



## RESPUESTA DE LA CUENCA DEL ARROYO CULULÚ (PAMPA NORTE) ANTE EVENTOS EXTREMOS BASADO EN EL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LAS VARIABLES HIDRO-METEOROLÓGICAS

Sánchez, Daniela<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería y ciencias hídricas (FICH) - UNL

Director/a: Dra. Krohling, Daniela M.

Codirector/a: Dr. Cello, Pablo

Área: Ingeniería

Palabras claves: Cuenca, precipitación, anegamientos.

### INTRODUCCIÓN

Se presenta una caracterización de los cambios espaciales y temporales en respuesta a eventos extremos de precipitación recientes en la cuenca del Arroyo Cululú, con fines al estudio de la problemática de excedentes hídricos. La cuenca del Cululú es la mayor de las subcuencas que forman la cuenca del Río Salado/Juramento, en el centro-oeste de la provincia de Santa Fe y un sector del noreste de la provincia de Córdoba. La cuenca, de ca. 9500 km<sup>2</sup>, ocupa un área típica de la llanura pampeana norte, cuyas características geomorfológicas permiten diferenciar dos áreas contrastantes: el área occidental, representada por un plano elevado por neotectónica, de pendiente general muy suave hacia el este, con paleocauces y cañadas interconectadas, y un área oriental, con desarrollo de valles fluviales que se integran hacia el colector (Arroyo Cululú). La columna sedimentaria cuaternaria de la cuenca está constituida por sedimentos loésicos y palustres, donde se aloja el acuífero freático. El flujo subterráneo regional presenta una dirección general Oeste-Este, teniendo como nivel de base al Río Salado. El aumento de las precipitaciones por encima de la media histórica a partir del año 1970 ha generado un ascenso significativo de los niveles freáticos medios, aflorando en superficie en sectores definidos de la alta cuenca. Las características geológicas y geomorfológicas inciden sobre la permanencia de los anegamientos. Los cambios en el uso del suelo, el aprovechamiento intensivo de los mismos, junto con la mala planificación de obras de infraestructura hídricas, han generado una disminución en las tasas de infiltración, en la capacidad de drenaje y/o almacenamiento de los horizontes del suelo y un aumento del escurrimiento superficial.

Título del proyecto: Evaluación del riesgo geológico en el Oeste de la provincia de Santa Fe y Este de la provincia de Córdoba, con aplicación a la problemática de excesos hídricos.

Instrumento: CAI+D Orientado

Año convocatoria: 2016

Organismo financiador: Universidad Nacional del Litoral (UNL)

Director/a: Dra. Krohling, Daniela M.

## OBJETIVOS

En este trabajo se hará la elección de un año hidrológico dentro del período temporal escogido por el Proyecto CAI+D orientado dentro del cual se llevará a cabo un análisis de la información satelital disponible y de registros observados de precipitaciones medias mensuales y de niveles freáticos medios mensuales en estaciones hidrometeorológicas para describir e interpretar el comportamiento del sistema hidrológico ante un escenario de excedentes hídricos.

Se busca identificar áreas vulnerables al anegamiento en respuesta a dichos eventos extremos en la cuenca del Arroyo Cululú, a partir del procesamiento y análisis de imágenes satelitales mediante la aplicación de herramientas novedosas como lo es Google Earth Engine obtenidas de sensores remotos, complementado con la interpretación de la interacción de las variables hidrometeorológicas actuantes en el sistema.

## METODOLOGÍA

La metodología consistió en la aplicación de herramientas obtenidas de sensores remotos, el control geomorfológico en campo y el análisis de variables hidro-meteorológicas. Particularmente el estudio se centró en:

