

# Inundación y cambio climático: multicausalidad en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay entre 1990-2021

Flooding and climate change: multicausality in the city of Santa Lucía, Uruguay between 1990 and 2021


## AUTORÍA

Lucía Eluén 

Grupo académico Geografía, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay.

Marcel Achkar 

Grupo académico Geografía, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay.

Feline Schön 

Grupo académico Geografía, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay.

## DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.26770>

## CITACIÓN

Eluén, L., Achkar, M., & Schön, F. (2024). Inundación y cambio climático: multicausalidad en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay entre 1990-2021. *Investigaciones Geográficas*, (82), 63-84. <https://doi.org/10.14198/INGEO.26770>

## CORRESPONDENCIA


Lucía Eluén ([leluen@fcien.edu.uy](mailto:leluen@fcien.edu.uy))

## HISTORIA

Recibido: 11 enero 2024  
Aceptado: 30 abril 2024  
Publicado: 10 julio 2024  
(Publicación anticipada: 6 junio 2024)

## TÉRMINOS

© Lucía Eluén, Marcel Achkar, Feline Schön

 Este trabajo se publica bajo una licencia Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

## Resumen

Con la finalidad de caracterizar la variabilidad de las inundaciones en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay, el objetivo del trabajo fue analizar a nivel de cuenca la incidencia de factores como la variabilidad climática y las transformaciones en los usos y coberturas del suelo en la ocurrencia de este fenómeno. Específicamente, se evalúa la incidencia de la variabilidad de las precipitaciones e intensificación productiva en relación a los cambios en el nivel del cauce. Se seleccionaron estaciones pluviométricas y del nivel del cauce para evaluar tendencias climáticas entre 1990 y 2021 y se determinaron los Cambios de Uso y Cobertura del Suelo (CUCS) mediante teledetección. Los resultados muestran para Santa Lucía una tendencia de disminución en la cantidad y duración de los eventos de crecida en otoño y parcialmente en la cantidad de eventos de crecida en verano y primavera; así como un aumento en la duración de eventos de alerta en invierno. Se identifican dos patrones: a) inundaciones condicionadas por los aportes provenientes del río Santa Lucía Chico y b) inundaciones condicionadas por los aportes de las nacientes del río Santa Lucía. Un rol importante juega la asociación entre el CUCS y el comportamiento climático de la distribución espacial de las precipitaciones, pero también, el manejo de la represa Paso Severino. Los eventos concomitantes que inciden en las inundaciones, evidencian la necesidad de ampliar las variables de estudio para el análisis de la gestión de las inundaciones.

**Palabras clave:** cambio de uso y cobertura del suelo; ciudades inundables; crecidas; cuencas hidrográficas; gestión integral del riesgo; América del Sur.

## Abstract

In order to characterize the variability of floods in the city of Santa Lucía, Uruguay, the objective of this study is to analyze at the basin level how factors such as climate variability and changes in land use and cover influence the occurrence of this phenomenon. Specifically, it evaluates the incidence of rainfall variability and productive intensification in relation to changes in riverbed level. Rainfall and channel level stations have been selected to evaluate climatic trends between 1990 and 2021 and the Land Use and Cover Changes (LUCC) have been determined by remote sensing. The results show, for Santa Lucía, a decreasing trend in the number and duration of flood events in autumn and partially in the number of flood events in summer and spring. They also reveal an increase in

the duration of warning events in winter. Two patterns can be identified: a) floods conditioned by inflows from the Santa Lucía Chico river and b) floods conditioned by inflows from the headwaters of the Santa Lucía river. An important role is played by the association between the LUCC and the climatic behavior of the spatial distribution of precipitation, but also by the management of the Paso Severino dam. The concomitant events that influence floods show the need to broaden the study variables to include the analysis of flood management.

**Keywords:** land use and cover change; urban waterscapes; floods; hydrographic basin; integrated risk management; South America.

## 1. Introducción

El cambio en el régimen de eventos de inundaciones en espacios urbanos es una problemática global actual, que genera amenazas y riesgos continuos para la sociedad. En relación a esta realidad, el rol de los humedales urbanos es un área poco investigada en las ciencias ambientales, aunque se ha demostrado que el cambio de uso y cobertura del suelo urbano tiene impactos complejos en la hidrología de las cuencas (Schön et al., 2022; Hettiarachchi et al., 2014; Paul & Meyer, 2001). Los humedales son sistemas ambientales altamente dinámicos (Naiman et al., 2005) y cada vez más se entiende su importancia en la adaptación al cambio climático, por su contribución al equilibrio de los flujos de agua en periodos de crecida y sequía (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010). Sin embargo, la importancia de los humedales en relación con los eventos de inundación no es considerada, y se continúa con la creciente urbanización en las planicies de inundación (Baptista et al., 2017).

Especialmente en relación con el cambio climático se presenta un nuevo escenario ya que cada vez se observan más fenómenos meteorológicos extremos (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2021). Esta realidad implica, que tanto los humedales como las poblaciones locales se vuelven más vulnerables, ya que probablemente los eventos de inundación aumenten (Xiao et al., 2016). Por lo que la ubicación de los asentamientos urbanos en zonas bajas es un factor de riesgo (Sheng et al., 2022). Las inundaciones son originadas principalmente por precipitaciones intensas, pero también otros factores pueden estar asociados a sus causas, como la reducción de la capacidad de infiltración del suelo, la impermeabilización y/o la saturación de la napa freática (Baptista et al., 2017; Benavides et al., 2018), cuestiones que se relacionan directamente con el uso y cobertura del suelo (Aliste et al., 2012; García et al., 2018).

La fuerte presencia del modelo agroexportador en la región Pampa de América del Sur está asociada con el avance de la frontera agrícola que se caracteriza por la implementación de monocultivos, la siembra directa y la aplicación de paquetes tecnológicos con mayor demanda de agroquímicos y combustibles fósiles (Svampa, 2019); lo que facilita que la expansión e intensificación agrícola llegue a tierras que no se habían usado para tales fines. Este proceso es favorecido por el aumento en la demanda global de los nuevos *commodities*, y conlleva a cambios ambientales importantes (Brazeiro et al., 2020; García Préchac et al., 2010). Estos Cambios en el Uso y Cobertura del Suelo (CUCS) impactan también en el régimen hidrológico, modificando sustancialmente el ciclo hidrológico debido a la intensificación productiva, y por esta razón se vincula de forma directa con impactos negativos en la capacidad de regulación del suelo (Benavides et al., 2018; Rollán & Bachmeier, 2014) y, por lo tanto, en la capacidad de respuesta del sistema ante posibles eventos de inundación. Según Delgado et al. (2020), la variabilidad climática y los CUCS son dos impulsores críticos de la alteración hidrológica de las cuencas hidrográficas.

Por otro lado, el desarrollo de infraestructuras en los cursos fluviales, como las represas con fines de abastecimiento de agua, también pueden ser considerados relevantes en la dinámica hidrológica de los sistemas fluviales (World Commission on Dams, 2000). Además, el manejo del régimen hídrico puede alterar la variabilidad natural de los caudales, tanto en su magnitud como en el momento de ocurrencia, incidiendo en la dinámica de inundación de las planicies aluviales y su biodiversidad acuática asociada (Hirsch et al., 1990; Bunn & Arthington, 2002).

Estas transformaciones generan cambios en los sistemas hidrológicos, con algunas problemáticas asociadas, como por ejemplo las inundaciones. Esta realidad se puede observar en la ciudad de Santa Lucía (Uruguay), que se encuentra en la cuenca más importante del país por ser la fuente de agua potable de más del 60 % de la población de Uruguay (Achkar et al., 2013).

Frente al escenario de cambio climático es imprescindible generar estrategias de manejo de las cuencas (Achkar, 2013), que consideren como eje central la funcionalidad multidimensional del sistema y la interdependencia de sus componentes, entre los objetivos de gestión es importante la prevención de desastres en áreas urbanas a través del ordenamiento territorial sustentable (Nightingale et al., 2019; Schön et al., 2022).

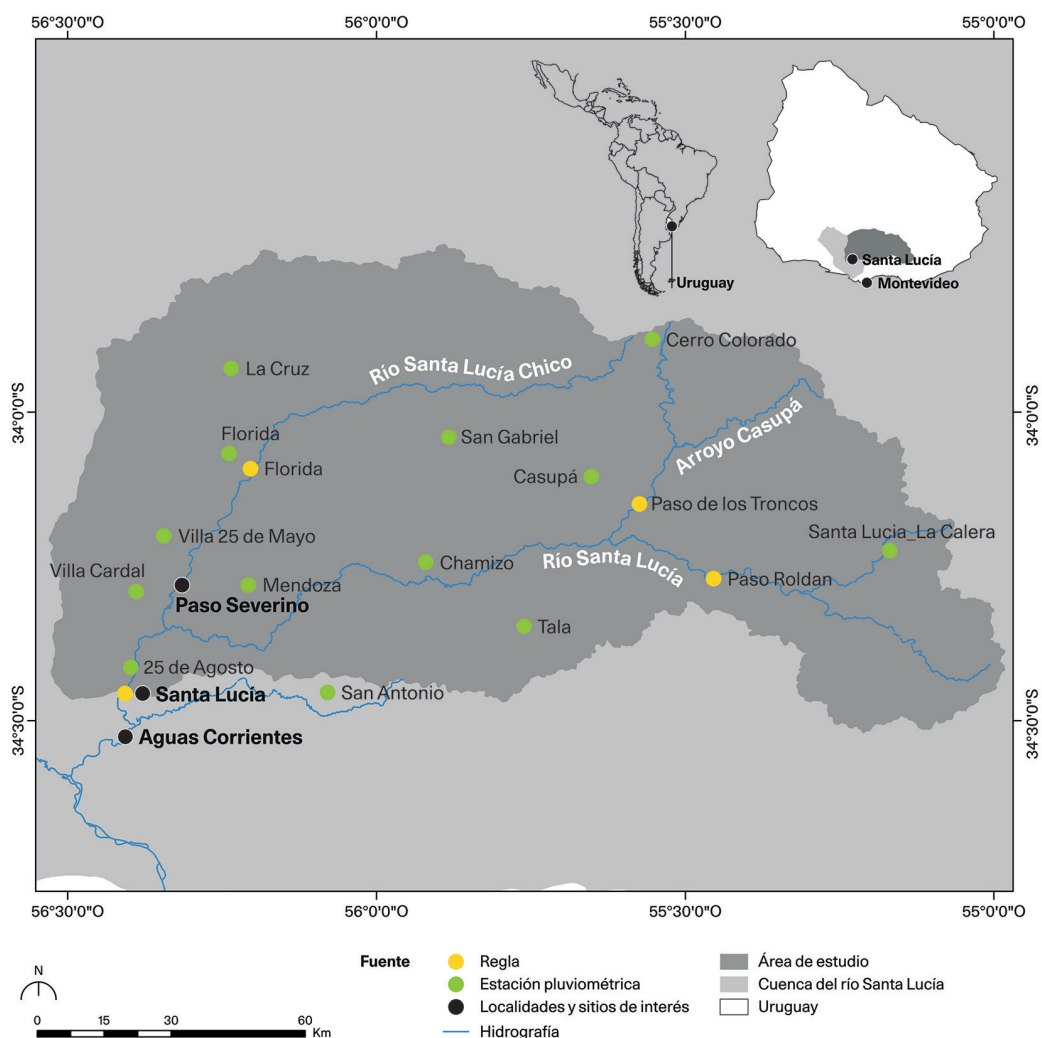
Con la finalidad de caracterizar la variabilidad de las inundaciones en la ciudad de Santa Lucía, Uruguay, el objetivo del trabajo fue analizar a nivel de cuenca la incidencia de factores como la variabilidad climática y las transformaciones en los usos y coberturas del suelo en la ocurrencia de este fenómeno. Específicamente, se evalúa la incidencia de la variabilidad de las precipitaciones e intensificación productiva en relación a los cambios en el nivel del cauce del río.

