y la estructura, que le brinda estabilidad para soportar los esfuerzos externos.

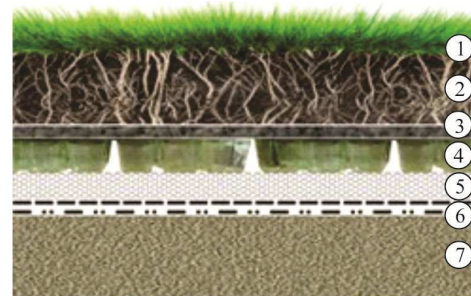
Las cubiertas verdes tipo extensivas (o ecológicas) son sistemas para construir techos, compuestas por varias capas elaboradas con diferentes elementos, con características y propiedades distintas. Según Britto Correa (2001) la configuración básica de las capas es la siguiente:

- Vegetación: deben ser especies que se adapten a las condicionantes impuestas por el clima, de baja profundidad radicular, tapizantes, autorregenerativas; las recomendadas son las del género Sedum (suculentas) y Gramíneas.
- Sustrato vegetal o inorgánico: capaz de brindar nutrientes a la vegetación a implantar y retener agua en sus poros. El espesor de la capa varía entre 8 a 10 cm, aproximadamente.
- Filtro geotextil: membrana que impide el paso de los granos finos del sustrato y permite el drenaje del agua.
- Capa de drenaje: manto que extrae el exceso de

agua del sustrato.

- Aislamiento térmico: aplicado para atender las necesidades térmicas del edificio.
- Protección contra raíces: evita el ingreso de las raíces al sistema estructural del techo.
- Lámina de impermeabilización: protege al edificio del ingreso de agua a través del techo.
- Estructura resistente: sostén de la cubierta dimensionada para soportar el peso de las capas superiores y eventuales sobrecargas.

En la Figura 3 se puede observar una sección típica de una cubierta ajardinada, en donde se representa cada componente de la misma.



Referencias: 1. Vegetación; 2. Sustrato; 3. Capa filtrante; 4. Capa drenante; 5. Aislamiento Térmico; 6. Barrera anti-raíces y barrera hidráulica y 7. Estructura portante.

Figura 3. Componentes de una cubierta verde tipo extensiva.

Este tipo de superficies presenta ventajas que benefician al entorno urbano y a la obra arquitectónica (Pilar et al., 2009). Algunos de los beneficios más relevantes según Machado et al. (2000) son:

- Retención de polvo y sustancias contaminantes propias de las ciudades.
- Incremento de la superficie verde en ciudades.
- Protección contra la radiación solar en edificios.
- Aumento de la eficacia térmica de la cubierta.
- Absorción del ruido.
- Reducción del efecto de la “isla de calor”.
- Reducción de la carga de agua en las canalizaciones, de los costos de depuración de aguas residuales y minimización de los riesgos de inundación en las ciudades.

Los objetivos del presente trabajo fueron analizar los efectos de la incorporación de vegetación en techos para disminuir el impacto ambiental de las superficies construidas en los entornos urbanos, minimizando las consecuencias hidrológicas de la

impermeabilización creciente en las ciudades. Para ello, se buscó evaluar cualitativa y cuantitativamente los efectos de este tipo de cubiertas en caso de ser empleadas en el AMGR.

Se recurrió a un modelo físico de la cubierta extensiva elaborado al efecto, construido con materiales alternativos, pero con características similares a los ofrecidos en el mercado, dado que aún no se encuentran disponibles en la región materiales específicos o que resultan muy onerosos, por la baja o nula utilización de este tipo de cubiertas. Los resultados preliminares obtenidos mostraron un interesante efecto retardador de escurrimiento de este tipo de cubiertas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un modelo físico que representa una porción de la cubierta extensiva, de 30 cm de ancho por 40 cm de largo y 15.5 cm de espesor. El recipiente de contención fue de PVC transparente, de 42 litros de capacidad, en el cual se realizaron perforaciones en un extremo para permitir el drenaje. Se le dio una pendiente de fondo de 2 cm/m, semejante a las pendientes utilizadas en las cubiertas planas tradicionales (losas), y se utilizó una de estas cubiertas planas como contraste.

El modelo se ejecutó con los siguientes materiales: goma espuma en lámina, de 5 mm de espesor, que cumple con la función de filtrar el agua evitando la erosión del sustrato; celdas de cultivo de polietileno reciclado, de 45 mm de alto, cuya finalidad fue retener una parte del agua infiltrada y drenar el resto; sustrato orgánico de la región (tierra negra), de 100 mm de espesor. Para la vegetación se optó por el uso de césped (Figura 4).

Los dos primeros elementos constituyentes son de características similares a los ofrecidos en el mercado (aunque no en el comercio local), dado que aún no se encuentran disponibles en la región materiales específicos, por la baja (casi nula) utilización de este tipo de cubiertas.

Para la construcción del modelo físico se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Se perforó del recipiente contenedor en su cara menor (la de 30 cm de longitud).
- 2) Se colocó la lámina de espuma de poliuretano (goma espuma) sobre el fondo del recipiente.

3) Se ubicó el sistema de drenaje-retención sobre la capa anterior.

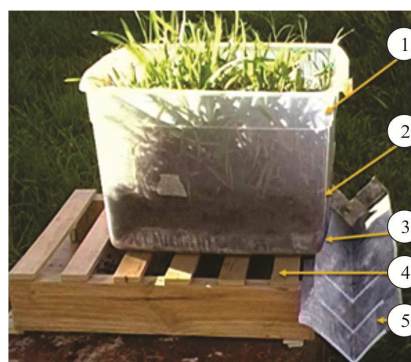
4) Nuevamente se colocó otra capa de goma espuma.

5) Se distribuyó el sustrato (tierra negra vegetal) de forma suelta, esparciéndola manualmente en capas de 2 cm aproximadamente hasta lograr el espesor de 8 cm.

6) Se sembraron 6 gramos de semillas de césped (50 gramos/m²).

7) Finalmente, se agregaron otros 2 cm de suelo vegetal, para completar los 10 cm de capa del sustrato.

En la Figura 4 se muestra el modelo físico utilizado.



Referencias: 1. Recipiente de PVC 30 x 40 cm; 2. Porción de cubierta naturada; 3. Perforaciones de drenaje; 4. Base de madera para pendiente y 5. Canaleta con fajas graduadas.

Figura 4. Modelo físico utilizado.

Se realizaron 5 ensayos consecutivos, de 2 minutos de duración cada uno. En todos ellos se simuló una precipitación de 4 litros, sobre la superficie de 0.123 m² y se midieron los caudales drenados. En un recipiente se captó el agua filtrada en cada experiencia (Figura 5).

La misma operación se realizó sobre una cubierta plana impermeable (losa), para la cual se registró el hidrograma de escurrimiento directo. Posteriormente, se compararon ambos hidrogramas y se analizaron sus parámetros característicos: tiempo de base, caudal pico y el tiempo en el que éste se produce.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos de la simulación en modelo físico se pueden apreciar en la Figura 6.

Se puede notar una diferencia marcada en los hidrogramas de escurrimiento de la losa y de la cubierta verde:

- Cubierta de losa plana: tiempo base 119 segundos; tiempo al pico 11 segundos; con respecto al caudal pico el mismo es de 81.8 cm³/s.
- Cubierta verde: tiempo base 480 segundos (incremento del 400%); tiempo al pico 30 segundos (incremento de 273%); caudal pico 17 cm³/s (reducción de 79.2%).



Figura 5. Ensayo en modelo físico: dispositivo simulador de lluvia (parte superior); canaleta y recipiente receptor (parte inferior).

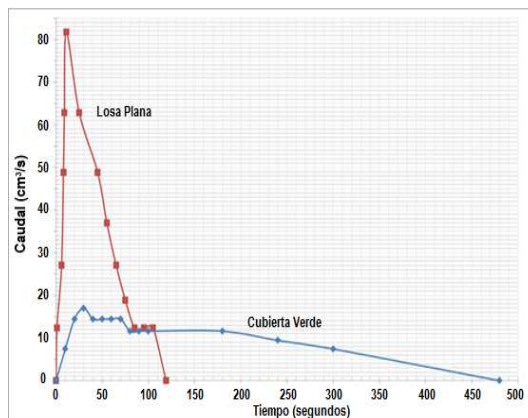


Figura 6. Comparación de hidrogramas de escurrimiento directo de los dos tipos de cubierta ensayados.

Se observó en el primer ensayo realizado sobre la cubierta ecológica una diferencia entre el volumen drenado y el precipitado de 1.1 litros, equivalente a una capacidad de retención de 8.94 litros por metro cuadrado. Esta diferencia podría explicarse por

efectos físico-químicos de retención y/o evapotranspiración de la cubierta vegetal.

En los ensayos siguientes no se registraron diferencias, debido a que los sustratos del modelo se encontraban en condición de saturación.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los ensayos realizados hasta el momento, se podría afirmar que las cubiertas verdes son eficaces, habiendo mostrado incrementos significativos de los tiempos de base y al pico del hidrograma, o sea un importante retardo el escurrimiento de las aguas de lluvia y, por lo tanto, su aplicación sería beneficiosa para morigerar los problemas relacionados con la creciente impermeabilización de las ciudades que integran el AMGR.

Sin embargo, se considera que los resultados se podrían refinar cuantitativamente, debido a que no se tuvo en cuenta la reducción de la porosidad del sustrato a causa de la precipitación y las condiciones de borde del modelo, el cual no representa fielmente la realidad.

Se realizó una continuidad del presente trabajo incorporando un simulador de lluvia y la utilización de otros tipos de variedades vegetales y diferentes pendientes de cubierta. Los resultados se están procesando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Britto Correa, C. (2001). Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, España.
- Chandías, M. E. y Ramos, J. M. (2009). *Introducción a la construcción de edificios*. Editorial Alsina. Buenos Aires, República Argentina. 320 pág.
- Depettris, C. A. y Pilar, J. V. (2001). Uso de Medidas No Estructurales para controlar el Aumento de las Áreas Impermeables en la Ciudad de Resistencia. In I Seminario de Drenagem Urbano Do MERCOSUR - V Seminario Nacional de Drenaje Urbano: Soluções para a Drenagem Urbana em países da América Latina. Porto Alegre, RS, Brasil.

- Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2012). Ley 4428. Disponible en <http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley4428.html>.
- Machado, M., Brito, C. y Neila, J. (2000). La cubierta ecológica como material de construcción. *Informes de la Construcción*. 52(467), 15-29.
- Pilar, C. A., Cáceres, M. y Boscarino, L. (2009). Estudio de las condicionantes tecnológicas, económicas y culturales para el diseño de techos verdes. In: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas Anuales 2009. FAU UNNE. Página 47 a 50. Corrientes. ISSN 1666-4035.
- Scornik, C. (1998). Diagnóstico urbano expeditivo del A.M.G.R. SUPCE, Chaco. Informe de consultoría.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO:

- Holsbach, N., Pilar, J. y Pilar, C. (2019). Estudio experimental del efecto hidrológico de cubiertas verdes para su utilización en el área metropolitana del Gran Resistencia. *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 59-64. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.121

Tipo de Publicación: ARTÍCULO.