- a. Selección de la ventana temporal de excedentes hídricos a partir del análisis de series históricas de las variables precipitación y nivel freático obtenidas del INTA–Rafaela y de la estación ubicada en la ciudad de Vila obtenida del MIT (Ministerio de Infraestructura y transporte de la provincia de Santa Fe). Dichas estaciones fueron seleccionadas tanto por la calidad de los datos registrados como por su representatividad para evaluar la interrelación de las variables meteorológicas.
- b. Análisis de la serie de caudales de la estación de aforos Cululú-RP 50 (MIT, Santa Fe).
- c. Procesamiento de las series temporales de las estaciones antes definidas, agregándolas a paso mensual.
- d. Elaboración de histogramas de la serie de precipitación y de curvas de niveles freáticos para el periodo definido.
- e. Procesamiento de imágenes satelitales del dataset Landsat 8 utilizando en la herramienta novedosa de Google Earth Engine ®. La codificación elaborada a partir de las bandas multispectrales permite resaltar las áreas más húmedas de la zona de estudio.
- f. Clasificación supervisada de imágenes pertenecientes a 4 (cuatro) estadio del sistema hidrológico: Octubre 2015, Febrero 2016, Abril 2016 y Julio de 2016.
- g. Elaboración de animación recorriendo todo el período seleccionado mostrando el proceso de saturación del sistema hidrológico y la recuperación del mismo a su estado original.

