

**XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**ESTUDIO DE LA DINÁMICA LAGUNAR EN EL DISTRITO DE VENADO  
TUERTO MEDIANTE HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS**

***Magali Valeria Soria<sup>(1)</sup>, Vanina Alejandra Piñero<sup>(1)</sup>, Nicolás Ledesma<sup>(1)</sup>, Pedro Abel Basile<sup>(2)</sup>***

*(1) GabiSat UTN-Facultad Regional Venado Tuerto, (2) Departamento de Hidráulica. FCEIA-UNR*

*Laprida 651, 2600, Venado Tuerto, Argentina*

*magali.soria.988@gmail.com*

**RESUMEN:**

El presente trabajo consiste en la obtención de un mapa que represente la dinámica superficial de las lagunas del distrito de Venado Tuerto, conforme a diferentes valores de precipitaciones acumuladas a treinta días, para las estaciones de primavera - verano.

Dicho mapa fue determinado mediante el análisis multitemporal de imágenes de los satélites Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM y Landsat 8-OLI, en las cuales previamente se realizaron tratamientos diversos hasta obtener las superficies de los cuerpos de agua. Luego, mediante Sistemas de Información Geográfica, las superficies fueron vectorizadas, y a través de diferentes procesos, vinculadas a las precipitaciones acumuladas correspondientes a las fechas de las mismas.

Finalmente, mediante la estandarización de las precipitaciones – superficies, se obtuvo el mapa de la dinámica lagunar para el distrito de Venado Tuerto.

**ABSTRACT:**

The present work consists of obtaining a map that represents the surface dynamics of the lagoons of the Venado Tuerto district, according to different values of rainfall accumulated to thirty days, for the spring - summer seasons.

This map was determined through the multitemporal analysis of images of the Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM and Landsat 8-OLI satellites, in which diverse treatments were previously carried out until the surfaces of the bodies of water were obtained. Then, through Geographic Information Systems, the surfaces were vectorized, and through different processes, linked to the cumulative rainfall corresponding to the dates of the same.

Finally, by means of the standardization of rainfall - surfaces, the lagoon dynamics map was obtained for the district of Venado Tuerto.

**PALABRAS CLAVES:** Dinámica Lagunar; Teledetección; Sistemas de Información Geográfica.

## INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Venado Tuerto, pertenece a la llanura Chaco-Pampeana. La misma posee un relieve plano en el cual se desarrolla un paisaje suavemente ondulado con lomas aplanadas y extendidas que se alternan con zonas bajas ocupadas por cañadas, bajos temporarios y lagunas. Las pendientes del terreno son del orden de 1%. Los suelos se hallan desarrollados sobre materiales loésicos de textura franca a limosa, en general profundos y bien drenados.

El clima en el sur de la Provincia de Santa Fe es húmedo con estación seca: Clima C a w, C por templado, a por húmedo y w por invierno seco. Las lluvias que se producen en dicha zona pertenecen al régimen atlántico, dependiendo su magnitud en forma directa del transporte de humedad proveniente de dicho océano (Martín, 2014).

Debido a las anteriores características climáticas, edáficas y morfológicas, no se ha formado una red de drenaje natural jerarquizada.

La naturaleza de las divisorias es probablemente el problema más complicado vinculado con los cuerpos de agua en llanuras. La escasa pendiente del terreno resulta a veces menor a la pendiente hidráulica, y el agua fluye en una u otra dirección de acuerdo a terraplenes mínimos u obstáculos similares. En algunos casos no es posible definir las divisorias hidrográficas de acuerdo con los métodos clásicos de la topografía y la geomorfología, puesto que no se trata de líneas sino de superficies horizontales a veces de extensión considerable. Allí el agua fluye en una u otra dirección de acuerdo al gradiente hidráulico producido por las diferencias en precipitación (Iriondo, 2012).

Durante lluvias de baja a mediana magnitud los cuerpos de agua reciben excesos pluviales provenientes de las áreas próximas, con una dinámica hídrica local de tipo endorreica. Estos excesos luego se evaporan y/o infiltran desde las zonas deprimidas. Para estas condiciones, el balance hídrico en el sistema se resuelve por medio de términos verticales de transferencia.