Trabajo recibido el 24/09/2019 y aprobado para su publicación el 05/11/2019.

CARACTERIZACIÓN DE DESASTRES NATURALES Y TECNOLÓGICOS CON ÉNFASIS EN DESASTRES HIDROLÓGICOS

Carlos Scuderi^{(1)(*)}, Raúl Postiglione⁽¹⁾, Gerardo Riccardi⁽¹⁾⁽²⁾ y Hernán Stenta⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Hidráulica y Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Rosario. Santa Fe. Argentina

⁽²⁾Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario. Rosario. Santa Fe. Argentina

(*)e-mail: cscuderi@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo da un panorama sobre los desastres asociados a factores naturales y tecnológicos. Se usa la base de datos EM-DAT de la Universidad de Louvain (Bélgica), que cuenta con datos desde el año 1900 hasta el 2018. Los desastres naturales prevalecen sobre los tecnológicos, respecto de la cantidad la relación es 66% a 34%, en cuanto a víctimas fatales los registros indican que el 93.2% está generado por desastres naturales, con relación a la cantidad de afectados la participación de los desastres de origen natural asciende al 99.8% y al considerar las pérdidas materiales los desastres naturales aportan el 99.2%. Además, se obtuvieron los siguientes resultados: a) respecto de la cantidad, los desastres hidrológicos ocupan el primer lugar, con un 38% a nivel mundial, 57% en Sudamérica y 58% en Argentina; b) en cuanto a cantidad de víctimas fatales, a nivel mundial los desastres climatológicos explican el 36%, mientras que en Sudamérica y Argentina son los geofísicos los que generan el 68% y el 87%, respectivamente; c) considerando los afectados, los desastres hidrológicos producen el 48% a nivel mundial y el 95.7% en Argentina, mientras que los climatológicos generan el 47% en Sudamérica; y d) respecto de las pérdidas económicas, en el mundo los desastres meteorológicos aportan el 44%, en Sudamérica los geofísicos generan el 42% y en Argentina los hidrológicos producen el 74%. En Argentina los desastres hidrológicos son los de mayor ocurrencia, los que producen la mayor cantidad de afectados y de pérdidas económicas, no así respecto a víctimas fatales, que contribuyen “solo” con el 8%. Cabe destacar la importancia de las políticas de planificación del uso del recurso hídrico así como también la gestión previa, durante y posterior a la ocurrencia de los desastres hídricos.

Palabras clave: desastres naturales y tecnológicos, desastres hidrológicos, bases de datos de desastres.

ABSTRACT

This work gives an overview of disasters associated with natural and technological factors. The EM-DAT database of the University of Louvain (Belgium) is used, which has data from 1900 to 2018. Natural disasters prevail over technological ones, with respect to the amount the ratio is 66% to 34%, as for fatal victims, the records indicate that 93.2% is generated by natural disasters, in relation to the number of affected the participation of disasters of natural origin amounts to 99.8% and when considering material losses natural disasters contribute 99.2%. In addition, the following results were obtained: a) regarding the quantity, hydrological disasters occupy the first place, with 38% worldwide, 57% in South America and 58% in Argentina; b) in terms of the number of fatalities, global climate disasters account for 36%, while in South America and Argentina it is the geophysicists who generate 68% and 87%, respectively; c) considering those affected, hydrological disasters produce 48% worldwide and 95.7% in Argentina, while the weather generated 47% in South America; and d) regarding the economic losses, in the world the meteorological disasters contribute 44%, in South America the geophysicists generate 42% and in Argentina the hydrological ones produce 74%. In Argentina, hydrological disasters are those with the highest occurrence, which produce the greatest number of people affected and economic losses, but not with respect to fatalities, who contribute “only” with 8%. It is important to highlight the importance of water resource use planning policies as well as the management pre, during and after the occurrence of water disasters.

Keywords: natural and technological disasters, hydrological disasters, disaster databases.

INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la historia del hombre, la especie humana ha evolucionado en un entorno hostil donde convive con eventos catastróficos o desastres que generan impactos con diferente grado de severidad, entre ellos se pueden citar las erupciones volcánicas, hambrunas, incendios, inundaciones, terremotos, tormentas, tsunamis, guerras, plagas, enfermedades, etc. De acuerdo a la ONU (2016), un desastre es la disrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad en cualquier escala debida a fenómenos peligrosos que interaccionan con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad, ocasionando uno o más de los siguientes daños: pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y ambientales.

Si se consideran los registros históricos recientes de ocurrencia de desastres, las fuentes consultadas (Pletcher, 2011; Davies, 2013; Courtney, 2014; Masa, 2018) coinciden en que el evento catastrófico que ocasionó la mayor cantidad de pérdida de vidas humanas fue la inundación producida por los desbordes del río Yangtzé (China) en 1931. El número de víctimas fatales directas ascendió a más de 300000 personas, mientras que por diversas causas posteriores relacionadas con estas crecidas extraordinarias dicho número fluctuó entre 420000 y 25 millones, siendo una cantidad de difícil determinación. Por otra parte, los efectos del evento se extendieron por un lapso de un año, sobre un área de 181000 km² provocando una cantidad de damnificados directos e indirectos que ascendió a 52 millones de personas.

Respecto de este mismo suceso, el número de víctimas fatales informado en la base de datos del CRED (por sus siglas en inglés Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) es de 3.7 millones de personas. Precisamente se hace referencia a esta base de datos en particular porque es la que se utiliza en este trabajo como fuente de información.

En la catástrofe mencionada es evidente la complicación que se plantea cuando se precisa conocer con exactitud su impacto o grado de afectación (extensión geográfica y temporal, número de víctimas directas o indirectas, cantidad de afectados, desplazados y personas sin hogar, pérdidas económicas, etc.). Mas aún, la tarea del registro detallado y preciso de la afectación de cada evento resulta compleja (IRDR, 2014), independientemente de su dimensión.

Sumado al concepto anterior y de acuerdo a lo señalado por IRDR (2014), junto al continuo crecimiento de los impactos de los desastres naturales en todo el mundo se verifica, durante el siglo pasado y los primeros años del actual, un incremento significativo en el registro de la ocurrencia de los mismos.

Con el objeto de estudiar con mayor detalle los impactos derivados de los desastres, IRDR (2014) propone analizar diferentes dimensiones: efectos humanos (desplazamientos, pérdida de la vivienda, víctimas fatales), ambientales (pérdida de bañados, desertificación) y económicos (daños de la propiedad y de los cultivos). IRDR (2014) sostiene que la comprensión y el registro sistematizado de dichos impactos es fundamental para tomar decisiones y generar, establecer e implementar las políticas tendientes a la reducción del riesgo de desastres.

En este sentido, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) está trabajando con los gobiernos para generar bases de datos de desastres como parte del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 – 2030 (ONU, 2015; CRED, 2018).

El Marco de Sendai tiene por objetivo reducir las pérdidas por desastres, procurando disminuir los niveles de riesgo, evitar la creación de nuevos riesgos y gestionar los riesgos que no pueden eliminarse. Para ello recomienda diferentes propuestas a ser consideradas como: instituciones que gestionen el riesgo de desastres, regulaciones sobre el uso de la tierra, nuevos códigos de construcción, preservación de ecosistemas, el desarrollo urbano basado en el riesgo y la atención de las necesidades de los sectores más vulnerables (ONU, 2015; CRED, 2018).

CRED (2018) destaca la existencia de una “brecha” entre el nivel de protección ante desastres de países ricos y pobres, dado que las pérdidas económicas se concentran en los países de altos ingresos mientras que las víctimas fatales se asocian a los países de bajos ingresos. Estudios realizados indican que en países con bajos ingresos la tasa de víctimas fatales por millón de habitantes (que viven en zonas vulnerables) es de 130, mientras que en países con altos ingresos esta tasa disminuye a 18, por lo tanto la gente expuesta a desastres naturales en países pobres tiene 7 veces más probabilidades de morir respecto que la gente que habita zonas vulnerables en países ricos.

Recientemente, se han hecho avances significativos en cuanto al registro de la documentación de las pérdidas producidas por los desastres naturales. Estos avances se reflejan en el mayor número de países que implementaron bases de datos de pérdidas por desastres, ya sea a través de organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, académicas y/o privadas. No obstante, la falta de datos todavía es una característica común. Dichas faltantes pueden encuadrarse en diferentes categorías: a) cobertura temporal con años y/o meses faltantes, b) cobertura espacial con informes faltantes de algunas regiones y comunidades, c) estimación de las pérdidas reportadas parcialmente para algunos eventos, particularmente eventos de bajo impacto/alta frecuencia, y d) indicadores de pérdida inconsistentes para distintos eventos (IRDR, 2014).

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de desastres durante el periodo 1900 a 2018. Para ello se empleará la base de datos de desastres EM-DAT de acceso libre. Por otra parte los análisis se harán en tres escalas espaciales, a nivel mundial, regional (Sudamérica) y local (Argentina).

MATERIALES Y MÉTODOS

La fuente de información para este trabajo es la base de datos de desastres EM-DAT (EM-DAT, 2019) (en inglés, The International Disasters Database) del Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (CRED) que pertenece a la Universidad de Louvain, en Bélgica. La principal ventaja de esta base de datos es que tiene acceso libre y gratuito vía internet solamente con el requisito de registrarse en la misma. Los registros de esta base de datos contienen diferentes tipos de desastres ocurridos en todo el mundo a partir del año 1900, hasta la actualidad. Para fines de este trabajo, se emplean los registros comprendidos en el período 1900 a 2018.

Para que un desastre pase a constituir un registro de la base de datos, el mismo tiene que cumplir al menos uno de los siguientes requisitos:

- haber reportadas al menos 10 víctimas fatales,
- haber reportados al menos 100 afectados,
- haber una declaración de estado de emergencia,
- haber un llamado a asistencia internacional

Por otra parte, para lograr una mejor organización, análisis e interpretación de los registros de dicha

base de datos, los desastres naturales son agrupados según la clasificación propuesta por el programa de Investigación Integrada contra el Riesgo de Desastres (Integrated Research on Disaster Risk o IRDR por sus siglas en inglés). A continuación se presenta una síntesis de dicha clasificación.

Clasificación de desastres según IRDR (2014)

El IRDR produjo un trabajo donde recomienda la terminología estándar para los riesgos y una clasificación de los riesgos para un uso operativo de las bases de datos de pérdidas. Según esta propuesta, los desastres se dividen en tres grupos: naturales, tecnológicos y complejos.

Los desastres naturales están asociados mayormente con procesos y fenómenos naturales, los tecnológicos se hallan inducidos de forma total o predominantemente por las actividades y decisiones humanas y los complejos se originan frecuentemente por una combinación de factores naturales y de origen humano y de diferentes causas de vulnerabilidad (por ej. inseguridad alimentaria, conflictos, desplazamientos, etc.) (IFRC, 2019). En este trabajo no se analizarán desastres complejos porque escapa al objetivo del mismo.

Posteriormente los desastres naturales se subdividen en seis subgrupos: biológicos, climatológicos, geofísicos o geológicos, hidrológicos, meteorológicos y extraterrestres. Mientras que los desastres tecnológicos se clasifican en tres subgrupos: accidentes industriales, accidentes de transportes y accidentes varios. A su vez existe una tercera subdivisión más específica donde se refiere al agente causante del desastre. Seguidamente se da una breve caracterización de cada uno de los subgrupos mencionados.