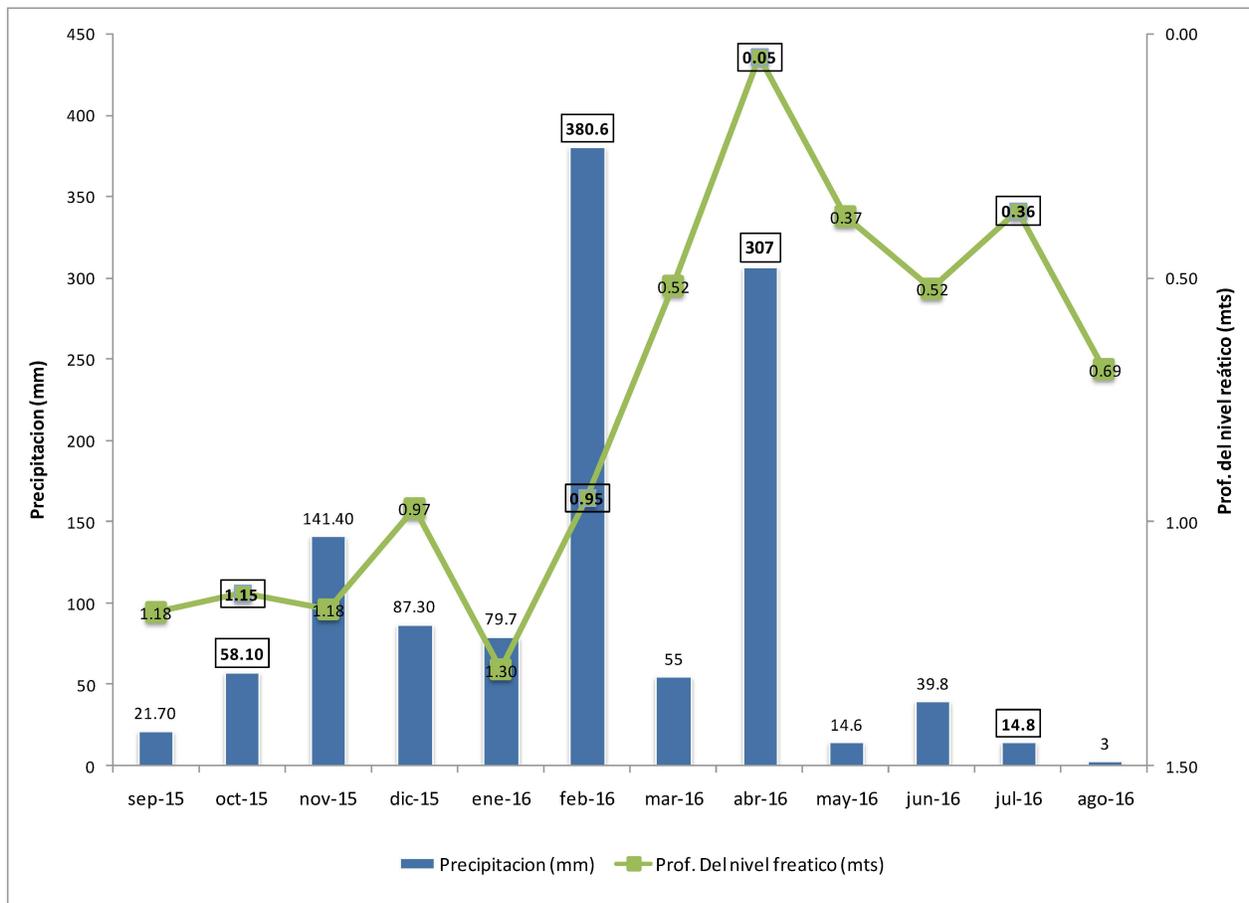
## RESULTADOS

El período de selección de análisis del CAI+D que se estableció a partir de este trabajo fue de Septiembre 2015 a Agosto de 2018, dado que es el período que cuenta con la mayor cantidad de información disponible de las series temporales de las variables hidrológicas esenciales como precipitación y niveles freáticos. A partir de ello, se escogió el período septiembre 2015 - agosto de 2016, representativo de un escenario con eventos extremos de excedentes hídricos.

Para el inicio del año hidrológico, el sistema se encontraba en condiciones de normales a húmedas presentados valores de precipitación y niveles freáticos normales en ambas estaciones hidrometeorológicas marcando valores de precipitación en el orden de los 50 mm/mes, y los niveles freáticos se encontraban a profundidades del orden de 1,50 mts. por debajo del nivel del terreno.

Durante los meses de diciembre 2015 y enero de 2016, la profundidad del nivel freático se acercaba a los 1,20 mts., y los registros mensuales de precipitación variaron entre 70 a 100 mm indicando ya condiciones medio-húmedas de la cuenca. Las imágenes satelitales para estos meses indican un sistema saturado en ascenso, registrando algunas áreas anegadas en la zona occidental de la cuenca.

Para febrero de 2016 se registró un evento extremo de precipitación que alcanzó los 380 mm de precipitación mensual en la ciudad de Rafaela, dando lugar a un ascenso inmediato del nivel freático alcanzando una profundidad de 0,90 m. La respuesta del paisaje a esta situación hídrica fue la generación de algunas áreas anegadas en la zona occidental de la cuenca. Para esa fecha se registró un caudal pico de 98 m<sup>3</sup>/seg en la Estación Cululú RP50. El evento no produjo tal impacto en la ciudad de Vila, dado que solo precipitaron 138 mm y la profundidad del nivel freático ascendió 60 cm respecto de su posición en el mes anterior.



**Figura 1.** Precipitación y profundidad del nivel freático mensuales en la estación de Rafaela (INTA). Ventana temporal de análisis septiembre 2015 – Agosto 2016.

En abril de 2016 se registró un nuevo evento extremo de precipitación en la región, alcanzando los 307 mm/mes en Rafaela, por lo que los niveles freáticos continuaron su ascenso ininterrumpido hasta casi alcanzar la superficie del terreno, con una profundidad de 0,05 mts. La imagen satelital para esa fecha señala grandes extensiones de áreas anegadas en la zona centro-occidental de la cuenca, como así también áreas inundadas en los valles



fluviales de la zona oriental, donde el caudal del colector fue de 310 m<sup>3</sup>/seg. Estas zonas anegadas producen en el paisaje hectáreas de campo anegados como se presentan en la figura 2.

**Figura 2.** Anegamientos en la zona de Vila – Alta cuenca del Arroyo Cululú.

Para el mes de Julio 2016 el sistema comienza lentamente su proceso de descarga dado que los valores de precipitación son del orden de entre los 5 y los 15 mm/mes y los niveles freáticos comienzan su descenso, llegando a los 1,37 mts. en Vila pero aún se evidencia en Rafaela un nivel freático cercano a superficie de 0,36 mts., debido a la residencia de éstos en un sistema que se encuentra saturado.

## CONCLUSIONES

Se observa una clara y rápida respuesta de los niveles freáticos a la recarga durante eventos extremos de precipitación. En contraposición, el proceso de descarga subterránea del sistema hidrológico es más lento durante el período de secano. Los caudales máximos mensuales registrados coinciden con la máxima precipitación y con la posición del nivel freático prácticamente aflorando en superficie. La recesión del acuífero se ralentizó debido a que la columna sedimentaria incluye unidades de relativa baja permeabilidad y una red de drenaje poco eficiente. Como consecuencia, el tiempo de permanencia de las zonas anegadas, particularmente en el oeste de la cuenca, es de alrededor de 3 meses.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*.  
INTA, 2019. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, <http://www.inta.gov.ar/region/sf/area/area.html>