## 2. Metodología

### 2.1. Área de estudio

Uruguay se encuentra en el bioma Pampa, en la baja cuenca del río de la Plata en América del Sur. El clima es templado subtropical y no presenta una estación lluviosa, ya que el promedio de las precipitaciones se distribuye a lo largo del año de manera no estacional. El caso de estudio es la ciudad de Santa Lucía y su área de estudio es la cuenca que comprende la superficie de la cuenca del río Santa Lucía que drena hasta la Estación de relevamiento del nivel del río, regla ubicada en el puente de la ruta 11 a la altura de la ciudad (Figura 1). La ciudad de Santa Lucía, que en 2011 tenía 16.742 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2011), presenta el 65 % de su urbanización en área de humedal (Schön, 2021). Además, es la primera ciudad del departamento y séptima a nivel nacional, con mayor riesgo de inundación (Dirección Nacional de Aguas [DINAGUA], 2022a). La ciudad se localiza al margen del río Santa Lucía, aguas arriba de la ciudad se encuentra la represa Paso Severino inaugurada en 1988 y aguas abajo la usina y planta potabilizadora de Aguas Corrientes construida en 1868.

Figura 1. Área de estudio



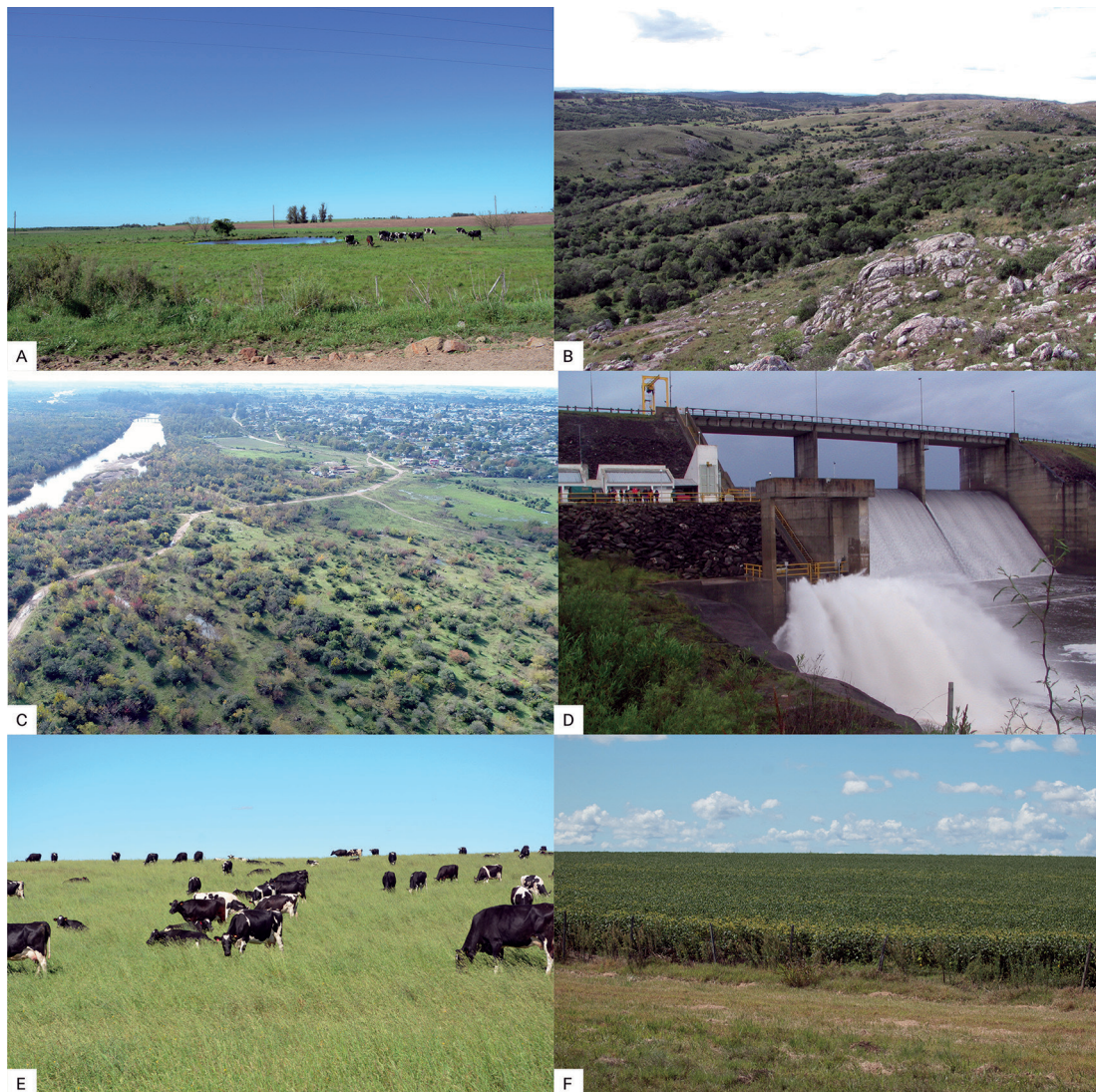
Localización del área de estudio, a nivel de América del Sur, a nivel de Uruguay y a nivel de cuenca hidrográfica. Localización de las estaciones pluviométricas y de los niveles del cauce (reglas). Proyección: UTM Zona 21S; Datum: WGS 1984

Fuente: DINAGUA, 2021; Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], 2021. Elaboración propia

El entramado urbano afectado por las inundaciones está localizado en la planicie de inundación, y abarca el barrio El Caimán e inmediaciones de la zona histórica de la ciudad (DINAGUA, 2022b). El evento de mayor afectación registrado para el período de estudio fue en 2019 (DINAGUA, 2022b), en que las inundaciones alcanzaron zonas que no suelen inundarse y presentó un saldo de dos fallecidos, 153 evacuados y 838 autoevacuados (Sistema Nacional de Emergencia [SINAE], 2022). A pesar de que a nivel nacional no existe un registro sistemático de las afectaciones por inundación anterior al año 2018, en 2010 se registró 200 evacuados y 67 viviendas afectadas, en menor medida en 2007 se registró 30 evacuados y 10 viviendas afectadas y en 2011 se registró seis autoevacuados, dos viviendas afectadas (SINAE, 2017).

El área de estudio es una cuenca que se encuentra en el sur del país y ocupa una superficie de 8.374 km<sup>2</sup> (Figura 2), su curso principal el río Santa Lucía con 208 km, y recibe como principal tributario al río Santa Lucía Chico. El relieve se caracteriza por ser ondulado suave a ondulado fuerte (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca [MGAP], 1994). Las nacientes orientales son una zona de sierras, caracterizada por el interfluvio de las cuchillas grandes del este, que, por la geometría de la cuenca, es una zona de amplia captación hídrica con pendiente pronunciada que disminuye hacia la desembocadura formando una depresión que acumula sedimentos y se corresponde con la zona geológica de la fosa del río Santa Lucía, donde predomina el paisaje de lomadas y llanuras y planicies fluviales. En el margen oeste de la cuenca, donde se encuentra el río Santa Lucía Chico, se encuentran las colinas y lomadas cristalinas. Los suelos predominantes son Brunosoles y Vertisoles (Achkar et al., 2013; MGAP, 1994).

Figura 2. Paisajes característicos del área de estudio



A. Zona media del río Santa Lucía Chico; B. Naciente occidental del río Santa Lucía; C. Sistema ripario y ciudad de Santa Lucía; D. Represa Paso Severino; E y F. Paisajes agrarios.

Fotografías de los autores. Elaboración propia

## 2.2. Estrategia Metodológica

La estrategia metodológica se basó en identificar patrones sobre la ocurrencia de los eventos de inundación en la ciudad de Santa Lucía. Para eso se analizó la respuesta hidrológica del área de estudio a los factores climáticos e intensificación productiva. En particular, las variables analizadas son incidencia de la variabilidad de las precipitaciones y CUCS, en los cambios del nivel de cauce. Se seleccionaron puntos de estaciones pluviométricas y de nivel del cauce (reglas) con una distribución tal que permita cubrir la superficie del área de estudio y con datos disponibles para un período de treinta años que permita evaluar tendencias climáticas (Organización Meteorológica Mundial, 2018) entre 1990 y 2021. Para analizar el comportamiento de las variables, nivel del cauce y precipitación, se trabajó con series históricas de datos y se evaluó para cada punto las tendencias globales (acumulado mensual) y por estación del año (acumulado estacional); también se analizó la relación entre las series históricas de cada variable y entre variables. Se determinaron los cambios de uso y cobertura del suelo entre 1990 y 2019, a partir de la variación de superficie de cada clase de uso y cobertura del suelo identificada mediante teledetección.

### 2.2.1. Variabilidad de los eventos de inundación: nivel del cauce

Para evaluar tendencias en los eventos de inundación se analizó la variabilidad de los niveles del cauce en cuatro puntos (Tabla 1), distribuidos en las estaciones de relevamiento de las reglas (Figura 1). Los eventos de inundación se determinaron a partir de los datos diarios de altura del nivel del cauce proporcionados por DINAGUA (2021). Se consideraron como eventos de inundación dos niveles de altura del cauce. Nivel de crecida: son los eventos de inundación en que la altura del cauce se encuentra con su canal completo, es decir, el agua del río llega hasta el borde del canal o desborda y comienza a inundar la planicie de inundación. Nivel de alerta: son los eventos de inundación en los que la altura del nivel del cauce implica daños para los habitantes, ya que el río inunda la planicie de inundación hacia zonas urbanas y rurales habitadas, afectando la caminería, cunetas, accesos, aislamiento de campos o primeras viviendas.

Tabla 1. Nivel de crecida y alerta para las reglas del área de estudio

Estación de relevamiento de nivel del cauce /reglas	133.0 Santa Lucía Puente Ruta 11	53.1 Florida Puente Ruta 5	119.0 Paso de los Troncos Puente Ruta 40	117.0 Paso Roldán Puente Ruta 108
Localización en la cuenca	Ciudad de Santa Lucía	Naciente occidental	Naciente oriental	Naciente oriental
Cauce	Río Santa Lucía	Río Santa Lucía Chico	Arroyo Casupá	Río Santa Lucía
Nivel de crecida (m)	4,5	5	1,8	5
Nivel de alerta (m)	8	6,2	5	12

Fuente: Salida de campo 31.04.2022, con excepción de los niveles de alerta de Santa Lucía y Florida en base a proyecto Euroclima + sobre mapas de riesgo de inundación proporcionado por DINAGUA, 2021. Elaboración propia

A partir de la determinación de los niveles de altura del cauce considerados eventos de inundación, se generaron cuatro series categóricas por regla, cantidad de eventos de crecida, cantidad de eventos de alerta, duración de los eventos de crecida y duración de los eventos de alerta de los cauces. Para cuantificar la cantidad de eventos se consideró el número de eventos y se trabajó con la sumatoria mensual y estacional; para cuantificar la duración de los eventos se consideró la cantidad de días que duró cada evento y se trabajó con los promedios mensuales y estacionales.