Subgrupo Biológico (natural): riesgo causado por la exposición a organismos vivos y sus sustancias tóxicas (por ejemplo, veneno, moho) o enfermedades transmitidas por vectores. Algunos ejemplos son la fauna e insectos venenosos, las plantas venenosas y los mosquitos que transportan agentes causantes de enfermedades como parásitos, bacterias o virus (por ejemplo, la malaria). **Eventos principales:** epidemias, infestación de insectos y accidentes con animales.

Subgrupo Climatológico (natural): riesgo causado por procesos atmosféricos de larga duración, de meso a

macroescala, que van desde la variabilidad climática intraestacional a la multidecadal. Eventos principales: sequías, incendios, estallido de lago glacial.

Subgrupo Geofísico o Geológico (natural): riesgo que se origina en el suelo sólido. Eventos principales: terremotos, movimiento de masas (seco), actividad volcánica.

Subgrupo Hidrológico (natural): riesgo causado por la ocurrencia, movimiento y distribución de agua dulce y salada de superficie y subsuelo. Eventos principales: inundaciones, deslizamientos, acción de las olas.

Subgrupo Meteorológico (natural): peligro causado por condiciones meteorológicas extremas y de corta duración, de micro a mesoescala, que duran desde minutos hasta días. Eventos principales: tormentas, temperaturas extremas, niebla.

Subgrupo Extraterrestre (natural): peligro causado por asteroides, meteoroides y cometas cuando pasan cerca de la Tierra, entran a su atmósfera y/o impactan sobre la superficie terrestre, y por cambios en las condiciones interplanetarias que afectan la magnetosfera, la ionosfera y la termosfera de la Tierra. Eventos principales: impactos, clima espacial.

Subgrupo Accidente Industrial (tecnológico): deriva de un suceso registrado en una instalación industrial. Eventos principales: derrame químico, colapso estructural, explosión, fuego, fuga de gases, envenenamiento, radiación, derrame de petróleo, otros.

Subgrupo Accidente de Transporte (tecnológico): ocurren en un contexto en que se encuentra involucrado un medio de transporte. Eventos principales: aéreo, ferroviario, naval, terrestre.

Subgrupo Accidentes Varios (tecnológico): son los accidentes que no se encuentran en los dos subgrupos anteriores. Eventos principales: colapso, explosión, fuego, otros.

Dimensiones de análisis

La información descargada de la base de datos de desastres del CRED, será analizada desde diferentes puntos de vista. El primero está relacionado con los subgrupos presentados en el ítem anterior, es decir con el agrupamiento de los factores que generan el desastre.

Considerando el subgrupo de desastre, es posible identificar diferentes aspectos relacionados con la ocurrencia o con las pérdidas inducidas por los mismos. En este trabajo se propuso implementar cuatro variables, en concordancia con la información que se encuentra disponible en la base de datos. Ellas son: la ocurrencia o cantidad de sucesos registrados, el número de víctimas fatales, la cantidad de afectados y el daño total producido.

La primera variable, ocurrencia o cantidad de sucesos, tiene en cuenta el número de hechos registrados bajo cada tipo de subgrupo de desastre. El segundo indicador, víctimas fatales, está relacionado con la cantidad informada de víctimas fatales asociada con cada desastre en particular. La tercera variable considera la cantidad de afectados, esto es la suma de heridos + afectados + desplazados que fueron registrados durante la ocurrencia del desastre. Y el cuarto indicador está dado por las pérdidas materiales, cuantificadas a través de valor monetario en millones de dólares.

Cada una de las dimensiones de análisis expresadas anteriormente será considerada en diferentes escalas espaciales o geográficas, en este caso se definieron tres: escala global o mundial, a nivel subcontinental (Sudamérica) y a escala de país, Argentina.

Análisis particular para desastres hidrológicos

Con relación a los desastres hidrológicos se efectuará, además de los análisis explicitados, un estudio adicional para identificar (de ser posible) tendencias de crecimiento/decrecimiento de las dos primeras dimensiones propuestas, por ejemplo en el caso de la frecuencia de ocurrencia de eventos registrados si la tendencia es creciente a lo largo de todo el período, si hay máximos, o si hay períodos donde se presenten tendencias decrecientes.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dimensión 1: cantidad de desastres registrados

A nivel mundial fueron descargados 23578 eventos registrados que ocurrieron durante el período 1900 a 2018 inclusive. De dicha cantidad, 14854 desastres son naturales (63.0%), 8710 son tecnológicos (36.9%) y 14 son complejos (0.1%).

Dado que la cantidad de desastres complejos (14 hechos) junto con los naturales de origen

extraterrestre (1 evento) constituyen muy pocos casos de ocurrencia respecto a los restantes, éstos no serán considerados en el análisis. De esta manera, el número total de eventos válidos con que se trabajará a partir de aquí es de 23563. El desagregado de los mismos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Desastres registrados en el mundo (1900 a 2018).

Subgrupo de desastre	Casos	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	1541	6.5	10.4
Climatológicos (N)	1162	5.0	7.9
Geológicos (N)	1672	7.1	11.3
Hidrológicos (N)	5714	24.2	38.5
Meteorológicos (N)	4764	20.2	32.1
Acc. Industriales (T)	1476	6.3	-
Acc. de Transporte (T)	5780	24.5	-
Acc. Varios (T)	1454	6.2	-
Total →	23563	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

De los datos recopilados, se desprende que en cuanto a cantidad de casos, los accidentes de transporte son los más frecuentes (24.5%), seguidos muy de cerca por los desastres de origen hidrológico (24.2%) y en tercer lugar se ubican los desastres producto de factores meteorológicos (20.2%).

Considerando ahora el segundo nivel de escala espacial, es decir Sudamérica, se tienen registrados en la base de datos 1815 desastres, de los cuales 1167 son naturales (64%) y 648 son tecnológicos (36%). El detalle de los desastres según subgrupo se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Desastres registrados en Sudamérica (1900 a 2018).

Subgrupo de desastre	Casos	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	84	4.6	7.2
Climatológicos (N)	97	5.3	8.3
Geológicos (N)	185	10.2	15.9
Hidrológicos (N)	664	36.6	56.9
Meteorológicos (N)	137	7.5	11.7
Acc. Industriales (T)	63	3.6	-
Acc. de Transporte (T)	500	27.5	-
Acc. Varios (T)	85	4.7	-
Total →	1815	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

De los datos anteriores se verifica que los desastres derivados de causas hidrológicas son los más frecuentes (36.6%), seguidos de los accidentes de

transporte (27.5%) y en tercer lugar se encuentran los desastres geológicos (10.2%).

Cuando se efectúa el análisis de frecuencia en la ocurrencia de desastres a nivel país, en la Argentina se registraron 164 desastres, de los cuales 116 son naturales (71%) y 48 son tecnológicos (29%). En la Tabla 3 se exhibe la clasificación según los distintos subgrupos de desastres.

Tabla 3. Desastres registrados en Argentina (1900 a 2018).

Subgrupo de desastre	Casos	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	2	1.2	1.7
Climatológicos (N)	8	4.9	6.9
Geológicos (N)	9	5.5	7.8
Hidrológicos (N)	67	40.8	57.7
Meteorológicos (N)	30	18.3	25.9
Acc. Industriales (T)	3	1.8	-
Acc. de Transporte (T)	37	22.6	-
Acc. Varios (T)	8	4.9	-
Total →	164	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

A partir de los datos se infiere que los desastres debido a causas hidrológicas (40.8%) son los que ocupan el primer lugar, seguidos de los accidentes de transporte (22.6%) y en tercer lugar se encuentran los desastres meteorológicos (18.3%).

Cuando se toman en conjunto los desastres naturales y los tecnológicos en cuanto a su ocurrencia, al comparar las tres escalas espaciales analizadas, se verifica que a nivel mundial los accidentes de transporte son los más frecuentes (24.5%) seguidos muy de cerca por los desastres naturales de origen hidrológico (24.2%). Inversamente, para Sudamérica y Argentina los desastres hidrológicos son los que se encuentran en primer lugar con el 36.6% y 40.8% respectivamente, mientras que los accidentes de transporte son los que se ubican en segundo lugar con el 27.5% y 22.6% respectivamente.

Si ahora se hace el mismo análisis, considerando solo los desastres naturales, se observa que respecto de la ocurrencia son los desastres derivados de factores hidrológicos los que se hallan en primer lugar independientemente de la escala geográfica: 38.5% a nivel mundial, 56.9% en Sudamérica y 57.7% en Argentina. En la Figura 1 se compara la incidencia de la ocurrencia de desastres hidrológicos sobre los restantes para las tres escalas de estudio.

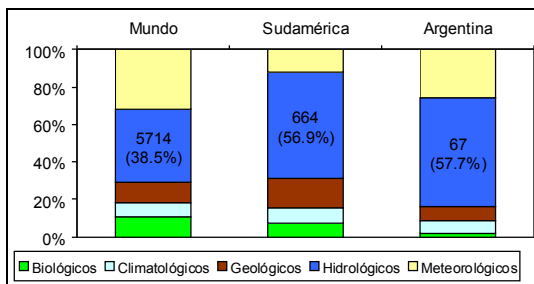


Figura 1. Desastres naturales registrados (1900 a 2018).

Dimensión 2: víctimas fatales registradas

De los registros recopilados de la base de datos, durante el período 1900 a 2018, fueron detectadas un total de 33026863 víctimas fatales debido a desastres. De las cuales el 98.9% fueron causadas por desastres naturales y el restante 1.1% por desastres tecnológicos. La clasificación según el subgrupo de desastre se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Muertes registradas en el mundo (1900 a 2018).

Subgrupo de desastre	Víctimas	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	9602082	29.1	29.4
Climatológicos (N)	11735530	35.6	36.0
Geológicos (N)	2684908	8.1	8.2
Hidrológicos (N)	7045880	21.3	21.6
Meteorológicos (N)	1583205	4.8	4.8
Acc. Industriales (T)	58610	0.2	-
Acc. de Transporte (T)	247623	0.7	-
Acc. Varios (T)	69025	0.2	-
Total →	33026863	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

Se concluye, a partir de la Tabla 4, que el tipo de desastre que genera más víctimas fatales es el relacionado con causas climatológicas (35.6%), seguido por los desastres biológicos (29.1%) y en tercer lugar por causas hidrológicas (21.3%).

Si consideramos ahora un análisis a escala regional, Sudamérica, se verifica que hubo un total de 291682 muertes registradas en el período estudiado, de las cuales el 91.2% son causadas por desastres naturales y el 8.8% por desastres tecnológicos. La clasificación de los desastres por subgrupo se puede apreciar en la Tabla 5.

En función de la Tabla 5, se verifica que los desastres geológicos son los generadores de la mayor cantidad de víctimas fatales (62.3%),

seguidos de los hidrológicos (21.9%) y de los biológicos en tercer lugar (5.4%).

Tabla 5. Muertes registradas en Sudamérica (1900 a 2018).