En períodos húmedos prolongados, con lluvias de gran magnitud, los bajos y lagunas colman su capacidad de almacenamiento, los niveles de agua superan los umbrales condicionantes del flujo y se originan desbordes. Las cañadas, en estas condiciones, actúan como elementos de conducción concatenándose en sentido Norte-Sur (Evarsa, 1995).

Puesto que en la actualidad no se conoce adecuadamente la dinámica de las lagunas pertenecientes al distrito de Venado Tuerto, mediante el presente trabajo se pretende analizar el comportamiento de las mismas frente a diferentes valores de precipitaciones acumuladas.

## DESARROLLO METODOLÓGICO

### Recopilación de información

En una primera instancia fue recopilada información de diversas fuentes. En lo que respecta a morfología se recabó información de: a) Imágenes satelitales de la serie Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI, de 30 m de resolución de píxel, la cual es una escala aceptable para este tipo de estudios, b) Modelo de elevación SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 30 m, c) Cartas topográficas del IGN (Instituto Geográfico Nacional), d) Puntos altimétricos brindados por el Municipio.

Con relación a las precipitaciones, se utilizó el historial de precipitaciones diarias de la Estación Meteorológica ubicada en el aeródromo municipal Tomás B. Kenny, estación perteneciente a la red de estaciones del SMN. Además, se utilizaron estudios e información suministrada principalmente por la Municipalidad de Venado Tuerto.

El período de estudio de las imágenes satelitales analizado fue desde enero de 2003 hasta febrero de 2017, puesto que anteriormente se realizaron obras de desagüe lo cual modificó el comportamiento de las superficies de las lagunas.

Para una mejor identificación visual al momento de elegir las fechas de las imágenes satelitales con la mayor distribución posible, La información pluviométrica fue transformada a precipitación acumulada a 30 días, para cada día del rango de estudio. Se clasificó la misma en tres clases:  $P_{acum} < 100 \text{ mm}$ ;  $100 \text{ mm} \leq P_{acum} \leq 200 \text{ mm}$  y  $P_{acum} > 200 \text{ mm}$ .

### Estudio multitemporal de imágenes

Con la finalidad de realizar el estudio multitemporal de imágenes satelitales se descargaron las imágenes seleccionadas para el periodo de estudio, las cuales pertenecen a Path 227 - Row 083, que son las correspondientes a la zona de estudio.

Se realizó el agrupamiento de bandas de interés y calibración de las mismas con motivo de llevar los valores absolutos a valores de radiancia y poder realizar comparaciones entre imágenes de diferentes sensores.

La fórmula de calibración para las imágenes de los distintos sensores fue la siguiente:

$$L_{\lambda} = G_{rescale} Q_{cal} + B_{rescale} \quad [1]$$

dónde  $L_{\lambda}$  es la banda transformada a niveles de radiancia,  $G_{rescale}$  es el factor de ganancia de reajuste específico de la banda  $[(W/(m^2 \text{ sr pm}))/DN]$  (Ganancia),  $Q_{cal}$  es el valor de píxel calibrado cuantificado [DN] y  $B_{rescale}$  es el factor de sesgo de reescalamiento específico de banda  $[W / (m^2 \text{ sr pm})]$  (Bias).

Luego se realizaron las siguientes correcciones: i) Corrección atmosférica de las imágenes de los satélites Landsat 5-TM y Landsat 7- ETM+. ii) Corrección geométrica de imágenes por posicionamiento, mediante imagen de referencia (de coordenadas precisas) brindada por CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales).

Con el objetivo de destacar las coberturas de Suelos, Vegetación y Agua en las imágenes, se realizó la generación de los siguientes índices espectrales normalizados:

#### *Índice normalizado de la diferencia de humedad:*

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad [2]$$

Dónde: NIR: Banda situada en la longitud de onda del infrarrojo cercano, SWIR: Banda situada en la longitud de onda del infrarrojo de onda corta.