Estas series permitieron obtener la sumatoria y duración de los eventos mensuales (utilizada para la evaluación global) y estacionales, con las cuales se exploró la presencia de tendencias significativas ( $p < 0,05$ ) y parcialmente significativas ( $0,05 \geq p \geq 0,1$ ) en la cantidad y duración de eventos de crecida y alerta de los cauces, mediante el test Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) utilizado para evaluar tendencias en series temporales hidrometeorológicas (Caorsi et al., 2018; Hirsch & Slack, 1984; Schön, 2021).

Por otro lado, se analizó la relación entre los niveles de los cauces del área de estudio. Para ello se evaluó la existencia de asociaciones estadísticamente significativas entre cada set de reglas por cada serie categórica (de cantidad y duración de eventos de crecida y alerta) según acumulado mensual y estacional, a partir del test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's  $r_s$  (Legendre & Legendre, 1998), el cual considera que la correlación es significativa cuando los valores se acercan a 1.

### 2.2.2. Variabilidad climática: comportamiento de las precipitaciones

Para evaluar la variación de la precipitación en el área de estudio se analizaron 13 estaciones pluviométricas (Figura 1), se utilizaron los registros de dichas estaciones debido a que se encuentran dentro del área de estudio o muy próximas (dos) y presentan registros durante todo el período de trabajo.

Se trabajó con datos diarios de precipitación de las series históricas proporcionados por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) (2021). El análisis realizado exploró posibles tendencias aplicando el test Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) a dos niveles, considerando las precipitaciones acumuladas mensuales y estacionales, para eso se sumaron los acumulados diarios generando dos series categóricas de acumulado.

Se evaluó la existencia de asociaciones estadísticamente significativas de la variación espacial de las precipitaciones a partir del test no paramétrico de Spearman's  $\rho_s$ , correlacionando las series pluviométricas de acumulado mensual y estacional por separado. En tanto que, para analizar la relación entre precipitación y nivel del río, se correlacionó cada una de las series estacionales de los eventos de inundación (nivel de crecida y alerta) de la regla en la ciudad de Santa Lucía con las series estacionales de precipitación de las 13 estaciones pluviométricas, a partir del test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's  $\rho_s$  (Legendre & Legendre, 1998).

### 2.2.3. Transformaciones espaciales: cambio de uso y cobertura del suelo

Para evaluar las principales transformaciones en los usos y coberturas del suelo del área de estudio se compararon las capas de uso y cobertura del suelo de los años 1990 y 2019 mediante su procesamiento en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se considera este periodo, ya que permite comparar con las series de los eventos de inundación y precipitaciones de treinta años y además incluye una fecha anterior al tiempo de intensificación agraria en Uruguay, según resultados de Domínguez et al. (2018) y Gazzano et al. (2019).

Para la determinación de la situación actual del uso y cobertura del suelo se trabajó con una clasificación realizada por la División de Información Ambiental de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) del Ministerio de Ambiente del año 2019, en la cual se realizaron ajustes y simplificación para obtener seis categorías (Humedales, Bosque serrano, Campo natural, Forestación, Cultivos e Infraestructura). Para la comparación con la situación inicial de la serie temporal en estudio, se generó una cobertura de uso del suelo para el año 1990, a partir de una imagen TM/Landsat-5 del 16/10/1990 donde se realizó una clasificación supervisada. Se parte de identificar una serie de puntos (78, distribuidos en las 6 categorías) sin cambios en el CUCS entre la imagen de 1990 y 2019, se trabaja con las mismas categorías ajustadas de la clasificación de 2019. Para la clasificación supervisada se utiliza el 60 % de los puntos y los 40 restantes para evaluar el resultado de la clasificación. La comparación de los CUCS tiene nivel de aceptación a escala 1:50.000.

Sobre la base de los resultados de Domínguez et al. (2018) y Gazzano et al. (2019) se determinó la intensidad de uso del suelo, tipo de CUCS por superficie ocupada. A partir de estos resultados se vinculó la intensidad de uso y cobertura del suelo con los eventos de inundación para identificar cómo afectan los CUCS a la variación de los eventos de inundación. Para eso se analizó la variación de superficie de las clases de uso y cobertura de suelo a nivel de sub cuenca, la sub cuenca del río Santa Lucía Chico y la sub cuenca del río Santa Lucía desde la naciente oriental hasta la unión con el río Santa Lucía Chico.

## 3. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos para el área de estudio en relación con las tendencias del nivel del cauce, precipitación y la vinculación entre sí, para el período 1990-2021. Además, se muestran los cambios de uso y cobertura del suelo entre 1990 y 2019.

### 3.1. Comportamiento del nivel del río entre 1990-2021

Al analizar el comportamiento del nivel del río entre 1990-2021 en las cuatro reglas evaluadas se observa que sólo dos presentan variaciones en la ocurrencia de eventos de inundación con tendencias significativas según el test Mann Kendall, Santa Lucía y Florida. Por otro lado, se destaca que para la regla de Paso Roldán no se registraron eventos de alerta.

El comportamiento de los eventos de inundación, indica que en la regla de Santa Lucía la tendencia global es a una disminución significativa en la cantidad y duración de los eventos de crecida ( $p: 0,0077622$  y  $Z: -2,6622$ ;  $p: 0,034289$  y  $Z: -2,1167$  respectivamente) (Anexo 1).

Al evaluar el comportamiento de los eventos de crecida por estación del año (Anexo 2 y 3), se observa que en otoño la tendencia es de disminución significativa en la cantidad (con  $p: 0,013495$ ;  $Z: -2,4704$ ) y duración ( $p: 0,048776$ ;  $Z: -1,9705$ ). En verano y primavera se observa una disminución parcialmente significativa de la cantidad de eventos de crecida (con un  $p: 0,0601160$ ;  $Z: -1,8799$  y  $p: 0,084661$ ;  $Z: -1,7243$  respectivamente). Por otro lado, la duración de los eventos de alerta (Anexo 3) es significativamente creciente en invierno ( $p: 0,029325$ ;  $Z: 2,1791$ ).

Para la regla de Florida (Anexo 2 y 3) en otoño la tendencia también es a disminuir significativamente el número de eventos de crecida (con  $p: 0,03116$ ;  $Z: -2,1307$ ). En tanto que en invierno la ocurrencia de eventos de alerta presentó una tendencia significativamente creciente en la cantidad ( $p: 0,039011$ ;  $Z: 2,0641$ ) y la duración de los eventos ( $p: 0,019381$ ;  $Z: 2,3381$ ), también la tendencia de la duración de los eventos de crecida es significativamente creciente en invierno ( $p: 0,030237$ ;  $Z: 2,167$ ).

Entre marzo de 1990 y setiembre de 2021, la regla de Santa Lucía registró 210 eventos de crecidas ( $\geq 4,5$  m) de las cuales 48 fueron eventos de alerta ( $\geq 8$  m, corte de ruta). Al identificar los eventos extremos y considerar la cota de seguridad empleada para la ciudad de Santa Lucía (9,64 m) (com. Pers. Alcalde Santa Lucía, 3 de junio, 2023), son 12 los eventos de alerta identificados, siendo el primer registro de la serie en el año 1997 (Tabla 2). Se destaca que los eventos de mayor magnitud se dan en los años 2016 y 2019. Según los acumulados diarios de precipitación esto se explica principalmente por las precipitaciones abundantes en los días previos y al inicio del evento de alerta.

Tabla 2. Eventos de inundación con nivel del río Santa Lucía mayor o igual a 9,64m

Estación del año	H(m) máxima registrada durante el evento	Duración del evento (días)
Verano 1997	9,80	4
Otoño 2002	10,00	4
Otoño 2002	10,25	3
Invierno 2006	9,90	3
Otoño 2007	9,67	5
Otoño 2007	10,15	5
Verano 2010	10,10	6
Primavera 2010	10,33	5
Otoño 2016	11,06	6
Invierno 2017	10,44	5
Invierno 2019	11,48	5
Primavera 2019	10,44	4

Fuente: DINAGUA, 2021. Elaboración propia

La variación espacial de los eventos de inundación en el área de estudio (Anexo 4) indica que, en términos globales, el comportamiento de los eventos de inundación en los cauces evaluados es similar y presenta asociaciones significativamente positivas según el test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's  $\rho$ s. La correlación del acumulado mensual de los eventos de crecida y alerta, indican valores de correlación significativos que varían entre 0,540 y 0,670.

Al evaluar las asociaciones entre los eventos de inundación (crecida y alerta) por estación (Anexo 5), se destaca que en casi todos los casos las asociaciones entre variables son significativamente positivas, con excepción en invierno para la correlación entre los eventos de crecida de las reglas de Paso Roldan y Florida y entre los eventos de alerta de las reglas de Paso de los Troncos y Florida. Las correlaciones significativas con asociaciones positivas más fuertes se presentan en otoño y las más débiles se presentan en invierno. En particular, las reglas de Santa Lucía y Florida por un lado y Paso de los Troncos y Paso Roldán por otro,

presentan un comportamiento similar entre ellas tanto en los eventos de crecida como de alerta. Esto se observa en los valores de correlación de la cantidad de eventos de crecida en otoño, invierno y para la correlación de la cantidad de eventos de alerta en verano, otoño e invierno y en la duración de eventos de alerta en invierno (Anexos 5 y 6).

Al comparar la relación entre la cantidad de eventos de crecida de la regla de Santa Lucía con las demás (Anexo 5), podemos decir que la correlación es mayor con Florida en otoño e invierno y con Paso de los Troncos en verano y primavera. En particular, en verano los valores más altos de correlación entre eventos de crecida se observan entre Paso Roldán y Paso de los Troncos con 0,896 y los valores más bajos de correlación entre eventos de crecida se dan entre Santa Lucía y Florida con 0,411. En otoño los niveles de correlación más altos se dan entre Santa Lucía y Florida con 0,798 y Paso Roldán y Paso de los Troncos con 0,718. Invierno es la estación con los valores de correlación más bajos, ya que los valores más altos de correlación se observan entre Santa Lucía y Florida con 0,559, y Paso Roldán y Paso de los Troncos con 0,514. En tanto que en primavera los valores más altos de correlación se dan entre Santa Lucía y Paso de los Troncos con 0,674, seguida de Santa Lucía y Florida con 0,652.

Al comparar la relación de la cantidad de eventos de alerta de la regla de Santa Lucía con las demás reglas (Anexo 5), se observa que la correlación es mayor con Florida en verano, otoño e invierno y con Paso de los Troncos en primavera. En particular, en verano se dan los valores más bajos de correlación de los eventos de alerta, donde los valores más altos de asociación positiva se dan entre Santa Lucía y Florida con 0,512. Otoño es la estación que presenta los valores más altos de asociaciones positivas, en que los eventos de alerta entre Santa Lucía y Florida presentan una correlación de 0,760. En invierno los valores más altos de correlación son entre Santa Lucía y Florida con 0,610. En tanto que en primavera Santa Lucía presenta los valores más bajos de correlación con Florida de 0,498; en comparación con Paso de los Troncos (0,502), siendo los valores más altos de correlación Florida y Paso de los Troncos con 0,671.