Subgrupo de desastre	Víctimas	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	15752	5.4	5.9
Climatológicos (N)	158	0.1	0.1
Geológicos (N)	181758	62.3	68.3
Hidrológicos (N)	63957	21.9	24.0
Meteorológicos (N)	4458	1.5	1.7
Acc. Industriales (T)	5008	1.7	-
Acc. de Transporte (T)	14881	5.1	-
Acc. Varios (T)	5710	2.0	-
Total →	291682	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

Cuando efectuamos el análisis a nivel de país, en la Argentina, se tiene una cantidad de 12966 víctimas mortales, de las cuales el 89.6% fue provocado por desastres naturales y el 10.4% por desastres tecnológicos. El detalle del total adquiere la siguiente forma que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Muertes registradas en Argentina (1900 a 2018).

Subgrupo de desastre	Víctimas	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	73	0.6	0.6
Climatológicos (N)	32	0.2	0.3
Geológicos (N)	10076	77.7	86.7
Hidrológicos (N)	954	7.4	8.2
Meteorológicos (N)	483	3.7	4.2
Acc. Industriales (T)	50	0.4	-
Acc. de Transporte (T)	831	6.4	-
Acc. Varios (T)	467	3.6	-
Total →	12966	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

De acuerdo con estos datos, el principal factor de causa de muerte en la Argentina debido a desastres está generado por desastres geológicos (77.7%), en segundo lugar se encuentran los desastres hidrológicos (7.4%) y en tercer lugar los accidentes de transporte (6.4%). Una observación importante con relación al número de víctimas causado por los desastres geológicos es que de las 10076 víctimas fatales producidas en 9 eventos, 10000 víctimas se deben a un único evento, el terremoto ocurrido en 1944 en la provincia de San Juan.

Al contemplar conjuntamente los desastres naturales y los tecnológicos, respecto a la generación de víctimas fatales, y comparar las tres escalas

espaciales analizadas, se infiere que a nivel mundial los desastres de origen climatológico son los que generan la mayor cantidad de víctimas fatales (35.6%), mientras que para Sudamérica y Argentina son los desastres geológicos los que se encuentran en primer lugar con el 62.3% y 77.7% respectivamente.

Cuando se consideran solamente los desastres de origen natural existe variación en los porcentajes presentados en el párrafo anterior (sin llegar a cambiar el orden de las categorías), quedando primero a nivel mundial los desastres climatológicos (36.0%), y en Sudamérica y Argentina los desastres de origen geológico con el 68.3% y 86.7% respectivamente. En la Figura 2, se visualiza la proporción de cada subgrupo de desastre natural respecto de la cantidad de víctimas fatales y se destaca el prioritario según la escala espacial.

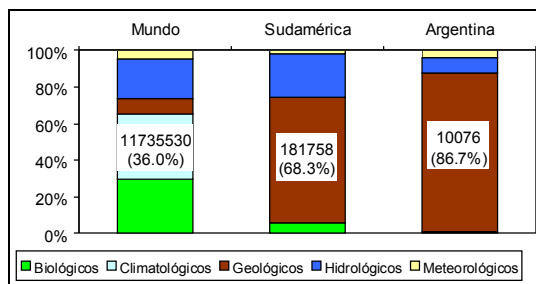


Figura 2. Víctimas fatales registradas (1900 a 2018).

Dimensión 3: cantidad de afectados registrados

La categoría de afectados involucra la suma de los afectados más los heridos más los desplazados. A partir de los registros que fueron descargados de la base de datos, la cantidad de afectados por desastres a lo largo del período de análisis y a nivel mundial asciende a 8046.2 millones de personas. De este número el 99.9% se debe a desastres naturales y el 0.1% a desastres tecnológicos. En la Tabla 7 se muestra la cantidad de afectados en función del subgrupo de desastre.

De la observación de la información presentada en la Tabla 7 se infiere que los desastres hidrológicos son los que causan mayor cantidad de damnificados (47.5%), seguidos por los desastres climatológicos (33.7%) y en tercer lugar por los desastres meteorológicos (15.5%).

Si ahora analizamos la cantidad de damnificados a escala de Sudamérica, el número total asciende a 195.8 millones de afectados, de los cuales el 99.5%

son provocados por desastres naturales y el 0.5% son debidos a desastres tecnológicos. El detalle de los mismos se presenta en la Tabla 8.

Tabla 7. Cantidad de afectados en el mundo (x10⁶).

Subgrupo de desastre	Afectados	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	49.2	0.6	0.6
Climatológicos (N)	2711.9	33.7	33.7
Geológicos (N)	204.3	2.5	2.5
Hidrológicos (N)	3821.9	47.5	47.5
Meteorológicos (N)	1251.0	15.5	15.6
Acc. Industriales (T)	4.1	0.05	-
Acc. de Transporte (T)	0.3	0.003	-
Acc. Varios (T)	3.5	0.04	-
Total	→ 8046.2	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

Tabla 8. Cantidad de afectados en Sudamérica (x10⁶).

Subgrupo de desastre	Afectados	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	2.8	1.4	1.5
Climatológicos (N)	90.8	46.3	46.6
Geológicos (N)	20.5	10.5	10.5
Hidrológicos (N)	73.4	37.5	37.7
Meteorológicos (N)	7.4	3.8	3.8
Acc. Industriales (T)	0.6	0.3	-
Acc. de Transporte (T)	0.01	0.01	-
Acc. Varios (T)	0.3	0.2	-
Total	→ 195.8	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

Del análisis de la Tabla 8, surge que, en la región de Sudamérica los desastres que producen la mayor cantidad de afectados son los derivados de factores climatológicos (46.3%), seguidos de los hidrológicos (37.5%) y en tercer lugar de los geológicos (10.5%).

Al considerar los afectados por desastres dentro del territorio nacional, se verifica que el número total de damnificados asciende a 15.1 millones de habitantes, de los cuales el 99.98% son producto de desastres naturales y el 0.02% restante son derivados de desastres tecnológicos. A continuación, en la Tabla 9, se presenta el detalle de los mismos según los subgrupos de desastres.

A partir de la inspección visual de la Tabla 9 se aprecia que, mayoritariamente, son los desastres de origen hidrológico (95.6%) los que generan en primer lugar damnificados, seguidos por los geológicos (2.1%) y en tercer lugar por los meteorológicos (1.1%).

Tabla 9. Cantidad de afectados en Argentina (x10³).

Subgrupo de desastre	Afectados	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	17.2	0.1	0.1
Climatológicos (N)	152.8	1.0	1.0
Geológicos (N)	312.3	2.1	2.1
Hidrológicos (N)	14486.6	95.6	95.7
Meteorológicos (N)	173.4	1.1	1.1
Acc. Industriales (T)	0.42	0.003	-
Acc. de Transporte (T)	2.50	0.016	-
Acc. Varios (T)	0.74	0.005	-
Total →	15145.9	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

Si se computan en forma conjunta los desastres naturales y los tecnológicos, y se comparan las tres escalas espaciales, se verifica que a nivel mundial y en Argentina son los desastres de origen hidrológico los que generan la mayor cantidad de afectados, 47.5% y 95.6%, respectivamente. Mientras que para Sudamérica son los desastres climatológicos con el 46.3% los que ocupan el primer lugar.

Debido a la poca incidencia de los desastres tecnológicos en esta dimensión de análisis (0.5% para Sudamérica), al efectuar el estudio solamente para desastres de origen natural, la variación en los porcentajes anteriores es marginal, quedando a nivel mundial y en Argentina en primer lugar los desastres hidrológicos con el 47.5% y el 95.7%, respectivamente. En Sudamérica los desastres climatológicos ocupan el primer puesto con el 46.6%. En la Figura 3, se visualiza la proporción de cada subgrupo de desastre respecto de la cantidad de afectados y se destaca el de mayor importancia según la escala espacial que se considere.

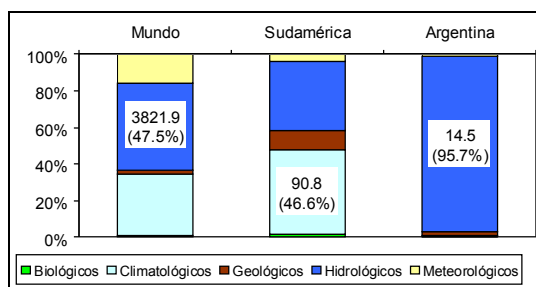


Figura 3. Afectados registrados (en millones) (1900 a 2018).

Dimensión 4: pérdidas materiales registradas

Una de las formas de evaluar las pérdidas materiales debido a la ocurrencia de un desastre, es a partir de la cuantificación económica expresada en millones

de dólares. En este sentido, a nivel mundial, las pérdidas totales estimadas generadas por desastres, durante el período 1900 a 2018, asciende a 3.47 billones (3.47x10¹²) de dólares, de los cuales, el 98.6% corresponde a desastres naturales y el 1.4% corresponde a desastres tecnológicos. La desagregación de estos montos según los subgrupos de desastres, se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Daño total registrado en el mundo (x 10⁹ US\$).

Subgrupo de desastre	Daño	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	0.23	0.01	0.01
Climatológicos (N)	278.97	8.04	8.15
Geológicos (N)	831.68	23.97	24.30
Hidrológicos (N)	805.46	23.21	23.53
Meteorológicos (N)	1506.79	43.42	44.02
Acc. Industriales (T)	43.38	1.25	-
Acc. de Transporte (T)	1.15	0.03	-
Acc. Varios (T)	2.68	0.08	-
Total →	3470.33	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

La Tabla 10 permite observar que los desastres que históricamente produjeron la mayor cantidad de pérdidas económicas son en primer lugar los derivados de factores meteorológicos (43.4%), seguidos de los geológicos (24.0%) y en tercer lugar de los hidrológicos (23.2%).

Cuando se hace el estudio a nivel de Sudamérica, se verifica un daño total histórico que asciende a 107.4x10⁹ dólares, de los cuales el 99.77% corresponden a desastres naturales y el restante 0.23% a desastres tecnológicos. El detalle de estas pérdidas económicas se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Daño total registrado en Sudamérica (x 10⁹ US\$).

Subgrupo de desastre	Daño	(%)	(%) ⁽¹⁾
Biológicos (N)	0.10	0.10	0.10
Climatológicos (N)	19.20	17.87	17.91
Geológicos (N)	45.17	42.05	42.15
Hidrológicos (N)	39.73	36.99	37.08
Meteorológicos (N)	2.96	2.76	2.76
Acc. Industriales (T)	0.09	0.08	-
Acc. de Transporte (T)	0.06	0.06	-
Acc. Varios (T)	0.10	0.09	-
Total →	107.40	100.0	100.0

⁽¹⁾considera solo los desastres de origen natural.

A partir de los resultados volcados en la Tabla 11, se verifica que los desastres que ocasionan la mayor

cantidad de pérdidas económicas son los causados por factores geológicos (42.1%), seguidos por los hidrológicos (37.0%) y en tercer lugar por los climatológicos (17.9%).

Realizando el análisis de los datos de pérdidas por desastres en el contexto de Argentina, el daño total histórico debido a desastres naturales es de 14.99×10^9 dólares, ya que para los desastres tecnológicos registrados en la base de datos no hay información respecto de daños materiales. Esta magnitud se clasifica de acuerdo al subgrupo de desastre según lo expresado en la Tabla 12.