#### *Índice de vegetación diferencial normalizado:*

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad [3]$$

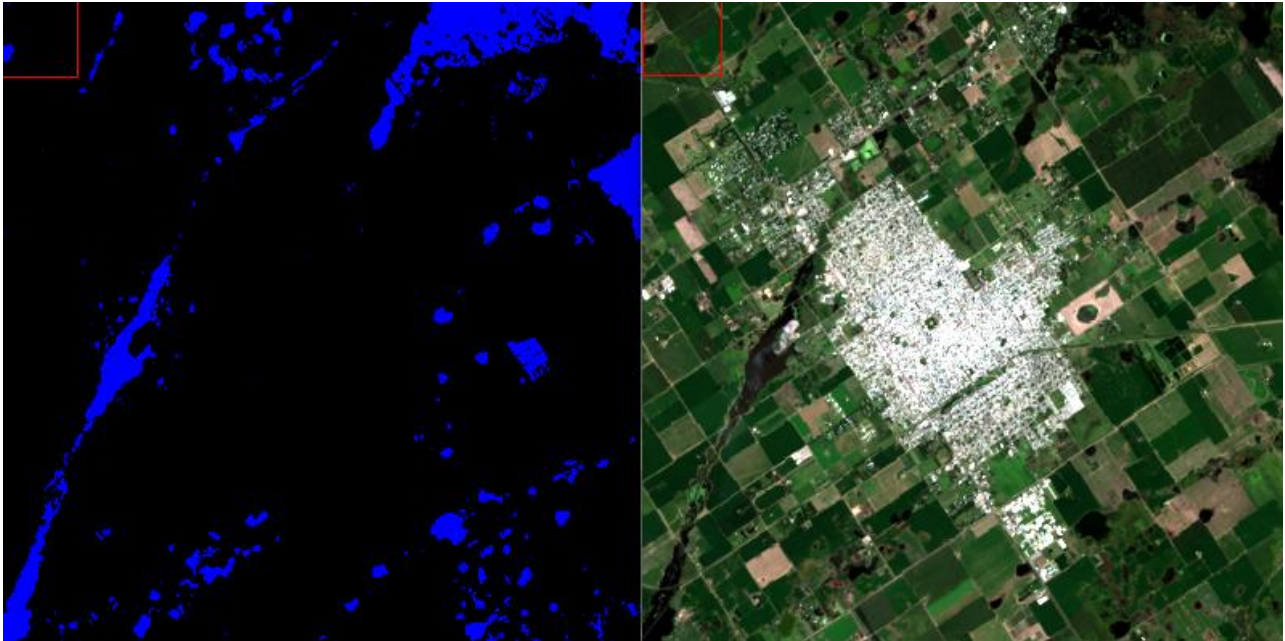
Dónde R: Banda situada en la longitud de rojo visible.

#### *Índice de la diferencia de agua normalizado, modificado.*

$$MNDWI = \frac{G - SWIR}{G + SWIR} \quad [4]$$

Dónde G: Banda situada en la longitud de onda verde visible.

A continuación se procedió a efectuar una Clasificación espectral “No Supervisada” para cada imagen, con un rango mínimo de 30 y un máximo de 50 clases, un máximo de 6 iteraciones y con la condición de que para que sea "clase" deba tener un mínimo de 10 píxeles representando a la misma. Luego, se realizó la intervención de cada clasificación, diferenciando las clases en "Agua" y "No Agua". En la Figura 1 se observa una de las imágenes clasificadas con intervención.