Al evaluar las asociaciones entre la duración de eventos de inundación por estación (Anexo 6), se destaca que en casi todos los casos las asociaciones entre variables son significativamente positivas, con excepción de la correlación en invierno entre los eventos de crecida de la regla de Paso de los Troncos y las restantes reglas y; entre los eventos de alerta entre Paso de los Troncos y Florida.

La variación espacial de la duración de los eventos de inundación en el área de estudio no muestra un patrón claro, aunque presentan asociaciones más fuertes a nivel general en otoño (crecidas entre 0,540 y 0,731; alertas entre 0,658 y 0,739) (Anexo 6). Se destaca que la duración de los eventos de crecida presenta la asociación más débil en invierno entre Santa Lucía y Florida (0,226). Por otro lado, en invierno la duración de los eventos de alerta presenta una asociación fuerte entre Santa Lucía y Florida (0,621), pero que no se diferencia con Paso de los Troncos (0,621).

Al comparar la relación de la duración de los eventos de alerta de la regla de Santa Lucía con las demás reglas (Anexo 6), podemos decir que la correlación es mayor en verano con Florida, en otoño con Paso de los Troncos, en invierno presenta igual asociación con Florida y Paso de los Troncos y en primavera con Paso de los Troncos. En particular, verano es la estación con valores de correlación más bajos a nivel general. En otoño se observan los valores más altos de correlación a nivel general, las asociaciones más fuertes son entre Santa Lucía-Paso de los Troncos (0,739) y Santa Lucía-Florida (0,728). Además, en invierno Santa Lucía presenta con Florida y Paso de los Troncos una correlación positiva y significativa en ambos casos (0,621). En primavera los valores de correlación más altos se dan entre Florida y Paso de los Troncos (0,665) y los más bajos entre Santa Lucía y Florida (0,629).

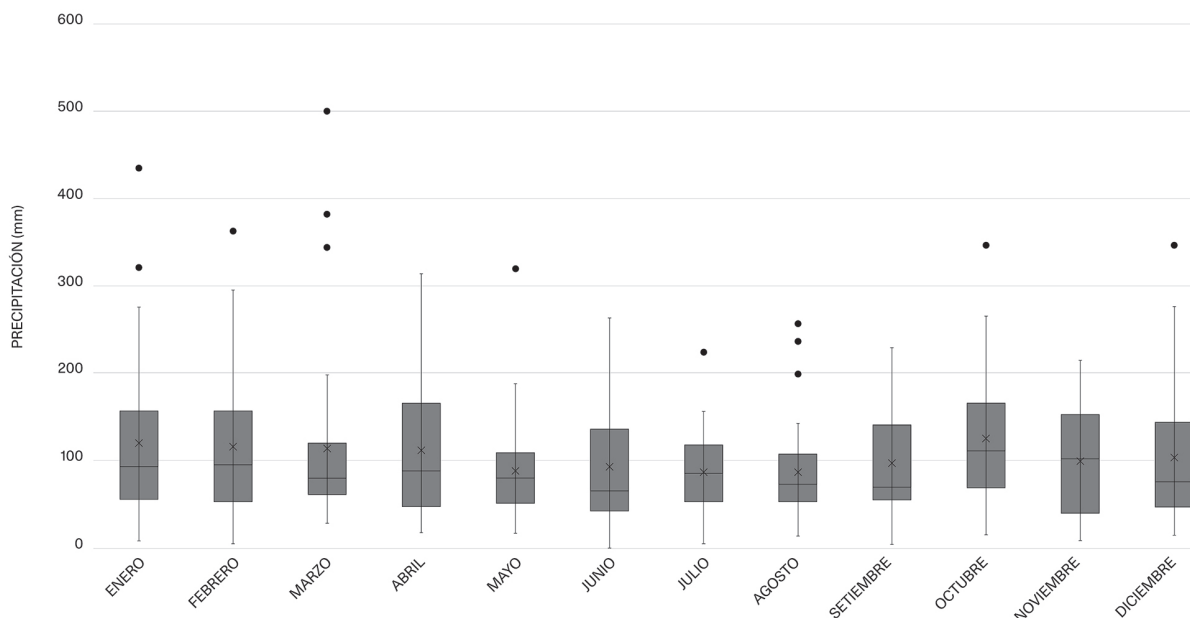
### 3.2. Comportamiento de las precipitaciones entre 1990-2021

El promedio del acumulado mensual de las precipitaciones entre 1990 y 2021, indica una distribución no estacional de las precipitaciones (Figura 3). Al analizar la tendencia global de la variación de las precipitaciones entre 1990-2021 se observa que, el análisis de las 13 series temporales de precipitación acumulada mensual, no mostraron tendencia significativa según el test Mann Kendall. Sin embargo, se hallaron tendencias parcialmente significativamente decrecientes de las precipitaciones en dos estaciones pluviométricas: 25 de Mayo ( $p= 0,056113$ ;  $Z: -1,9102$ ) y San Antonio ( $p= 0,09541$ ;  $Z: -1,6675$ ). La correlación del acumulado mensual de precipitación, indican que el comportamiento de las precipitaciones es similar en toda el área de estudio, con valores de correlación significativos que varían entre 0,702 y 0,923, según el test de correlación de rangos no paramétrico de Spearman's  $r_s$ .



El análisis de las tendencias estacionales de precipitación, realizado a partir del acumulado estacional (Tabla 3) muestra resultados estadísticamente significativos para las estaciones de otoño e invierno, donde en otoño la tendencia parece indicar una posible disminución y en invierno un posible aumento de las precipitaciones. Por otro lado, el comportamiento de las precipitaciones a nivel estacional mostró una correlación significativa entre las estaciones pluviométricas del área de estudio.

Figura 3. Promedio del acumulado mensual de las precipitaciones 1990-2020 del área de estudio



Análisis realizado en base a la estación pluviométrica 25 de Agosto.

Fuente: INUMET, 2021. Elaboración propia

Tabla 3. Tendencia de las precipitaciones en el área de estudio, a nivel estacional para el período 1990-2021

Estación pluviométrica	Otoño	Invierno
25 de Agosto	p: 0,032286; Z: -2,1409	
Mendoza	p: 0,098067; Z: -1,6543	
Casupá	p: 0,071782; Z: -1,8005	p: 0,057785; Z: 1,8973
Cerro Colorado	p: 0,079841; Z: -1,7516	p: 0,088619; Z: 1,7027
Chamizo		p: 0,029715 Z: 2,1739
Florida		p: 0,016379 Z: 2,4004
La Cruz		p: 0,022224 Z: 2,2865
Villa Cardal		p: 0,011403 Z: 2,5301
San Antonio		p: 0,079841 Z: 1,7516

Análisis de Mann-Kendall según acumulado estacional de las precipitaciones, valores de significancia (p) y magnitud (Z). Casos estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) texto en negro, casos parcialmente significativos ( $0,05 \geq p \geq 0,1$ ) texto en rojo.

Fuente INUMET, 2021. Elaboración propia

La incidencia de las precipitaciones en los eventos de inundación de la ciudad de Santa Lucía a nivel estacional (Anexo 7), indica que la correlación entre los eventos de inundación (crecida y alerta) y las precipitaciones en todos los casos son significativamente positivas. Esta correlación es esperable, dado que es necesaria la presencia de precipitaciones para que aumente el nivel del cauce.

En particular, la relación de las precipitaciones con los eventos de crecida y alerta es mayor en otoño, con un promedio de correlación de 0,657 y 0,647, respectivamente. En otoño tanto la precipitación como los eventos de crecida disminuyen.

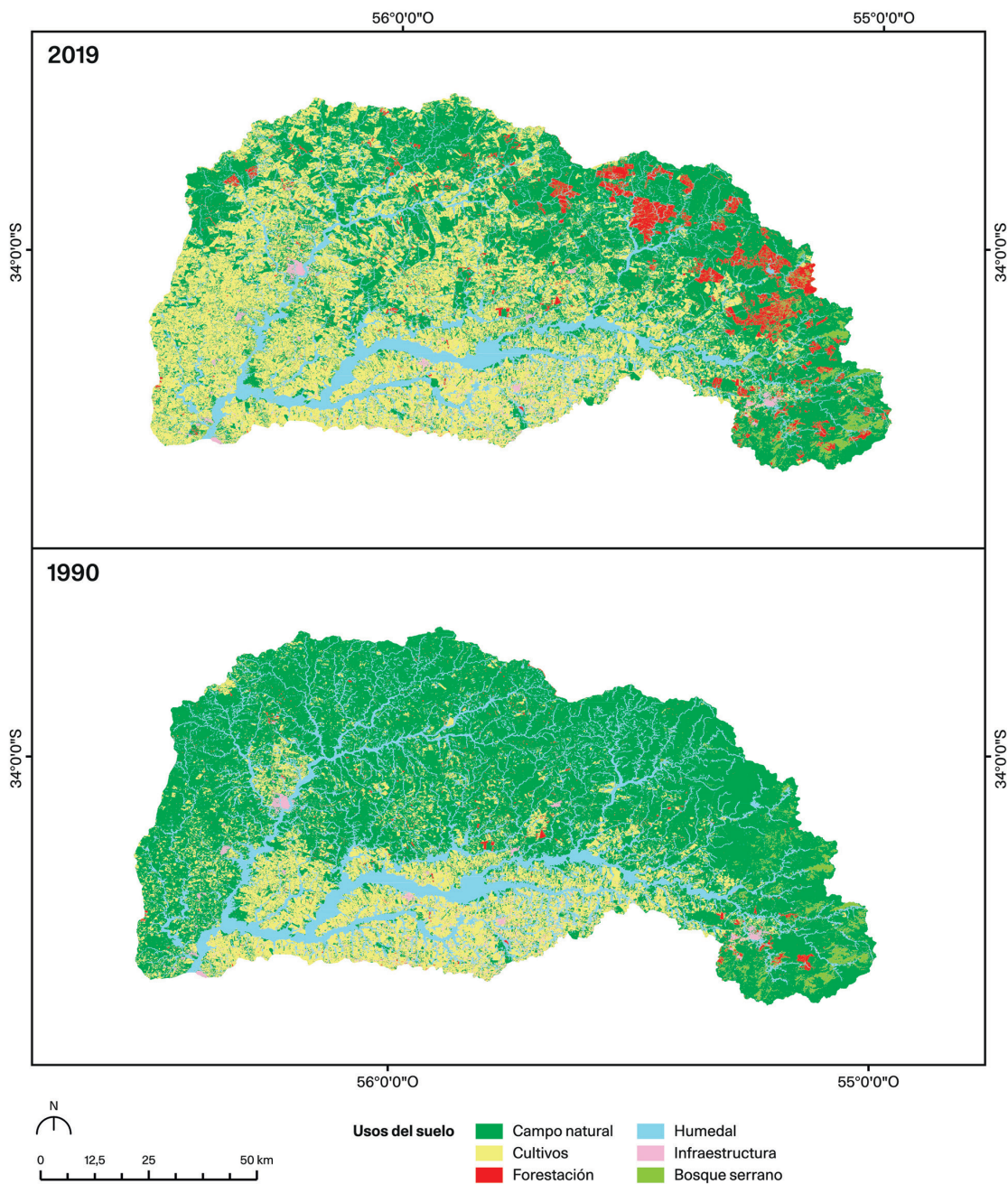
Por otro lado, la baja correlación de las precipitaciones con los eventos de crecida en invierno, con un promedio de 0,451 y los eventos de alerta en primavera y verano, con un promedio 0,431 y 0,434 respectivamente, sugiere que otros factores están incidiendo en los eventos de inundación.