Tabla 12. Daño total registrado en Argentina (x 10⁹ US\$).

Subgrupo de desastre	Daño	(%)
Biológicos (N)	s/d	s/d
Climatológicos (N)	3.62	24.2
Geológicos (N)	0.18	1.2
Hidrológicos (N)	11.08	73.9
Meteorológicos (N)	0.11	0.7
Total →	14.99	100.0

s/d: sin datos.

De la Tabla 12 se verifica que los desastres que mayor implicancia tienen en la pérdida económica son los de origen hidrológico (73.9%), seguidos de los climatológicos (24.2%) y en tercera instancia los derivados de factores geológicos (1.2%).

Al considerar los desastres naturales y los tecnológicos conjuntamente, y comparar las tres escalas espaciales analizadas, se verifica que a nivel mundial los desastres de origen meteorológico son los que generan la mayor cantidad de pérdidas materiales (43.4%), mientras que para Sudamérica son los desastres geológicos con el 42.1% y en Argentina son los causados por factores hidrológicos con el 73.9%.

Nuevamente, como en el caso de la dimensión 3 (afectados), dada la poca incidencia que poseen los desastres tecnológicos en esta dimensión de análisis (hasta 1.4% a escala mundial), cuando se efectúa el estudio solo para desastres naturales, la variación en los porcentajes anteriores es leve, alcanzando los siguientes valores, a nivel mundial los desastres meteorológicos (44.0%), en Sudamérica los desastres geológicos con el 42.2% y en Argentina los desastres de origen hidrológico con el 73.9%. En la Figura 4, se muestra la proporción de cada subgrupo de desastre y se destaca el subgrupo de mayor influencia para cada escala espacial respecto

de las pérdidas materiales registradas.

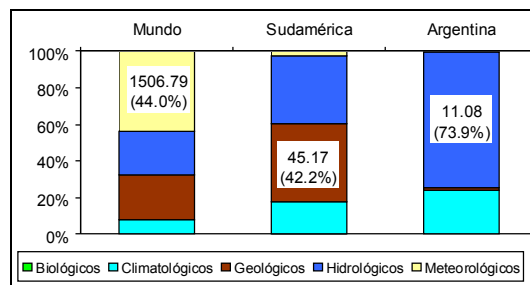


Figura 4. Pérdidas materiales registradas (x 10⁹ US\$).

Análisis de tendencias para desastres hidrológicos

El análisis efectuado anteriormente se corresponde con el período 1900 a 2018 completo. Interesa ahora para los desastres de origen hidrológico verificar si es posible detectar tendencias en su comportamiento en función de dos de las dimensiones en estudio: la de frecuencia de ocurrencia y la de víctimas fatales.

Para realizar dicha tarea se procedió a representar el período completo analizado año a año, con el propósito de estudiar cuál fue la evolución de las dimensiones, frecuencia de ocurrencia y víctimas fatales para las tres escalas espaciales seleccionadas.

Dimensión 1: cantidad de desastres registrados

En la Figura 5 se muestra la cantidad anual de desastres naturales totales y de origen hidrológico registrados a nivel mundial. Se observa que aproximadamente a partir del año 1975 hay una tendencia creciente en la ocurrencia de desastres naturales hasta el año 2000, donde se produce el mayor registro (525 desastres naturales informados). Posteriormente al año 2000, existe una tendencia definida en la frecuencia de ocurrencia de los desastres naturales a disminuir.

En cuanto a los desastres naturales de origen hidrológico el comportamiento es semejante, aunque desfasado temporalmente y con una tendencia creciente menos pronunciada que la anterior, a partir del año 1980 aproximadamente hasta el año 2006 (máximo de 246 registros) y posteriormente sigue una tendencia a la baja como sucede con los desastres naturales totales. A partir de 1994 los desastres hidrológicos son los de mayor ocurrencia por sobre el resto de los desastres naturales.

En la Figura 6 se presenta la evolución temporal de los desastres naturales totales y los derivados de

factores hidrológicos para Sudamérica. Se observa que, al igual que en el caso anterior, a partir del año 1975 aproximadamente, hay una tendencia creciente en la ocurrencia de los desastres hasta el año 2000,

donde se produce el mayor registro (40 desastres naturales informados) que vuelve a repetirse en el año 2002. Luego del 2002, no se verifica una tendencia tan definida como en el caso anterior.

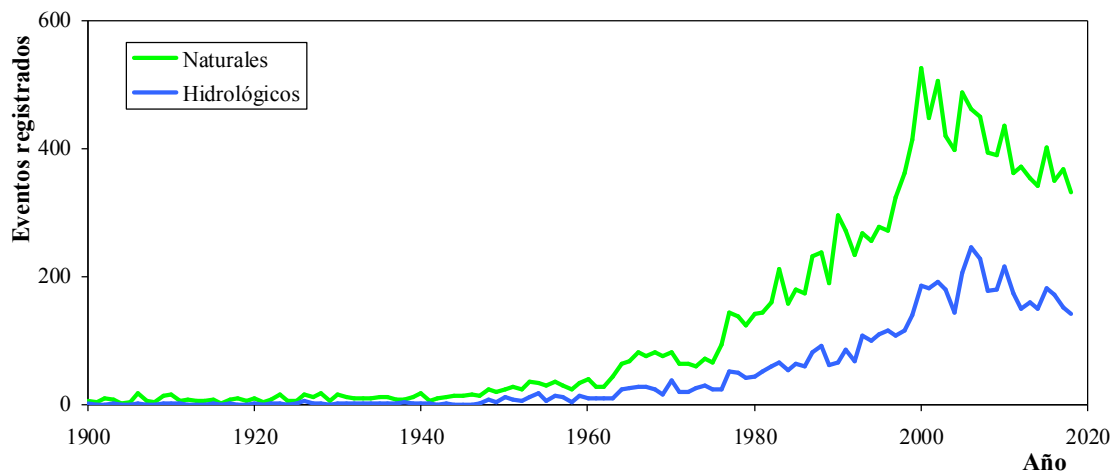


Figura 5. Cantidad de desastres anuales registrados en el mundo (1900 a 2018).

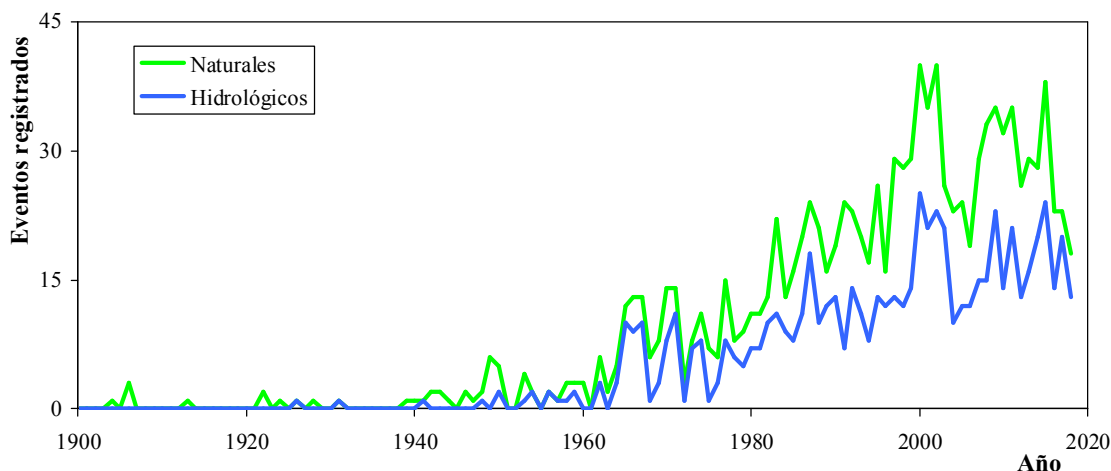


Figura 6. Cantidad de desastres anuales registrados en Sudamérica (1904 a 2018).

Respecto de los desastres naturales producidos por causas hidrológicas se tiene un comportamiento similar, pero desfasado en el tiempo, con tendencia creciente a partir del año 1980 aproximadamente hasta el año 2000 (donde se produce el máximo de 25 registros) y posteriormente a dicho año no puede observarse ninguna tendencia definida. Desde el año 1977 hasta la actualidad (excepto 1991) los desastres hidrológicos son los de mayor ocurrencia dentro del grupo de desastres naturales.

alguna tendencia en la frecuencia de ocurrencia dada la menor cantidad de eventos. No obstante, para la totalidad de desastres naturales parece haber, a partir del año 1965 aproximadamente, una leve tendencia al incremento de la cantidad de sucesos registrados (con un pico en el año 2000 de 8 eventos).

Si se efectúa el mismo análisis para la Argentina (Figura 7) resulta más dificultosa la visualización de

En cuanto a los desastres naturales de orden hidrológico, la tendencia es muy similar a la presentada por los desastres naturales totales, leve pero creciente. El máximo de 4 desastres hidrológicos anuales se produce para el año 2000 y vuelve a repetirse en el 2014 y 2017.

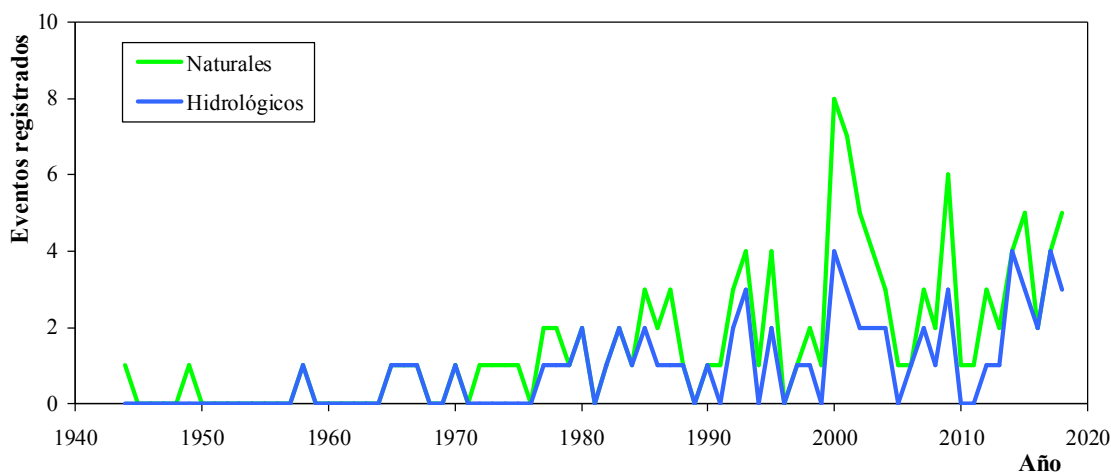


Figura 7. Cantidad de desastres anuales registrados en Argentina (1944 a 2018).

Dimensión 2: víctimas fatales registradas

En la Figura 8 se presenta la cantidad de víctimas anuales debido a desastres naturales totales y de origen hidrológico registrados a nivel mundial. Se eligió utilizar la escala logarítmica para poder diferenciar mejor entre ambas variables.