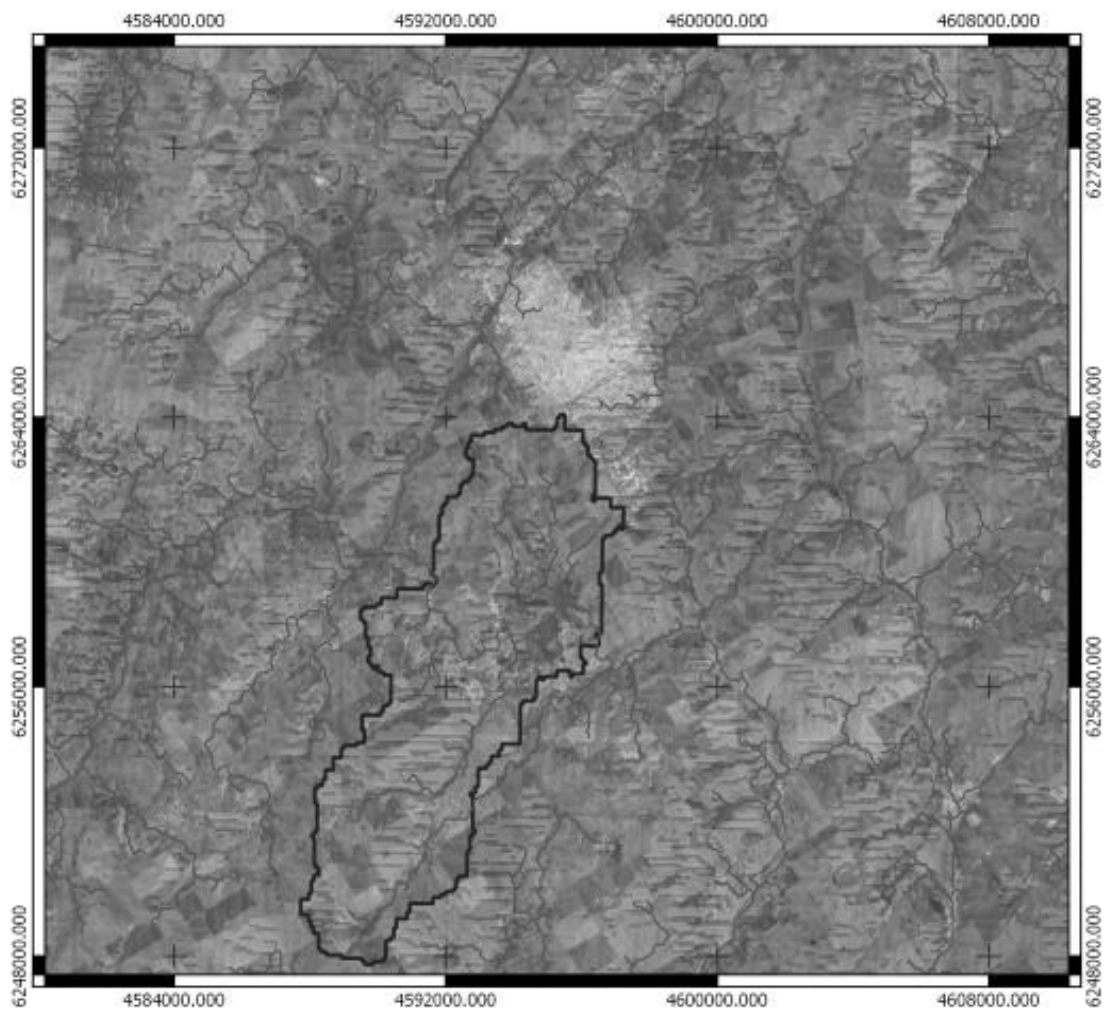
**Figura 1.-** Comparación de imagen clasificada en “agua” – “no agua” con respecto a imagen satelital en combinación color verdadero.

A los efectos de lograr una mejor caracterización, se realizó la transformación de las imágenes clasificadas (formato ráster) a máscaras de agua de tipo polígono (formato vectorial).

### **Identificación de Lagunas**

A fines de poder identificar cada laguna perteneciente al distrito y reconocer su área de aporte, a través del modelo digital de elevación SRTM de 30 m, se realizaron las siguientes acciones:

- Relleno de vacíos y depresiones, para solventar la falta de datos que pudiese existir en el modelo.
- Filtrado de paso bajo: Puesto que el modelo SRTM es un modelo de superficie, es decir, que representa la altura del terreno incluyendo todos los elementos enlazados en el mismo, fue aplicado un filtro de ventana móvil de promedio de píxeles vecinos, con un rango de 9 píxeles vecinos, con la finalidad de obtener un modelo digital de terreno.
- Parámetros geomorfológicos e hidrológicos, los cuales sirvieron para delimitar el área de aporte de cada uno de los cuerpos de agua. En la Figura 2 se presenta el área de aporte para una de las lagunas pertenecientes al distrito (laguna La Victoria).



**Figura 2.-** Delimitación área de aporte de la laguna La Victoria.

Los productos resultantes del modelo SRTM fueron cotejados con información altimétrica brindada por el IGN y el Municipio de Venado Tuerto, a fin de verificar la veracidad de los mismos.

### **Mapa de dinámica hídrica**

Conforme fueron obtenidas las máscaras de agua y las áreas de aporte, mediante software de Sistemas de Información Geográfica QGIS, se ejecutaron secuencialmente diversas herramientas de geoproceto, entrecruzando información de las diversas capas generadas, con motivo de lograr identificar, caracterizar y cuantificar los cuerpos de agua.