La relación de las precipitaciones con la duración de los eventos de alerta en Santa Lucía indica que es mayor en otoño con un promedio de 0,646, seguida en invierno con un promedio de 0,528, verano con un promedio de 0,439 y primavera 0,409.

### 3.3. Cambio de uso y cobertura del suelo

La variación de los usos y coberturas del suelo entre 1990 y 2019 en el área de estudio sugiere transformaciones espaciales importantes, principalmente asociada a la expansión productiva que generó la disminución del 21 % de la superficie del campo natural (Figura 4, Tabla 4).

Figura 4. Distribución de usos y coberturas del suelo del área de estudio en 1990 y 2019



Proyección: UTM Zona 21S. Datum: WGS 1984

Fuente: DINAMA, 2019. Elaboración propia

En términos globales en 1990 la cobertura del suelo predominante fue el campo natural con un 63 %, seguidas por cultivos 19 % y un 15 % de humedales. En 2019 el cultivo se expande notoriamente en el norte del área de estudio y se intensifica en el sur y suroeste, ocupando 36 % de la superficie, lo que resulta en una disminución del campo natural al 42 %. Otro aumento importante fue la forestación a un 4,4 % principalmente en la cuenca alta, y mínimamente el área de bosque serrano. Los humedales siguen ocupando el mismo porcentaje de la superficie como también la infraestructura.

Tabla 4. Clasificación de uso y cobertura del suelo años 1990 y 2019, superficies en porcentajes según el total del área de estudio

Uso y cobertura del suelo	Categorización de uso y cobertura del suelo	1990 (%)	2019 (%)	Diferencia de superficie (%)
Campo natural	Es la clase más genérica al estar conformada por pastizales de diferente productividad.	63	42	- 21
Cultivos	Cultivos y parcelas de praderas plantadas con fines forrajeros, que sustituyen por completo la cobertura vegetal y presentan una firma espectral similar a los cultivos.	19	36	17
Forestación	Superficies forestadas destinadas a la industria forestal o para montes de abrigo.	1	4,4	3,4
Humedales	Representa áreas bajas con y sin vegetación, que permanecen inundadas en forma permanente o la mayor parte del año.	15	15	0
Infraestructura	Zonas industriales, residenciales y de caminería	1	1	0
Bosque serrano	Bosque que en su mayoría está representado por bosques serranos.	1	1,6	0,6

Fuentes: Las categorías fueron adaptadas a partir de la propuesta de Schön (2021) y DINAMA, 2019. Elaboración propia

Al observar los CUCS a nivel de subcuenca (Tabla 5), se puede observar que la mayor transformación ocurre en la sub cuenca del río Santa Lucía Chico en que la superficie de cultivos se expande y de campo natural se contrae. Por otro lado, se observa que el incremento de la forestación es mayor en la subcuenca de la naciente oriental del río Santa Lucía.

Tabla 5. Cambio de uso y cobertura del suelo a nivel de subcuencas, del río Santa Lucía Chico y de la naciente del río Santa Lucía

Uso y cobertura del suelo	Sub cuenca del río Santa Lucía Chico			Sub cuenca de la naciente del río Santa Lucía hasta la unión con el río Santa Lucía Chico		
	1990 (%)	2019 (%)	Diferencia de superficie (%)	1990 (%)	2019 (%)	Diferencia de superficie (%)
Campo natural	73	41,5	- 31,5	56	42	- 14
Cultivos	13	42,5	29,5	23,5	32	8,5
Forestación	0,5	2	1,5	1	6,5	5,5
Humedales	12,5	12	-0,5	16,5	16,5	0
Infraestructura	1	1	0	1	1	0
Bosque serrano	0	1	1	2	2	0

Elaboración propia

#### 4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en relación a los niveles del río permiten afirmar que en la ciudad de Santa Lucía existe una tendencia de disminución significativa en la cantidad y duración de los eventos de crecida en otoño y parcialmente significativa en la cantidad de eventos de crecida en verano y primavera; así como un

aumento significativo en la duración de eventos de alerta de invierno. El análisis del comportamiento de los eventos de inundación (crecida y alerta) en la ciudad de Santa Lucía identifican la existencia de dos patrones: a) inundaciones condicionadas por los aportes provenientes del río Santa Lucía Chico y b) inundaciones condicionadas por los aportes provenientes de las nacientes del río Santa Lucía.

Según la Organización de los Estados Americanos (OEA) (1971) en la cuenca de Santa Lucía no existe una época de creciente bien definida. En cada año es posible observar crecientes independientes. Además, la distribución de las crecidas, permite constatar que en el período invierno-primavera la frecuencia de las crecidas es mayor, y que pueden ocurrir crecientes importantes en cualquier mes del año, aún durante los períodos de estiaje (verano). Aun así, la tendencia observada en Santa Lucía, es de disminución de eventos de crecida en otoño, sin embargo, en la última década de la serie analizada se registran inundaciones de mayor magnitud. Esta observación coincide con el aumento de eventos extremos a nivel regional (Santelices & Rojas, 2016) y se relaciona con el cambio ambiental global presente, que como sostiene Steffen et al. (2004) se caracteriza por modificaciones de procesos y estructuras ambientales de una manera irreversible, con el aumento de la artificialización sistemática de ecosistemas (Romero, 2006).

En Santa Lucía la disminución de los eventos de crecida en verano, en parte se explica por el comportamiento del río Santa Lucía Chico, pero también influye el manejo de la represa de Paso Severino, ya que en esta época del año la represa cumple una función relevante de almacenamiento de agua, dado que existe mayor demanda de agua y menor aporte por precipitaciones. Aunque la OEA (1971) proyectó que la construcción de la represa tendría poca incidencia en el pico de la crecida y no afectaría el comportamiento de los eventos de inundaciones en la ciudad de Santa Lucía; argumentando que el volumen escurrido durante las crecientes es varias veces mayor que la capacidad del embalse. Según Berga (2006) existen distintos tipos de presas que pueden cumplir funciones en el control de las crecidas; las presas de regulación de caudal, como las de abastecimiento de agua, no son las más eficientes para el control de las crecidas. En ese sentido, el desarrollo de modelos para planificar la operación de un embalse durante la ocurrencia de crecida (Weber et al., 2015) sugiere que es posible y necesario analizar en particular el rol de la presa de Paso Severino en el manejo de las inundaciones.

Por otro lado, la disminución del nivel del cauce en otoño, y aumento de la duración de las alertas en invierno, acompañan la tendencia de las precipitaciones, de disminución en otoño y aumento en invierno. En cambio, las tendencias de las alertas (cantidad y duración) en invierno, primavera y verano presenta escasa relación con las precipitaciones, esta situación sugiere que otros factores pueden estar incidiendo en el comportamiento de los eventos de inundación.

La tendencia de las precipitaciones por estaciones en el área de estudio coincide en invierno con las tendencias encontradas por Schön (2021) en cuencas adyacentes como la cuenca del río San José, o la cuenca del río Yi, donde también se encontraron tendencias de aumento de precipitación en invierno. Sin embargo, Bidegain et al. (2012) observan en primavera-verano tendencias crecientes de precipitaciones para el oeste del país. También se identifican en primavera y verano un aumento de las precipitaciones acumuladas para la cuenca del Plata entre 1971 y 2015 (Bidegain et al., 2017). Castaño et al. (2007) muestran un aumento de precipitación en la temporada cálida para el bioma Pampa, y Varuolo-Clarke et al. (2021) afirman que en el sur-este de Sudamérica se muestra un incremento importante de precipitaciones en verano. La diferencia en el comportamiento de las precipitaciones halladas en el presente estudio podría asociarse con efectos de parches o heterogeneidad espacial de eventos extremos y acumulados (Frich et al., 2002).

El aumento de los eventos extremos, también en Santa Lucía, es una de las consecuencias del cambio ambiental global, y como sostienen Xiao et al. (2016) esta tendencia según los pronósticos seguirá incrementando a futuro. Además, coincide con el desarrollo de la intensificación agraria del modelo agroexportador a nivel nacional que se expande sobre tierras marginales para la producción agrícola (Domínguez et al., 2018; García Préchac et al., 2010; Gazzano et al., 2019) y que posiblemente están afectando el régimen hidrológico. Ya que esta tendencia de cambio en la matriz productiva implica, por un lado, el aumento de cultivos transgénicos y sus paquetes asociados con mayor demanda de agroquímicos y combustibles fósiles; y por otro, la desaparición de las rotaciones pastura-agricultura (García Préchac et al., 2010). La ganadería suele desplazarse a suelos sin aptitud agrícola, como los márgenes de los cursos de agua que son degradados por sobrepastoreo (Pérez Bidegain, et al., 2010). Las transformaciones en el uso y cobertura del suelo identificadas en el área de estudio coinciden con las proyecciones para la cuenca del Santa Lucía (Achkar et al., 2013), tanto para el avance de la agricultura como en la forestación y además, coinciden con las tendencias de la región, donde se puede observar que la intensificación agraria desplaza pastizales y pasturas por monocultivos como soja y maíz, respondiendo una demanda mundial por *commodities* agrícolas que conlleva una pérdida de biodiversidad y cambios en las escorrentías (Aguayo et al., 2006; García Préchac et al., 2010; Svampa, 2019).

Los cambios más importantes del área de estudio se corresponden con el aumento de la agricultura en detrimento del campo natural. Estos cambios son más notorios en la subcuenca del río Santa Lucía Chico que en la subcuenca de la naciente oriental del río Santa Lucía, siendo más relevantes entorno a la ciudad de Santa Lucía donde se presentan suelos con mayor aptitud agrícola en relación a los suelos superficiales de las zonas de cuchillas en las nacientes. El aumento de la superficie de los cultivos de verano, puede vincularse a la disminución de los eventos de crecida del nivel del río observados en Santa Lucía en verano. Esto se explica porque los cultivos de verano, como la soja, están asociados a sistemas intensivos de siembra directa que presentan niveles de erosión mayor que el campo natural, y si bien reducen los niveles de erosión frente a los sistemas tradicionales de laboreo, generalmente mantienen niveles de erosión por encima de lo tolerable (Pérez Bidegain et al., 2010). Como corolario, estos sistemas, principalmente cuando no mantienen la cubierta del suelo o no se devuelve suficiente biomasa al sistema, promueven la pérdida de estructura de suelos, compactación y aumento de escorrentía (Álvarez et al., 2004; Díaz Zorita et al., 2000), lo que conduce a una pérdida de capacidad de almacenamiento de agua en suelo que en periodos de estiaje (verano), puede disminuir la disponibilidad de agua en la cuenca y en consecuencia en verano reducir el aporte de agua al cauce.