A partir de los valores registrados en la base de datos puede ser identificada una clara tendencia a la disminución en la generación de víctimas fatales, de manera tal que por ejemplo en el período 1966 a 2010 se redujo la tasa de muertes a un promedio anual de 79133 y a partir de 2011 hasta la actualidad la reducción fue aún mayor con una tasa anual de 18764 víctimas fatales. El evento que produjo la mayor cantidad de víctimas fatales está asociado a la gran inundación producida por el río Yangtzé (China) durante el año 1931, con 3700000 muertes.

Si ahora nos referimos a los desastres naturales derivados de causas hidrológicas, de la serie total de 119 años hay 100 años donde se generaron muertes y de éstos hay 6 años (1931, 1959, 1939, 1935, 1949 y 1911) donde se produjeron víctimas fatales en un número mayor a 50000 personas.

Para hacer la representación más visible, no fueron considerados esos 6 valores máximos de la serie (Figura 9). A partir de esta gráfica y de los registros de la base de datos se verifica mayor espaciamiento entre años con “alta” generación de muertes por desastres hidrológicos. Los últimos tres “picos” se produjeron en 1954, 1974 y 1999 con 35522, 30335 y 35252 víctimas fatales, respectivamente. El lapso entre los dos primeros picos fue de 20 años, mientras que entre el segundo y el tercero fue de 25 años.

Para sumar a la idea de una fuerte reducción en la tendencia de generación de víctimas fatales, de los últimos 18 años de registros, solamente en tres de ellos (2007, 2016 y 2017), los desastres hidrológicos lideraron el ranking de víctimas fatales cuando se los compara con el resto de los desastres naturales.

Cuando se analiza la cantidad de víctimas fatales considerando el subcontinente Sudamérica se recurre a la Figura 10, donde se muestran las víctimas fatales generadas por los desastres naturales totales y los desastres producidos por causas hidrológicas. Para una mejor visualización se recurre al empleo de la escala logarítmica.

En este caso, utilizando la Figura 10 y los valores descargados de la base de datos se aprecia una tendencia a la disminución en la tasa de generación de víctimas fatales por desastres naturales, pudiendo distinguirse dos períodos, 1906 a 1999 con una tasa anual media de 2520 muertes y el período 2000 a 2018 con una fuerte reducción en la tasa anual media de 742 víctimas fatales. El desastre natural con mayor cantidad de víctimas fue el terremoto y aluvión en Áncash (Perú) ocurrido en mayo de 1970, con aproximadamente 66823 muertes.

Analizando los desastres naturales producidos por factores hidrológicos, de la serie de 119 años hay 67 años donde se produjeron víctimas fatales y de éstos hubo 2 años (1999 y 1941) con valores superiores o iguales a 5000 muertes. El evento relacionado a causas hidrológicas que generó más víctimas fatales fueron las inundaciones y deslizamientos en el estado Vargas (Venezuela) ocurrido en diciembre de 1999, que dejaron alrededor de 30000 muertes.

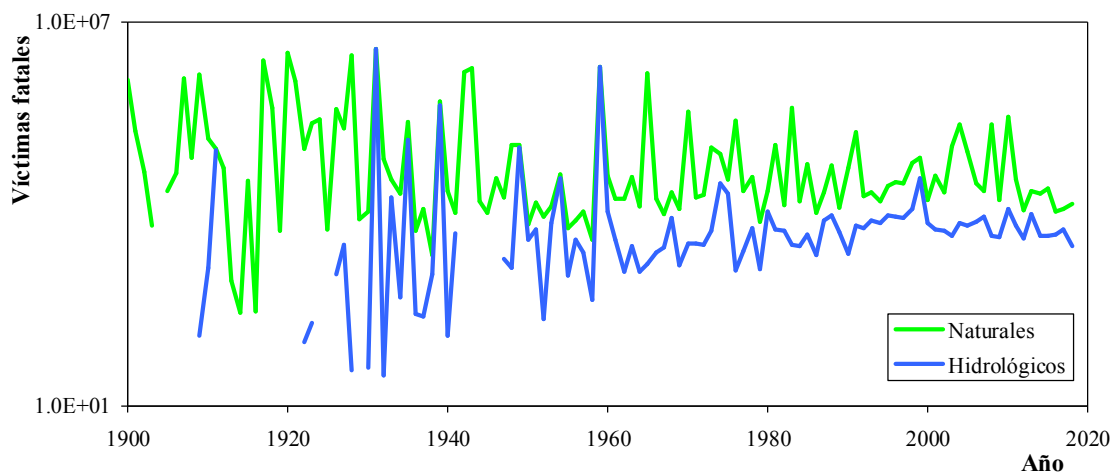


Figura 8. Cantidad de víctimas fatales por desastres naturales registradas en el mundo (escala logarítmica).

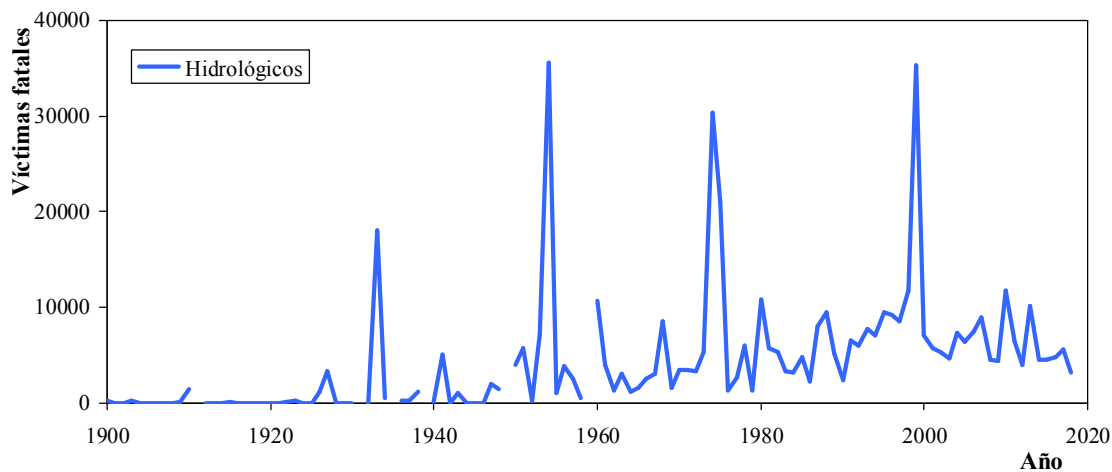


Figura 9. Cantidad de víctimas fatales por desastres hidrológicos registradas en el mundo (modificada para análisis).

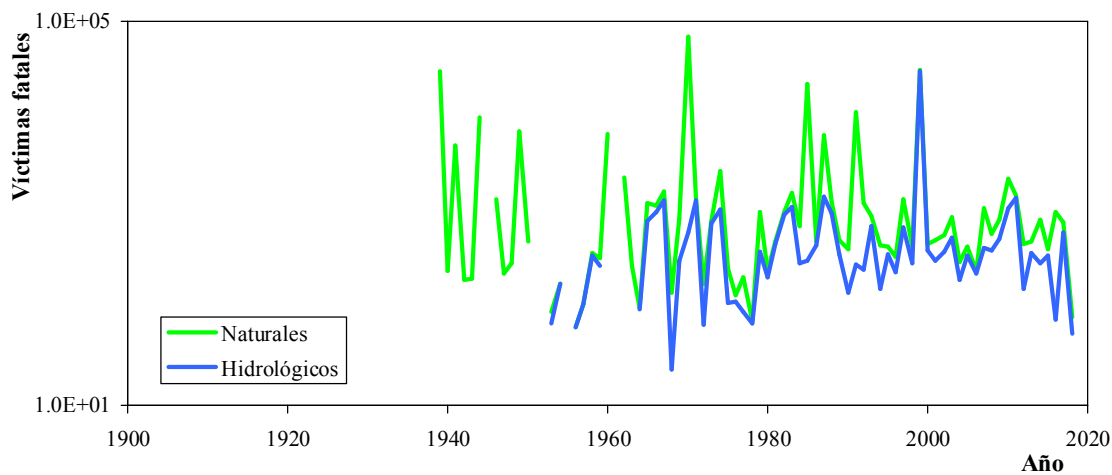


Figura 10. Cantidad de víctimas fatales por desastres naturales registradas en Sudamérica (escala logarítmica).

Para lograr una mejor visualización de la cantidad de víctimas fatales generadas por desastres naturales de origen hidrológico se procedió a eliminar de la gráfica los dos años donde se dieron los máximos citados anteriormente (Figura 11). De la Figura 11 y en base a los valores descargados de la base de datos se obtiene que en el periodo 1965 a 1988 se produjeron 9 “picos” que se sucedieron bastante seguidos (en promedio 1 cada 2.7 años). Los otros 2 “picos” detectados ocurren en los años 2010 y 2011. Por lo tanto, puede decirse que en general no se

observa un espaciamiento tan marcado como en el caso analizado a escala mundial. No obstante, entre el primer grupo de 9 “picos” de poco espaciamiento y el segundo grupo de 2 “picos” existe un lapso de 21 años.

Respecto de la generación de víctimas fatales derivados de desastres de origen hidrológico, en Sudamérica se verifica que de los últimos 18 años de registros, en 14 de ellos este tipo de desastre es la primera causa de muertes.

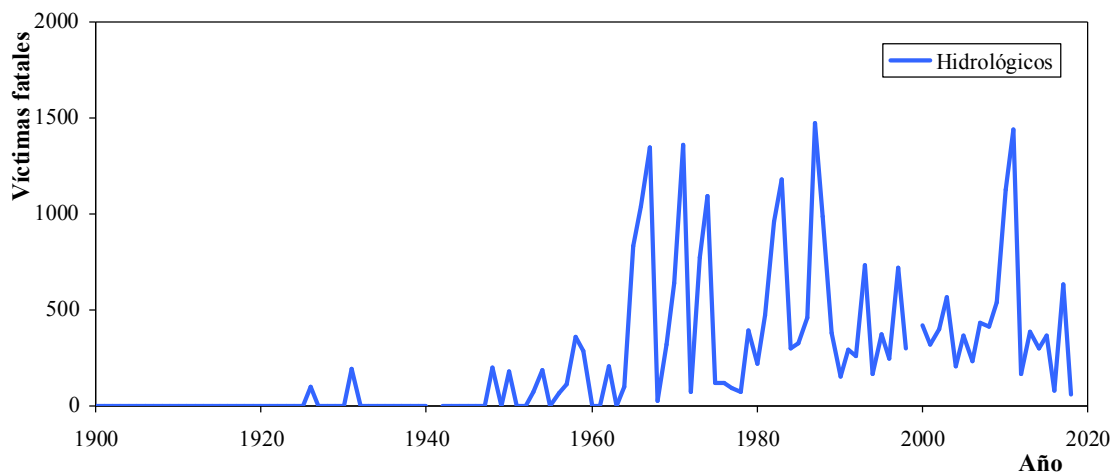


Figura 11. Cantidad de víctimas fatales por desastres hidrológicos registradas en Sudamérica (modificada para análisis).

En cuanto a los desastres naturales y a los derivados de factores hidrológicos en Argentina, se muestra en la Figura 12 la evolución en el número de víctimas fatales. Cabe aclarar que para lograr una mejor representación de los datos, por cuestiones de escala,

en la Figura 12 se eliminó el valor de 10000 muertes, que corresponde al episodio que generó la mayor cantidad de víctimas fatales en Argentina. Este hecho fue el terremoto que ocurrió en la provincia de San Juan en el año 1944.