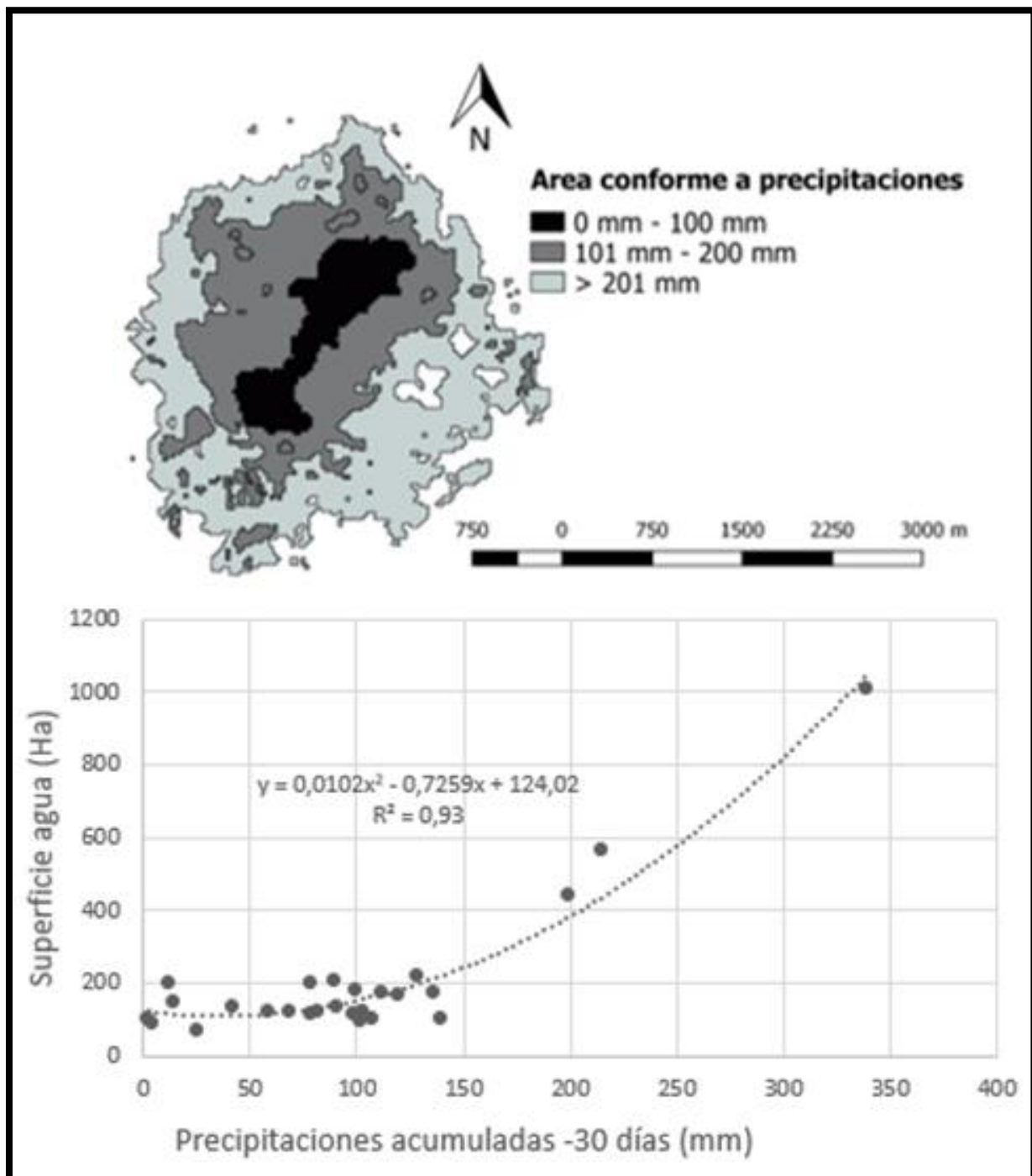
Obtenido esto, se concibió una correlación simple mediante una gráfica, del área que arrojó cada una de las imágenes, con la precipitación acumulada de los 30 días anteriores a la fecha de la imagen.