Por otro lado, como muestran Behrends Kraemer et al. (2013), al identificar desplazamientos de la ganadería extensiva por agricultura intensiva en la región, los suelos desprovistos de cobertura vegetal sufren erosión/compactación, aumentando la escorrentía. Estos procesos se agravan en invierno y por lo tanto contribuyen al aumento de la duración de los eventos de alerta. Cuando se relaciona el uso y cobertura del suelo en la cuenca con la capacidad de infiltración del agua al suelo, se puede observar una relación directa con los eventos de inundación, como sostienen Gallegos Reina y Perles Roselló (2019).

Por otro lado, la disminución de las inundaciones en otoño también podría ser explicada por el aumento de la forestación, que se encuentra principalmente en la cuenca alta de la naciente oriental, y podría expandirse notoriamente a futuro por la proyección del país en relación a la forestación, a los suelos 5.02b. Esta tendencia expansiva se basa en la implementación de la Ley Forestal N° 15.939 de 1987. Como consecuencia de la implementación de los monocultivos se pierden muchos territorios de pastizales naturales. El cambio de pastizales a plantaciones forestales monoespecíficas genera modificaciones importantes en el ciclo hidrológico, como muestran varios estudios (Jobbágy et al., 2013; Perez, 2007). Los suelos cubiertos con monocultivos forestales presentan menor capacidad de mantener el agua en comparación a los suelos del campo natural cubierto con pasturas, por lo que se reduce la escorrentía, debido al aumento de la evapotranspiración, y como consecuencia disminuyen también los caudales altos (Alvarez-Garreton et al., 2019). La localización de la forestación en las nacientes de la cuenca también puede comprometer la disponibilidad para la cosecha de agua en esta cuenca estratégica.

El análisis de la superposición y retroalimentación de distintos factores que actúan en conjunto, aumentan el riesgo para la población frente a eventos de inundación, como ha sido discutido por Couasnon et al. (2020) y Zscheischler et al. (2018). En la interpretación científica sobre las inundaciones, el cambio climático y la dinámica de uso de suelo se reconoce que influyen en la estructura de eventos compuestos intensificando tendencias e incluso modifican las tendencias históricas de los sistemas ambientales. En Santa Lucía juega un rol importante la asociación entre el CUCS y el comportamiento climático, pero también como muestran los datos relevados, la distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca, el manejo de la represa Paso Severino, y el viento sur, como sostienen los informantes calificados, interfiere en el aumento de caudal (Eluén & Schön, 2023). Además, si el comportamiento de las inundaciones no sigue un patrón regular (OEA, 1971), es posible que estos factores, actuando en concomitancia, aumenten la dispersión de los eventos de inundación.

Sin embargo, la integración de estos factores en modelos explicativos de la variación temporal de las inundaciones y su intensidad, aún es incipiente y requieren profundizar en los estudios empíricos. En este contexto, las actividades humanas, el uso y cobertura del suelo en la cuenca merecen una atención especial para comprender mejor el desarrollo y los efectos de los sucesos compuestos y contribuir así a mejorar o ampliar el marco teórico para la evaluación de riesgos (Zscheischler et al., 2018). Aunque, la consideración de varios factores que conducen a las inundaciones a menudo sigue sin tenerse en cuenta cuando se aplican los métodos clásicos de análisis de inundaciones (Ward et al., 2015).

Por lo cual, es sumamente importante analizar el conjunto de causas que pueden influir en el comportamiento de un río. Esta circunstancia afirma que la unidad analítica tiene que ser el sistema ambiental en su totalidad, que comprende tanto el subsistema social (humano) como el ecológico (biofísico) en interacción mutua (Gallopín, 2006). Los CUCS, como base de las relaciones entre sociedad y naturaleza y factor integrante del cambio ambiental global, que ocurren en la cuenca, tienen que integrar el análisis de las causas de las inundaciones. Además, posibilita a escala local diseñar e implementar estrategias de manejo del territorio, como apuntan Blanco Wells et al. (2017).

## 5. Conclusiones

Las inundaciones en Santa Lucía se explican primeramente por la localización de la ciudad en un área de humedal, además la geometría de la cuenca indica una amplia zona de captación hídrica, en ese sentido el río Santa Lucía realiza aportes significativos de caudal de agua a la altura de la ciudad. Para entender la dinámica de los eventos de inundación es necesario analizar el aporte de los ríos Santa Lucía y Santa Lucía Chico en conjunto; aunque, las inundaciones en la ciudad de Santa Lucía, parecen estar más vinculadas a la situación de la cuenca del río Santa Lucía Chico, tanto en la ocurrencia y distribución de precipitaciones, el uso y cobertura del suelo y el manejo de la represa Paso Severino. Por tanto, es prioritario orientar los mayores esfuerzos en la implementación de un plan de manejo de esta cuenca que integre criterios de sustentabilidad, que permita a la represa Paso Severino cumplir su función de respaldo de agua para Aguas Corrientes y minimizar los riesgos para la población de la ciudad de Santa Lucía. Sin embargo, también se identificaron sinergias con la situación y aportes de agua desde la cuenca oriental del río Santa Lucía, factor que debe ser considerado ya que puede profundizar la frecuencia y duración de los eventos de inundación en invierno.

En invierno, el CUCS explica mejor la variación de los eventos de inundación, en especial la interacción entre eventos importantes de precipitaciones y la ocurrencia de grandes superficies de suelos descubiertos o con muy poca vegetación. En este contexto surge la necesidad de disponer de predicciones para las precipitaciones de mediano plazo que permitan diseñar manejos adecuados de la cobertura vegetal y así orientar la regulación del escurrimiento superficial y los caudales del río en los momentos máximos de precipitaciones.

En verano, el manejo de la represa Paso Severino destaca como un factor importante en la regulación del nivel del río. Siendo necesario un programa de manejo de la represa que integre su función principal de reserva para Aguas Corrientes con la regulación del nivel del río. Asociado con análisis de la distribución espacial de los cultivos de verano en la cuenca del río Santa Lucía Chico, para optimizar la dinámica del escurrimiento superficial. Además, en el corto plazo es posible un aumento de la superficie de cultivos de verano regados, lo que introduce una nueva variable a considerar en la comprensión del comportamiento de las inundaciones.

El avance y la intensificación de la frontera agrícola que experimenta la cuenca del río Santa Lucía, refleja la situación nacional y regional. Los CUCS en el área de estudio, afectan la cantidad y calidad del agua del río, al impactar sobre sus ecosistemas. Las presiones que directa o indirectamente acontecen sobre las praderas, los humedales, los bosques fluviales, zonas de recarga de acuíferos en las zonas de sierras y escarpas con monte serrano, compromete las aguas subterráneas y la producción hídrica de la cuenca. Además, la cantidad de agua de la cuenca se ve afectada por la exportación de agua y alteración del ciclo hidrológico para abastecer a una población que en su mayoría no vive en la cuenca.

Los diversos factores que se interrelacionan e inciden en los patrones de los eventos de inundación de la ciudad de Santa Lucía, pone en evidencia la necesidad de ampliar las variables de estudio consideradas para el análisis de la gestión del riesgo de las inundaciones, análisis que también debe incluirse y ser incluido en el diseño y proyección de las políticas agrarias.

En síntesis, este trabajo aporta al caso de estudio con un análisis cuantitativo sobre el comportamiento de las inundaciones desde el enfoque multiescalar de cuencas hidrográficas. Además, genera información para el trabajo académico con la comunidad en procesos de Educación ambiental, que permitan avanzar en el conocimiento y aplicación de soluciones a los problemas ambientales que se expresan en los territorios a distintas escalas. El presente trabajo contribuye en la integración de aspectos metodológicos para la gestión de las inundaciones, al considerar diversos factores hidrológicos, climáticos y de uso y cobertura del suelo. El abordaje de complementariedad de variables favorece el análisis en contextos de escasez de disponibilidad de datos y aporta a la comprensión multicausal de las dinámicas de inundación de áreas urbanas localizadas en humedales.

## Financiación

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación bajo el código POS\_EXT\_2023\_1\_175236.

## Agradecimientos

Agradecemos por los datos brindados a la Dirección Nacional de Aguas y a la Dirección Nacional de Medio Ambiente del Ministerio de Ambiente de la República Oriental del Uruguay y al Instituto Uruguayo de Meteorología.

## Anexos

Anexo 1. Tendencia global de los eventos de inundación

Regla	Cantidad de eventos de crecida	Duración de los eventos de crecida
Santa Lucía	Decreciente p: 0,0077622; Z: -2,6622	Decreciente p: 0,034289; Z: -2,1167

Tendencia global (acumulado mensual) del área de estudio para el período 1990-2021 según el análisis de Mann-Kendall, expresado en valores de significancia (p) y magnitud (Z). La información presentada corresponde a los casos estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) texto en negro y casos parcialmente significativos ( $0,05 \geq p \geq 0,1$ ) texto en rojo.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 2. Tendencia estacional de la cantidad de eventos de inundación

Regla	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
Santa Lucía	Crecidas parcialmente decreciente p: 0,060116; Z: -1,8799	Disminución de crecidas p: 0,013495; Z: -2,4704		Disminución de crecidas p: 0,084661; Z: -1,7243
Florida		Disminución de crecidas p: 0,033116; Z: -2,1307	Incremento de alertas p: 0,039011; Z: 2,0641	

Tendencia estacional de la cantidad de los eventos de inundación (crecida y alerta) del área de estudio para el período 1990-2021 según el análisis de Mann-Kendall, expresado en valores de significancia (p) y magnitud (Z). La información presentada corresponde a los casos estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) texto en negro y casos parcialmente significativos ( $0,05 \geq p \geq 0,1$ ) texto en rojo.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 3. Tendencia estacional de la duración de eventos de inundación

Regla	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
Santa Lucía	Disminución de duración de las crecidas p: 0,048776; Z: -1,9705	Incremento de la duración de las alertas p: 0,029325; Z: 2,1791	
Florida		Incremento de la duración de las crecidas. p: 0,030237; Z: 2,167 Incremento de duración de las alertas. p: 0,019381; Z: 2,3381	
Paso Roldán			Duración de las crecidas parcialmente creciente. p: 0,061801; Z: 1,8677

Tendencia estacional de la duración de los eventos de inundación (crecida y alerta) del área de estudio para el período 1990-2021 según el análisis de Mann-Kendall, expresado en valores de significancia (p) y magnitud (Z). La información presentada corresponde a los casos estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) texto en negro y casos parcialmente significativos ( $0,05 \geq p \geq 0,1$ ) texto en rojo.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 4. Relación global de la cantidad de eventos de inundación

CRECIDAS	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	Paso de los Troncos
Florida		4,48E-41	5,10E-37	7,78E-52
Santa Lucía	0,615		1,30E-45	9,37E-36
Paso Roldán	0,589	0,641		2,38E-40
Paso de los Troncos	0,674	0,580	0,6103	
ALERTAS	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	Paso de los Troncos
Florida		1,03E-42	N/A	1,33E-33
Santa Lucía	0,625		N/A	7,74E-31
Paso de los Troncos	0,565	0,544	N/A	