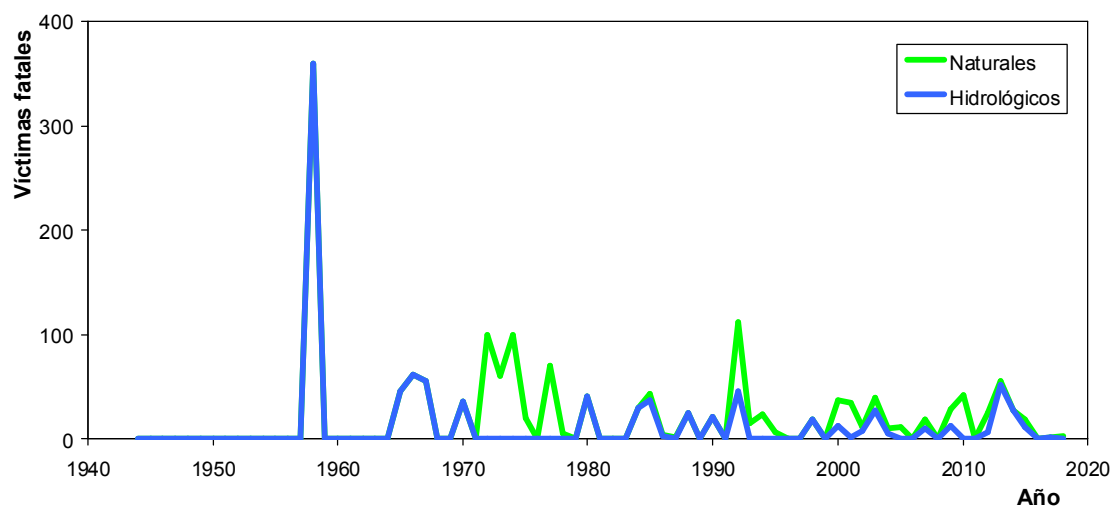


Figura 12. Cantidad de víctimas fatales por desastres naturales registradas en Argentina (modificada para análisis).

Teniendo en cuenta la Figura 12 junto a los registros de la base de datos, se pueden observar 5 “picos” en los años 1944 (terremoto de San Juan), 1958, 1972, 1974 y 1992, con un número mayor o igual a 100 víctimas fatales. El espaciamiento medio entre dichos picos es de 14 años y la tasa media anual de muertes en el período 1958 a 1992 asciende a 34.

Posteriormente al año 1992 se identifican 5 “picos” correspondientes a los años 2000, 2001, 2003, 2010 y 2013, con una cantidad de muertes mayor o igual a 35 personas. El espaciamiento medio entre dichos picos es de 3.3 años y la tasa media anual de víctimas fatales en el período 1993 a 2018 es de 17. De aquí puede concluirse que a partir del año 1993 hay una fuerte reducción en la tasa anual de víctimas fatales. Por otra parte pareciera haber una tendencia a producirse con mayor periodicidad tasas menores de fallecimiento debido a desastres naturales.

Respecto de los desastres naturales producto de factores hidrológicos, de la serie total de 75 años hay 25 años donde hubo víctimas fatales. De estos 25 años, hay 6 de ellos (1958, 1965, 1966, 1967, 1992 y 2013) donde se produjeron víctimas fatales en un número mayor o igual a 45 personas. El evento que produjo la mayor cantidad de víctimas fatales, 360 personas, fueron las inundaciones de la provincia de Entre Ríos en julio de 1958.

En cuanto a tendencias en la generación de muertes por desastres hidrológicos (Figura 12), pueden identificarse 4 períodos, 1958 a 1970, 1980 a 1992, y 1998 a 2009 y 2012 a 2015. De los 4 períodos, en los tres primeros se verifica una paulatina disminución en la tasa media anual de muertes, mientras que en el último período se registra un repunte en la misma.

CONCLUSIONES

Respecto de la cantidad total de desastres registrados desde el año 1900 hasta el año 2018, se verifica que aproximadamente los mismos pueden dividirse en la siguiente proporción: 66% desastres naturales y 34% desastres tecnológicos, independientemente de las escalas de análisis empleadas en este trabajo.

En cuanto a la segunda dimensión estudiada, cantidad de víctimas fatales, al tomar las tres escalas espaciales en conjunto, en promedio se tiene que los desastres naturales generan el 93.2% del total y los

desastres de origen tecnológico contribuyen con el restante 6.8%.

Si ahora evaluamos el tercer indicador empleado, cantidad de afectados totales, agregando las tres escalas espaciales, en promedio se obtiene que el 99.8% de los afectados está causado por desastres naturales, mientras que el 0.2% faltante está originado por los desastres tecnológicos.

Al evaluar la cuarta dimensión propuesta, pérdidas económicas, cuando se contemplan en forma conjunta escala mundial, regional y local, en promedio se verifica que el 99.2% de las pérdidas son provocadas por los desastres naturales y el 0.8% deriva de los desastres tecnológicos.

A nivel mundial se concluye que en el caso de considerar solamente los desastres naturales, los desastres hidrológicos se ubican en primer lugar en cuanto a la cantidad de eventos con un 38.5%. El indicador de víctimas fatales está liderado por los desastres derivados de causales climatológicos con el 36.0%. En cuanto a la cantidad total de afectados son los desastres originados por factores hidrológicos representando el 47.5% del total. Y con respecto a las pérdidas económicas los desastres meteorológicos son los que generan la mayor cantidad de pérdidas con el 44.0%.

Por otra parte, a nivel mundial se destaca la disminución desde el año 2000 (donde se alcanzó el máximo histórico de 525 desastres naturales registrados), de la tendencia en la ocurrencia de desastres naturales. Sin embargo desde 1994 son los desastres hidrológicos los que se producen en mayor cantidad por sobre el resto de los desastres naturales.

Otra cuestión aún más importante, nuevamente a escala mundial, es la fuerte reducción en la tasa media anual de víctimas fatales que se tiene desde el año 2011, que pasó de 79133 (período 1966 a 2010) a 18764 (período 2011 a 2018). Para afianzar la idea, se tiene que de los últimos 18 años de la serie, solamente en 3 de ellos los desastres hidrológicos fueron los primeros generadores de víctimas fatales, respecto de los restantes desastres naturales.

A nivel regional, considerando el subcontinente Sudamérica, se observa que en cuanto a la cantidad de ocurrencia de eventos, los desastres hidrológicos se encuentran en primer lugar con el 56.9% de los casos. Respecto de la segunda dimensión analizada, víctimas fatales, los desastres geológicos son el

principal generador con el 68.3% de los casos. La tercera variable, cantidad total de afectados, está causada principalmente por los desastres de origen climatológico, que aportan el 46.6%. El cuarto índice, pérdidas materiales, se encuentra liderado por los desastres derivados de factores geológicos con el 42.4%.

A nivel de Argentina son los desastres hidrológicos los de mayor ocurrencia (57.7% del total), los que producen la mayor cantidad de afectados (95.7% del total) y los que generan la mayor cantidad de pérdidas económicas (73.9% del total), no así respecto de la pérdida de vidas humanas en la que contribuyen “solo” con el 8.2% del total. Respecto de las víctimas fatales, el evento que produjo la mayor cantidad de muertes (10000) fue el terremoto sucedido en 1944 en San Juan, lo que representa el 86.1% del total de muertes por desastres naturales.

La reducción en el número de víctimas fatales producto de desastres naturales se vincula con las políticas de reducción del riesgo elaboradas por Naciones Unidas, hoy en día detalladas en el Marco de Sendai (ONU, 2015). No obstante la brecha de protección existente entre países ricos y pobres hace que la gran mayoría de las víctimas fatales la “aporten” los países de bajos ingresos, mientras que las pérdidas económicas absolutas se vinculan con países de mayores ingresos. Hechos que indican que la desigualdad sigue siendo una tarea pendiente a nivel mundial, ya que contribuye al incremento de la vulnerabilidad de los sectores de menores ingresos.

En el ámbito de la República Argentina, es de destacar la importancia que se debe otorgar a las políticas de planificación del uso y gestión de los recursos hídricos así como también a la gestión previa, durante y posterior a la ocurrencia de los desastres hídricos. En este sentido ya no es suficiente solamente el empleo de medidas estructurales (por ej. canales, conductos y embalses), sino que deben ser complementadas con medidas no estructurales (por ej. legislación, mapeo de zonas de riesgo, sistemas de alerta, seguros).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Courtney, Chris (2014). Central China flood, 1931. DisasterHistory.org. Acceso set 2019. <http://www.disasterhistory.org/central-china-flood-1931#METRICS>

CRED (2018). Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 33 p.

Davies, Richard (2013). Central China Floods 1931. Floodlist. Acceso set 2019. <http://floodlist.com/asia/central-china-floods-1931>

EM-DAT (2019). The Emergency Events Database. Université catholique de Louvain (UCL). Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). D. Guha-Sapir. www.emdat.be, Brussels, Belgium. Acceso 2019.

IFRC (2019). International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. Acceso set 2019. <https://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/sobre-desastres/de-finicion--de-peligro/peligros-complejos/>

IRDR (2014). Integrated Research on Disaster Risk. Peril Classification and Hazard Glossary IRDR DATA Publication No. 1. Beijing. 28 p.

Masa, Andrés (2018). China, 1931: las crecidas más mortales de la historia. The Weather Channel. Acceso set 2019. https://weather.com/es-ES/espana/tiempo/news/2018-04-09-china_1931_crecida_mortal

ONU (2015). Organización de las Naciones Unidas. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres. 2015-2030. 15 Marzo 2015. 37 p.

ONU (2016). Organización de las Naciones Unidas. Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres. Asamblea General. Septuagésimo primer período de sesiones. Tema 19 c) del programa. Desarrollo Sostenible: reducción del riesgo de desastres. Ginebra, Suiza. 1 dic 2016. 39 p.

Pletcher, Kenneth (2011). Yangtze River Floods. Encyclopaedia Britannica. Acceso set 2019. <https://www.britannica.com/science/Yangtze-River-floods>.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Scuderi, C. M., Postiglione, R., Riccardi, G. A. y Stenta, H. R. (2019). Caracterización de desastres naturales y tecnológicos con énfasis en desastres hidrológicos. *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 65-79. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.129

Tipo de Publicación: NOTA TÉCNICA.

Trabajo recibido el 01/08/2019 y aprobado para su publicación el 09/11/2019.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

INTRODUCCION

La Revista CUADERNOS DEL CURIHAM es una publicación de periodicidad anual (publica cada diciembre) editada por el Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM), Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

La revista tiene como objetivo la divulgación de trabajos de investigación básica y aplicada, como así también innovaciones tecnológicas en el campo concerniente a la disciplina hidroambiental. Además, esta publicación puede incluir resultados de investigaciones de campo, estudios interdisciplinarios como así también trabajos acerca de estado del arte en la temática.