La parametrización obtenida solamente resultó aplicable en las estaciones primavera – verano, puesto que el análisis de cuerpos de agua en las estaciones de otoño-invierno no presentaba una clara tendencia.

Cabe destacar que las correlaciones obtenidas entre las lagunas y las precipitaciones acumuladas a 30 días para las estaciones de primavera-verano presentan valores muy altos,  $R^2 > 0.70$ .

En la Figura 3 se observa el comportamiento de una de las lagunas pertenecientes al distrito acorde a las precipitaciones acumuladas a 30 días.

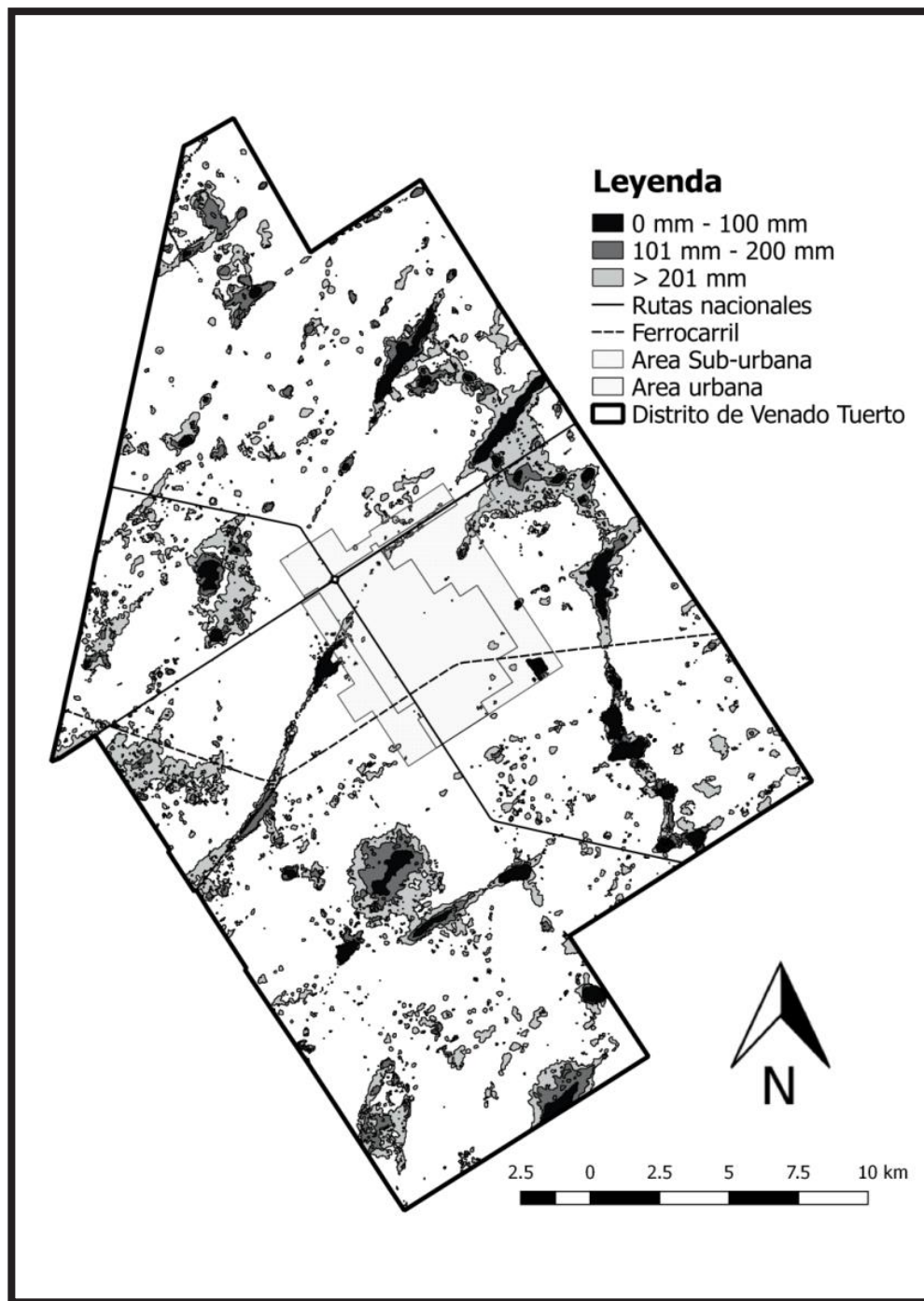




**Figura 3.-** Correlación de superficie de agua frente a precipitaciones acumuladas en las estaciones de primavera-verano para la laguna “La Victoria”, Venado Tuerto.