Variación espacial del acumulado mensual de los eventos de crecida y alerta entre las reglas del área de estudio, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. El cuadrante diagonal superior expresa el valor de p, significancia, p < 0,05 significativo. El cuadrante diagonal inferior expresa el valor de correlación, 0 > coeficiente de correlación ≤ 1 existe asociación positiva entre variables. Texto en rojo son los casos en que las correlaciones arrojaron valores no significativos. N/A: No aplica.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 5. Relación estacional de la cantidad de los eventos de inundación

CRECIDAS					ALERTAS			
VERANO	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	VERANO	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		0,021652	0,00011689	0,00032261	Florida		0,0032118	0,0061872
Santa Lucía	0,411		0,00029768	0,00020876	Santa Lucía	0,512		0,0044004
Paso Roldán	0,637	0,607		9,71E-12	P. de los Troncos	0,481	0,498	
Paso de los Troncos	0,604	0,618	0,896					
OTOÑO	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	OTOÑO	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		4,61E-08	0,00015762	0,0001921	Florida		4,50E-07	0,00015199
Santa Lucía	0,798		0,00027106	0,0015004	Santa Lucía	0,760		7,09E-06
Paso Roldán	0,619	0,602		3,79E-06				
Paso de los Troncos	0,613	0,538	0,718		P. de los Troncos	0,620	0,703	
INVIERNO	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	INVIERNO	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		0,00087485	0,09992	0,014896	Florida		0,00020741	0,41175
Santa Lucía	0,559		0,0040947	0,0080037	Santa Lucía	0,610		0,026232
Paso Roldán	0,296	0,494		0,0026431				
Paso de los Troncos	0,427	0,460	0,514		P. de los Troncos	0,150	0,393	
PRIMAVERA	Florida	Santa Lucía	Paso Roldán	P. de los Troncos	PRIMAVERA	Florida	Santa Lucía	P. de los Troncos
Florida		7,04E-05	0,00022002	0,00025546	Florida		0,0043718	3,55E-05
Santa Lucía	0,652		0,00031022	3,22E-05	Santa Lucía	0,498		0,0039694
Paso Roldán	0,618	0,605		0,00021151				
P. de los Troncos	0,612	0,674	0,618		P. de los Troncos	0,671	0,502	

Variación espacial a nivel estacional de los eventos de crecida y alerta entre las reglas del área de estudio, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. El cuadrante diagonal superior expresa el valor de p, significancia, p < 0,05 significativo. El cuadrante diagonal inferior expresa el valor de correlación, 0 > coeficiente de correlación ≤ 1 existe asociación positiva entre variables. Texto en rojo son los casos en que las correlaciones arrojaron valores no significativos. N/A: No aplica.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia



Anexo 6. Relación de la duración de los eventos de inundación

CRECIDAS					ALERTAS			
VERANO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	VERANO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		0,016536	0,00019661	0,0039328	Santa Lucía		0,0031714	0,0058467
Florida	0,427		0,00014051	9,19E-05	Florida	0,51293		0,0042917
P. de los Troncos	0,620	0,631		1,30E-08	P. de los Troncos	0,48361	0,49875	
Paso Roldán	0,503	0,644	0,823					
OTOÑO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	OTOÑO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		1,30E-05	2,00E-06	6,10E-05	Santa Lucía		2,30E-06	1,38E-06
Florida	0,689		1,41E-03	0,00091504	Florida	0,728		4,21E-05
P. de los Troncos	0,731	0,540		0,00033006	P. de los Troncos	0,739	0,658	
Paso Roldán	0,648	0,558	0,595					
INVIERNO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	INVIERNO	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		2,14E-01	0,12295	0,00086482	Santa Lucía		1,47E-04	0,00014847
Florida	0,226		0,7613	0,036212	Florida	0,621		0,051849
Paso de los Troncos	0,278	0,056		0,27319	P. de los Troncos	0,621	0,347	
Paso Roldán	0,560	0,372	0,200					
PRIMAVERA	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos	Paso Roldán	PRIMAVERA	Santa Lucía	Florida	P. de los Troncos
Santa Lucía		0,00011877	7,34E-03	0,006392	Santa Lucía		0,00015005	1,26E-04
Florida	0,636		6,92E-02	0,0060483	Florida	0,629		4,42E-05
Paso de los Troncos	0,472	0,331		0,057534	P. de los Troncos	0,636	0,665	
Paso Roldán	0,479	0,482	0,345					

Variación espacial a nivel estacional de la duración de la crecida y alerta entre las reglas del área de estudio, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. El cuadrante diagonal superior expresa el valor de p, significancia,  $p < 0,05$  significativo. El cuadrante diagonal inferior expresa el valor de correlación,  $0 > \text{coeficiente de correlación} \leq 1$  existe asociación positiva entre variables. Texto en rojo son los casos en que las correlaciones arrojaron valores no significativos. N/A: No aplica.

Fuente DINAGUA, 2021. Elaboración propia

Anexo 7. Relación de las precipitaciones con la cantidad y duración de los eventos de inundación en Santa Lucía

ESTACIONES	CRECIDAS				ALERTAS				DURACIÓN ALERTA				ESTACIONES
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	
La Cruz	0,600	0,779	0,410	0,591	0,532	0,692	0,609	0,486	0,541	0,686	0,597	0,456	La Cruz
Florida	0,676	0,681	0,404	0,600	0,488	0,632	0,602	0,448	0,489	0,634	0,574	0,444	Florida
Villa 25 Mayo	0,605	0,646	0,494	0,523	0,481	0,501	0,569	0,405	0,485	0,501	0,491	0,392	Villa 25 Mayo
Villa Cardal	0,548	0,731	0,461	0,443	0,396	0,684	0,576	0,390	0,408	0,686	0,583	0,403	Villa Cardal
25 de Agosto	0,425	0,776	0,519	0,501	0,404	0,633	0,584	0,367	0,417	0,629	0,550	0,329	25 de Agosto
Mendoza	0,614	0,745	0,498	0,622	0,464	0,656	0,636	0,398	0,473	0,654	0,559	0,364	Mendoza
San Antonio	0,573	0,655	0,347	0,600	0,459	0,691	0,505	0,449	0,459	0,675	0,477	0,406	San Antonio
Chamizo	0,666	0,614	0,442	0,543	0,459	0,698	0,654	0,387	0,457	0,699	0,604	0,359	Chamizo
Tala	0,495	0,729	0,442	0,603	0,374	0,663	0,621	0,443	0,381	0,648	0,551	0,445	Tala
San Gabriel	0,481	0,451	0,465	0,634	0,305	0,501	0,482	0,524	0,329	0,534	0,488	0,491	San Gabriel
Casupá	0,613	0,621	0,534	0,629	0,428	0,659	0,577	0,506	0,439	0,660	0,586	0,463	Casupá
Cerro Colorado	0,597	0,587	0,421	0,639	0,461	0,705	0,546	0,489	0,469	0,707	0,581	0,424	Cerro Colorado
Santa Lucía Calera	0,621	0,530	0,428	0,499	0,349	0,689	0,173	0,352	0,356	0,686	0,226	0,338	Santa Lucía Calera
Promedio	0,578	0,657	0,451	0,571	0,431	0,647	0,549	0,434	0,439	0,646	0,528	0,409	Promedio

Relación espacial de la estacionalidad de las precipitaciones del área de estudio con la cantidad y duración de los eventos de crecida o alerta de la regla de Santa Lucía, para el período 1990-2021 y según el test de correlación Spearman's rs. Se presenta una síntesis del valor de correlación,  $0 >$  coeficiente de correlación  $\leq 1$  existe asociación positiva entre variables.

Fuente DINAGUA, 2021: INUMET, 2021. Elaboración propia

## Referencias

- Achkar, M., Domínguez, A., & Pesce, F. (2013). *Cuencas Hidrográficas del Uruguay. Situación y Perspectivas ambientales y territoriales*. PUS-REDES-AT-Uruguay.
- Aguayo, M., Azócar, G., & Henríquez, C. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 61-74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004>
- Aliste, E., Almendras, A., & Contreras, M. (2012). La dinámica del territorio en la conurbación Concepción-Talcahuano: huellas urbanas para una interpretación de las transformaciones ambientales durante la segunda mitad del siglo XX. *Revistas de Geografía Norte Grande*, (52), 5-18. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022012000200001>
- Alvarez-Garreton, C., Lara, A., Boisier, J. P., & Galleguillos, M. (2019). The Impacts of Native Forests and Forest Plantations on Water Supply in Chile. *Forests*, 10(6), 473. <https://doi.org/10.3390/f10060473>
- Álvarez, C. R., Gutiérrez Boem, F. H., Taboada, M. A., Prystupa, P., Ocampo, J. F., Fernandez, P. L., & Moulin, M. (2004). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo*.
- Baptista, M., Valcarcel, R., Araujo Mateus, F., Soares Medeiros, W., & Canto De Andrade, F. (2017). Impact of Urbanization on the Hydrodynamics of a Water Table in a Floodplain with High Potential for Renaturation. *Water Resource Management*, 31(13), 4091-4102. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1731-5>
- Behrends Kraemer, F., Chagas, C., Marré, G., Palacín, E., & Santanatoglia, O. (2013). Desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca de La Pampa ondulada: Efectos sobre el escurrimiento superficial y erosión hídrica. *Ciencia del suelo*, 31(1), 83-92.
- Benavides, F., Solarte Cruz, M.E., Pabón, V., Ordóñez, A., Beltrán, E., Torres, C., & Rosero, S. (2018). The Variation of Infiltration Rates and Physical-Chemical Soil Properties Across a Land Cover and Land Use Gradient in a Páramo of Southwestern Colombia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(4), 400-410. <https://doi.org/10.2489/jswc.73.4.400>
- Berga, L. (2006). El papel de las presas en la mitigación de las inundaciones. *Revista Digital Del Cedex*, (144), 7. <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2256>
- Bidegain, M., Crisci, C., Del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, N., Taks, J., & Terra, R. (2012). *Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo* (Vol. 1). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. <http://www.fao.org/docrep/field/009/as253s/as253s.pdf>
- Bidegain, M., Pasten, M., Nagy, G., Coronel, G., Ferrer, J., & Arana, I. (2017). Tendencias recientes de las precipitaciones e impactos asociados con ENSO en la cuenca del Río de la Plata. *Paraquaria Natural*, 5(2), 8-18.
- Blanco Wells, G., Günther, G., Gutiérrez, R., Gonzaga, J., & Hernández, V. (2017). Introducción. Cambio ambiental global y políticas ambientales en América Latina. In G. Günther & R. A. Gutiérrez (Eds.), *La política del ambiente en América Latina. Una aproximación desde el cambio ambiental global* (pp. 15-36). Clacso y Universidad Autónoma Metropolitana. <https://doi.org/10.2307/j.ctvtwx2j4.4>
- Brazeiro, A., Achkar, M., Toranza, C., & Bartesaghi, L. (2020). Agricultural expansion in Uruguayan grasslands and priority áreas for vertebrate and woody plant conservation. *Ecology and Society*, 25(1), 15. <https://doi.org/10.5751/ES-11360-250115>
- Bunn, S.E., & Arthington, A.H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30, 492-507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>
- Caorsi, M.L., Cruz, G., Terra, R., & Astigarraga, L. (2018). Variación de la precipitación y la ocurrencia de sequías en la cuenca lechera del SW del Uruguay en el periodo 1939-2011. *Agrociencia Uruguay*, 22(1), 116-123. <https://doi.org/10.31285/AGRO.22.1.12>
- Castano, J., Baethgen, W., Gimenez, A., Magrin, G., Travasso, M., Olivera, L., Rocca Da Cunha, G., & Cunha Fernandes, J. (2007). Evolución del clima observado durante el período 1931-2000 en la región sureste de América del Sur. [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/se\\_a\\_s\\_2007.pdf](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/se_a_s_2007.pdf)