Las temáticas comprendidas son: Hidráulica Fundamental, Fluvial e Hidrodinámica; Hidrología Superficial y Subterránea; Hidrología Urbana; Estocástica; Planeamiento y Manejo de Recursos Hídricos; Evaluación Ambiental; Contaminación y Calidad de aguas; Política y Legislación de Aguas; Gerenciamiento Hidroambiental Regional; Obras Hidráulicas, Métodos y Técnicas Constructivas; y todos aquellos temas relacionados con las ciencias hidroambientales. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, docentes, estudiantes de posgrado y grado y profesionales de las áreas afines a la temática de la misma.

Los artículos y notas técnicas que se propongan para su publicación en CUADERNOS DEL CURIHAM deberán ser originales y no haber sido publicados previamente, y no estar simultáneamente propuestos para tal fin en otra publicación. La responsabilidad del contenido, originalidad y autenticidad de los artículos o notas técnicas corresponde a los autores.

Los autores no pagan ningún costo por el procesamiento; envió y publicación de los artículos y notas técnicas a la revista.

Ante cualquier consulta comuníquese a revistac@fceia.unr.edu.ar o curiham@fceia.unr.edu.ar.

CLASIFICACION DEL TRABAJO

•**Artículo:** documento científico inédito que trata y comunica por primera vez los resultados de una investigación o innovación exitosa, cuyas contribuciones aportan e incrementan el conocimiento actual en materia hidroambiental. Máximo 25 páginas (incluido tablas, gráficos y figuras).

•**Nota Técnica:** documento inédito en donde se realiza una revisión de un tópico específico o una aplicación de una técnica estándar o trabajos derivados de la práctica profesional en el campo hidroambiental. Máximo 10 páginas (incluido tablas, gráficos y figuras).

GENERAL

Los artículos y notas técnicas serán sometidos a arbitraje por un Consejo Revisor.

El artículo deberá ser escrito preferentemente en su forma definitiva en español, portugués o inglés.

Los trabajos y toda correspondencia deberán ser remitidos mediante correo electrónico a revistac@fceia.unr.edu.ar con copia a curiham@fceia.unr.edu.ar

El archivo debe tener formato de página A4 (210 mm x 297 mm) con márgenes. Superior: 4 cm; Inferior: 3.7 cm ; Izquierdo: 3 cm; Derecho: 2.5 cm; Encabezado 3 cm; Pie de Página: 2.3 cm.

La fuente será Times New Roman 10 con interlineado simple.

Primera página: una columna. Páginas siguientes: 2 Columnas de ancho: 7.5 cm con espacio de 0.5 cm.

El autor cuenta con una plantilla para el formato del trabajo.

ESTRUCTURA DEL TEXTO

Utilizar Microsoft Word del paquete de Office 2007 o superior, a espacio simple, y doble cuando intervengan fórmulas.

Se recomienda utilizar como separador decimal el punto en el cuerpo del texto, tablas, figuras, ecuaciones, etc. Se marcará la división entre millares con un espacio en blanco.

Los párrafos del texto deberán contar con alineación justificada y comenzarán sin tabulado o sangrado.

No utilizar el encabezado y/o el pie de página para indicar referencias o notas.

Títulos

Título primario: deberá escribirse en mayúsculas y negrita dejando dos líneas en blanco por arriba, una por debajo y alineado a la izquierda.

Título Secundario: deberá escribirse en minúsculas y negrita dejando una línea en blanco por arriba, una por debajo y alineado a la izquierda.

Título Terciario y sucesivos: deberán escribirse en minúsculas y negrita dejando una línea en blanco por arriba, ninguna por debajo y alineado a la izquierda.

Primera Página

Título en el idioma del trabajo. Máximo 2 renglones. Mayúsculas y negrita con alineación centrada.

Datos del/los autor(es). Nombre y Apellido completos, filiación institucional, Ciudad, Nacionalidad, correo electrónico.

Resumen no mayor a 200 palabras, en su forma definitiva y en inglés (si el trabajo está en inglés el resumen debe realizarse en inglés y en español).

Palabras claves en ambos idiomas (máximo 5).

Páginas siguientes

El trabajo tendrá, en lo posible, la siguiente estructura: Introducción; Objetivos; Materiales y Métodos, Resultados, Conclusiones y Referencias bibliográficas. No se admiten anexos.

Formato de Figuras, Tablas, Fotos, Mapas

Las tablas, imágenes, fotos, gráficas, figuras y mapas deberán adaptarse al espacio disponible respetando 1 ó 2 columnas en su ancho.

Enumerar los objetos (figuras, tablas, fotos, mapas, etc)_ en el orden en cual se hacen referencias en el texto, ej. Figura 1, Figura

2, etc. No está permitido el uso de enumeración como Figura 1a; o Tabla 2a.

Las tablas deben presentarse con tipografía Times New Roman 9 PT. Deben estar en blanco y negro o escala de grises con contrastes bien definidos. Deben estar con bordes delimitados con línea continua.

Los enunciados, nombres y numeración de las tablas, gráficos, fotos, mapas, figuras, etc., deberán estar en Times New Roman 8 PT, en negrita y centrado. Para las imágenes, fotos, gráficas, figuras y mapas deberá ubicarse abajo del objeto. Para las Tablas deberá ubicarse arriba de la misma.

Las tablas no deben ser imágenes, sino texto editable.

En la versión enviada para papel, las imágenes, fotos, gráficas, mapas y figuras deben estar pegadas en el texto como imagen de metarchivo mejorado: en blanco y negro o escala de grises con contrastes bien definidos.

Para la versión en línea, las imágenes, fotos, gráficas, figuras y mapas deberán tener una resolución de 300 dpi en color (tamaño no menor a 13X18 cm) y debe ser un solo elemento por figura. Las imágenes, fotos, gráficas, figuras y mapas deben ser remitirlas en archivo aparte (formatos JPG o TIFF).

En ambos casos (figuras en versión impresa y en versión digital), los textos dentro de las figuras deben estar en Times New Roman equivalente a un tamaño 8 o 9 PT en su tamaño definitivo.

Formato de las ecuaciones

Las ecuaciones deben numerarse consecutivamente tal como sean citadas en el texto, con números arábigos y deben ser referenciadas de la siguiente forma: ecuación (3). Deben dejarse espacios arriba y debajo de cada ecuación. Las ecuaciones deberán estar formadas con el editor de ecuaciones de word, otros formatos de ecuaciones serán rechazados.

Agradecimientos

Se incluirán después del texto y antes de las referencias.

Citas y Referencias bibliográficas

Para las citas y las referencias se usarán las Normas APA (American Psychological Association) 6° edición.

Citas:

Dentro del texto se usará el sistema de citación Autor-Fecha. Todas las citas deben corresponderse con una referencia bibliográfica. Por otro lado, no debe incluirse en la lista bibliográfica ninguna fuente que no aparezca referenciada en el texto.

Referencias bibliográficas

La lista bibliográfica se hace por orden alfabético de los apellidos de los autores y se le coloca sangría francesa.

En caso de que el mismo autor o mismos autores tengan más de un trabajo en la lista de referencias, se procederá a ordenar por el año de la publicación comenzando por los más antiguos.

En caso de que el mismo autor o mismos autores tengan más de un trabajo en la lista de referencias con el mismo año de publicación, se procederá a ordenar por el título del trabajo. Se usarán las letras a, b, c,... después del año dentro del paréntesis, para su diferenciación (2010a, 2010b, etc.).

Libro: Apellido, A. A. (Año). Título. Ciudad, País: Editorial

Libro con editor: Apellido, A. A. (Ed.). (Año). Título. Ciudad, País: Editorial.

Libro electrónico: Apellido, A. A. (Año). Título. Recuperado de <http://www...>

Libro electrónico con DOI: Apellido, A. A. (Año). Título. doi: xx

Capítulo de libro: únicamente en los casos de libros compilatorios y antologías donde cada capítulo tenga un autor diferente y un compilador o editor: Apellido, A. A., y Apellido, B. B. (Año). Título del capítulo o la entrada. En A. A. Apellido. (Ed.), Título del libro (pp. xx-xx). Ciudad, País: Editorial.

Publicaciones periódicas formato impreso: Apellido, A. A., Apellido, B. B., y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp-pp.

Publicaciones periódicas con DOI: Apellido, A. A., Apellido, B. B. y Apellido, C. C. (Fecha). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp-pp. doi: xx

Publicaciones periódicas online: Apellido, A. A. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen(número), pp-pp. Recuperado de <http://www...>

Artículo de periódico impreso: Apellido A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico, pp-pp. O la versión sin autor: Título del artículo. (Fecha). Nombre del periódico, pp-pp.

Artículo de periódico online: Apellido, A. A. (Fecha). Título del artículo. Nombre del periódico. Recuperado de <http://www...>

Tesis de grado: Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Nombre de la institución, Lugar.

Tesis de grado online: Autor, A. y Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Recuperado de <http://www...>

Referencia a páginas webs: Apellido, A. A. (Fecha). Título de la página. Lugar de publicación: Casa publicadora. Recuperado de <http://www...>

Fuentes en CDs: Apellido, A. (Año de publicación). Título de la obra (edición) [CD-ROM]. Lugar de publicación: Casa publicadora.

Foros en internet, lista de direcciones electrónicas y otras comunidades en línea: Autor, (Día, Mes, Año) Título del mensaje [Descripción de la forma] Recuperado de <http://www...>

CARTA DE ORIGINALIDAD

Es indispensable remitir la Carta de originalidad firmada por todos los autores del trabajo. Enviar a: revistac@fceia.unr.edu.ar y a curiham@fceia.unr.edu.ar.

DATOS DE LOS AUTORES

Los autores del trabajo deben enviar los datos de filiación completa, dirección postal, dirección de e-mail, especialidad o área de conocimiento, cargos actuales y títulos (Ingeniero, Magister, Doctor. Mención completa y entidad de otorgamiento). Enviar a: revistac@fceia.unr.edu.ar y a curiham@fceia.unr.edu.ar.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO ESCRITO.

Lugar y Fecha:.....

Sra. Editora Responsable
Adelma Mancinelli
Revista CUADERNOS DEL CURIHAM
Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario

Por medio de la presente CERTIFICO que el artículo/nota técnica titulado:

.....
.....

que presento a la Revista CUADERNOS DEL CURIHAM, editada por el Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario no ha sido publicado previamente y me comprometo a no someterlo a consideración de otra publicación mientras este en proceso de evaluación en la Revista CUADERNOS DEL CURIHAM ni posteriormente en caso de ser aceptado para su publicación.

Declaro que el artículo es original y sus contenidos son producto de mi directa contribución intelectual.

Declaro que todos los materiales están libres de derechos de autor y me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de responsabilidad a la Universidad Nacional de Rosario.

En el caso de que sea aprobado el artículo, autorizo de manera ilimitada en el tiempo a la Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales para que incluya el texto en la Revista CUADERNOS DEL CURIHAM y pueda reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo tanto en el país como en el extranjero por medios impresos, electrónicos, CD, internet, o cualquier otro medio conocido o por conocer.

Nombre y Apellido

Firma

CUADERNOS DEL CURIHAM
Volumen 25

Procesado gráfico integral
UNR EDITORA

EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
Secretaría de Extensión Universitaria
Urquiza 2050 - S2000AOB / Rosario - República Argentina
www.unreditora.unr.edu.ar / editora@sede.unr.edu.ar
Edición de 100 ejemplares
Año 2019