Una vez verificada la correlación para las distintas lagunas, se realizaron interpolaciones de las áreas de lagunas obtenidas, con la finalidad de estandarizar los rangos de valores de precipitaciones acumuladas.

Posteriormente, fue generado el mapa de dinámica lagunar para el distrito de Venado Tuerto, conforme a precipitaciones acumuladas a 30 días, tal como se presenta en la Figura 4.



**Figura 4.-** Mapa de la dinámica hídrica del distrito de Venado Tuerto para las estaciones primavera-verano.

Todos los productos obtenidos del análisis de las imágenes satelitales se ingresaron metodológicamente a una base de datos libre, con el fin de preservar la información, poner conectarla con otros datos de interés (en los cuales se generarán vínculos mediante consultas a la base), y que resulte aplicable a estudios posteriores.

## CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una metodología que permite predecir la superficie y distribución de las lagunas en el distrito de Venado Tuerto conforme a la precipitación acumulada a treinta días para las estaciones de primavera-verano.

Por lo tanto, el presente trabajo constituye una herramienta de gran utilidad para diversos usuarios finales, tales como, Municipio, Entidades Educativas, Universidades y Productores Rurales, entre otros. Ofreciendo herramientas de fácil interpretación para ser utilizables en las siguientes áreas de aplicación según cada usuario: i) Gestión y Planificación del distrito, ii) Investigaciones de Entidades Educativas y Universidades, y iii) como sistema de consulta simple para los Productores Rurales, con una variable básica como la precipitación lo cual permitirá estimar porcentaje de hectáreas afectadas por anegamiento temporario o no, debido a periodos estivales futuros o sucedidos.

Además, para el desarrollo de la misma se crearon procedimientos ad-hoc, lo cual será de mucha utilidad para posteriores trabajos y a su vez, al realizar todos los procedimientos con software libres, las metodologías podrán ser reproducibles en otras zonas con características semejantes, por usuarios con ciertos conocimientos del tema.

Por último, se generó una base de datos con el material procesado, lo cual servirá como información de base para la realización de otros estudios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bea, M., Montesinos S.** *Aplicaciones operativas de Teledetección en la Planificación y Gestión del medio Hídrico* (2008). Revista de Teledetección. 29; 91-100
- Benito, G., & Hudson, P. F.** (2010). *10 Flood hazards: the context of fluvial geomorphology*. Ediciones Irasema Alcántara-Ayala and Andrew S. Goudie. Cambridge University Press 2010.
- Bohn V., Piccolo M., Perillo G.** *Aplicación del índice estandarizado de precipitación a la Laguna Unamuno*. Asociación Argentina de Geofísicos y geodesias. Geoacta 32; 75-81.
- Chuvieco, E.** (1995). *Fundamentos de la Teledetección Espacial*- Ediciones Rialp S.A. Madrid, España.
- Chuvieco, E.** (2002). *Teledetección Ambiental*- Ariel S.A. Barcelona, España.
- Ferrero, V. O.** (2004). *Hidrología computacional y Modelos digitales en Terrenos*. Madrid España: Creative Commons.
- Ferrero, V. O.** (2009). *Sistemas de información geográfica*. Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano, 2009, núm. 8.
- Huggett, R.** (2016). *Fundamentals of geomorphology*. Routledge.
- Iriondo, M.** (2012). *Aguas subterráneas y superficiales de la provincia de Santa Fe*. Moglia S.R.L. Santa Fe, Argentina.
- Martín, R.** (2014). *Meteorología Regional: El Clima en la Pampa Húmeda*. Iracema ediciones. Rosario, Argentina.
- Nichols, G.** (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. John Wiley & Sons.
- Pasotti, P.,** (1973). *Nuevo aporte al conocimiento de la morfología de la Llanura Santafesina*. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GEA, Serie Especial 1, Rosario.
- San José, J.D.R** (2010). *Introducción al tratamiento de datos espaciales en hidrología*. Bubok.