- Cousanon, A., Eilander, D., Muis, S., Veldkamp, T., Haigh, I., Wahl, T., Winsemius, H., & Ward, P. (2020). Measuring compound flood potential from river discharge and storm surge extremes at the global scale. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 489–504. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-489-2020>
- Delgado, M.I., Carol, E., & Casco, M.A. (2020). Land-use changes in the periurban interface: Hydrologic consequences on a flatland-watershed scale. *Science of the Total Environment*, 722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137836>
- Díaz-Zorita, M. (2000). Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. *Soil and Tillage Research*, 54(1-1), 11-19. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00100-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00100-2)
- Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). (2021). *Datos diarios de altura del nivel del cauce entre 1990 y 2021. Datos de la regla de Santa Lucía del nivel del río Santa Lucía con afectación por riesgo de inundación a la ciudad de Santa Lucía*. [Conjunto de datos].
- Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). (2022a). *Atlas Nacional de Inundaciones y Drenaje Pluvial Urbano*. Ministerio de Ambiente. <http://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/atlas-nacional-inundaciones-drenaje-pluvial-urbano-version-febrero-2022>
- Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). (2022b). Curva de inundación del año 2016 y 2019 [Cobertura shape] Visualizador DINAGUA. <https://lastmile.presidencia.gub.uy/portal/apps/webappviewer/index.html?id=8666d11d6b664b39b58a2b7471f64333>
- Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA). (2019). *Mapa de uso/cobertura del suelo de la cuenca del río Santa Lucía*. División de Información Ambiental, Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. <https://docplayer.es/230666922-Mapa-de-uso-cobertura-del-suelo-de-la-cuenca-del-río-santa-lucia-division-de-informacion-ambiental-dinama-mvotma.html>
- Domínguez, A., Achkar, M., Pesce, F., & Díaz, I. (2018). Las transformaciones territoriales del espacio agrario uruguayo: nuevas regionalidades. *Geo UERJ*, 32, 1-23. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.28973>
- Eluén, L., & Schön, F. (2023, October 18-20). Percepción ambiental en la Gestión Integral de Riesgo, inundaciones en Santa Lucía, Uruguay [Conference presentation]. In *IV Congreso Internacional de Geografía Urbana*. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina.
- Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate research*, 19(3), 193-212. <https://doi.org/10.3354/cr019193>
- Gallopin, G. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(16), 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Gallegos Reina, A., & Perles Roselló, M.J. (2019). Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957-2007). *Bage, Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (81), 1-38. <https://doi.org/10.21138/bage.2740>
- García, P. E., Badano, N.D., Menéndez, A., Bert, F., García, G., Podestá, G., Rovere, S., Verdin, A., Rajagopalan, B., & Arora, P. (2018). Influencia de los cambios en el uso del suelo y la precipitación sobre la dinámica hídrica de una cuenca de llanura extensa. Caso de estudio: cuenca del río Salado, Buenos Aires, Argentina. *Revista Iberoamericana del Agua*, 5(2), 92-106. <https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1495990>
- García Préchac, F., Ernst, O., Arbeletche, P., Pérez Bidegain, M., Pritsch, C., Ferenczi, A., & Rivas, M. (2010). *Intensificación agrícola: Oportunidades y Amenazas para un país productivo y natural*. (Colección Art. 2). Udelar: CSIC.
- Gazzano, I., Achkar, M., & Díaz, I. (2019). Agricultural Transformations in the Southern Cone of Latin America: Agricultural Intensification and Decrease of the Aboveground Net Primary Production, Uruguay's Case. *Sustainability*, 11(24), 7011. <https://doi.org/10.3390/su11247011>
- Hettiarachchi, M., Mcalpine, C., & Morrison, T.H. (2014). Governing the urban wetlands: a multiple case-study of policy, institutions and reference points. *Environmental Conservation*, 41(3), 276-289. <https://doi.org/10.1017/S0376892913000519>

- Hirsch, R. M., Walker, J. F., Day, J. C., & Kallio, R. (1990). The influence of man on hydrologic systems. In M.G. Wolman & H.C. Riggs (Eds.), *Surface Water Hydrology*. Geological Society of America, Inc. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-O1.329>
- Hirsch, R., & Slack, J. (1984). A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data with Serial Dependence. *Water Resources Research*, 20(6), 727-732. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>
- Instituto Nacional de Estadística. (2011). Resultados del Censo de Población 2011: población, crecimiento y estructura por sexo y edad. <http://www.ine.gub.uy/censos2011/resultadosfinales/analisispais.pdf>
- Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET). (2021). *Datos diarios de precipitación entre 1990 y 2021* [Conjunto de datos].
- Jobbágy, E., Acosta, A., & Noretto, M. (2013). Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral*, 23, 97-96. <https://doi.org/10.25260/EA.13.23.2.0.1164>
- Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin.
- Legendre, P., & Legendre, L. (1998). *Numerical ecology: developments in environmental modelling*. Elsevier.
- Mann, H. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica. Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP). (1994). Unidades de suelos Coneat.
- Naiman, R. J., Décamps, H., & McClain, M. (2005). *Riparia Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012663315-3/50010-1>
- Nightingale, A., Eriksen, S., Taylor, M., Forsyth, T., Pelling, M., Newsham, A., Boyd, E., Brown, K., Harvey, B., Jones, L., Bezner, R., Mehta, L., Naess, L., Ockwell, D., Sconnes, I., Tanner, T., & Whitfield, S. (2019). Beyond Technical Fixes: climate solutions and the great derangement. *Climate and Development*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1624495>
- Organización de Estados Americanos (OEA). (1971). *Cuenca del Río de la Plata. Estudios para su planificación y desarrollo. Cuenca del Río Santa Lucía Desarrollo de los Recursos hídricos*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*. [https://library.wmo.int/viewer/28514/download?file=100-2018\\_es.pdf&type=pdf&navigator=1](https://library.wmo.int/viewer/28514/download?file=100-2018_es.pdf&type=pdf&navigator=1)
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Hrsg.)]. Cambridge, United Kingdom & New York, USA: Cambridge University Press.
- Paul, M., & Meyer, J. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 32, 333-365. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>
- Perez, C. (2007). *Plantaciones forestales e impactos sobre el ciclo del agua: Un análisis a partir del desarrollo de las plantaciones forestales en Uruguay*. Guayubira.
- Pérez Bidegain, M., García Préchac, F., Hill, M., & Clérico, C. (2010). La erosión de suelos en sistemas agrícolas. In F. García Préchac, O. Ernst, P. Arbeleche, M. Pérez Bidegain, C. Pritsch, A. Ferenczi, y M. Rivas (Eds.), *Intensificación Agrícola: Oportunidades y Amenazas para un país productivo y natural* (pp. 67-88). Udelar: CSIC.
- Romero, P. (2006). Cambio ambiental global: ¿nuevos desafíos a viejos problemas? *Globalización Revista web de Economía, Sociedad y Cultura*. <http://rcci.net/globalizacion/2006/fg644.htm>
- Rollán, A., & Bachmeier, O. (2014). Compactación y retención hídrica en Haplustoles de la provincia de Córdoba (Argentina) bajo siembra directa. *Agriscientia*, 31(1), 1-10. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v31.n1.9835>
- Santelices, A., & Rojas, J. (2016). Climate Change in Latin America: Inequality, Conflict, and Social Movements of Adaptation. *Latin American Perspectives*, 43(4), 4-11. <https://doi.org/10.1177/0094582X16644916>

- Schön, F. (2021). *Humedales e inundaciones de espacios urbanos en Uruguay* [Doctoral thesis, Universidade Federal de Santa María, Brasil]. Repositorio Institucional de la Universidade Federal de Santa María. [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23350/TES\\_PPGGEOGRAFIA\\_2021\\_SCH%C3%96N\\_FELINE.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23350/TES_PPGGEOGRAFIA_2021_SCH%C3%96N_FELINE.pdf?sequence=1)
- Schön, F., Domínguez, A., & Achkar, M. (2022). Urban wetlands, their dynamics and management strategies from the perspective of Environmental Geography. *The Geographical Journal*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/geoj.12445>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Manual 18 Manejo de humedales: Marcos para manejar Humedales de Importancia Internacional y otros humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4 ed. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-18sp.pdf>
- Sheng, P., Paramygin, V., Rivera-Nieves, A., Zou, R., Fernald, S., Hall, T., & Jacob, K. (2022). Coastal marshes provide valuable protection for coastal communities from storm-induced wave, flood, and structural loss in a changing climate. *Scientific Reports*, 12, 3051. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06850-z>
- Sistema Nacional de Emergencia (SINAE). (2017). *Eventos de inundación registrados entre 1990 y 2017*. [Conjunto de datos].
- Sistema Nacional de Emergencia (SINAE). (2022). *Evento de inundación registrados entre 2005 y 2021. Monitor Integral de Riesgos y Afectaciones. Visualizador histórico de eventos*. [Cobertura shape]. <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/pagina-embebida/visualizador-historico-eventos>
- Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P., Jäger, J., Matson, P. A., Moore, B., iii, F., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H. J., Turner, B. L., & Wasson, R. J. (2004). *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure*. International Geosphere-Biosphere Program Global Changes. <https://doi.org/10.1007/b137870>
- Svampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias*. CALAS. <https://doi.org/10.14361/9783839445266>
- Varuolo-Clarke, A., Smerdon, J., Park Williams, A., & Seager, R. (2021). Gross Discrepancies between Observed and Simulated Twentieth-to-Twenty-First-Century Precipitation Trends in Southeastern South America. *Journal of Climate*, 34, 6441-6457. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0746.1>
- Ward, P., Jongman, B., Salamon, P., Simpson, A., Bates, P., De Groeve, T., Muis, S., de Perez, E. C., Rudari, R., Trigg, M. A., & Winsemius, H. (2015). Usefulness and limitations of global flood risk models, *Nature Climate Change*, 5, 712–715. <https://doi.org/10.1038/nclimate2742>
- World Commission on Dams. (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-making: the Report of the World Commission on Dams*. Earthscan Publications Ltd. [https://archive.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world\\_commission\\_on\\_dams\\_final\\_report.pdf](https://archive.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf)
- Weber, J. F., Menajovsky, S., Failache, N., Zamanillo, E., & Irigoyen, M. (2015). Crecidas: un modelo estocástico de operación óptima de presas. Caso Embalse Salto Grande [Conference Paper]. XXV Congreso Nacional de Agua (Conagua), Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Xiao, Y., Yi, S., & Tang, Y. (2016). GIS-based multi-criteria analysis method for flood risk assessment under urbanization. *Geoinformatics, 24th International Conference*. Galway, IEEE Publication.
- Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B., Senevirate, S., Ward, P., Pitman, A., AghaKouchak, Bresch, D., Leonard, M., Wahl, T., & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8, 469-477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>