



## **RESUMEN**

**Plan Integral para el Estudio, Evaluación y Gestión de Sequías en Cuencas de la Región Semiárida y Subhúmeda de Argentina**

**Marzo 2020**

## **PLAN INTEGRAL PARA EL ESTUDIO, EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE SEQUÍAS EN CUENCAS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA Y SUBHÚMEDA DE ARGENTINA**

Responsable del Proyecto: Dra. Ing. Leticia Vicario

Equipo técnico (ordenado alfabéticamente por apellido): Ing. Civil Elcano, Giuliana; Téc. Ludueña, Nicolás Martín; Geol. Mortarino, Nadia, Ing. Sist. Raviolo, Eugenia; Ing. Agr. Tomasini, Sabrina.

### **Resumen**

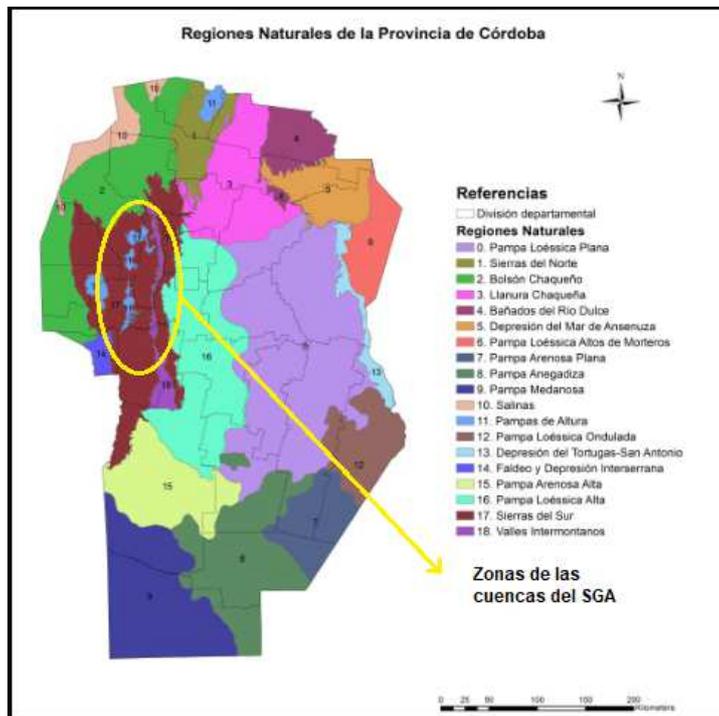
En línea con el eje temático N°2 “Adaptación a extremos climáticos” del PLAN NACIONAL DEL AGUA desarrollado en 9 meses del año 2019, por un equipo multidisciplinario del Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (INA-CIRSA), se coordinaron acciones tendientes a producir avances en el conocimiento de las sequías, observando tanto la evolución temporal como la variabilidad espacial de las mismas, en la región semiárida de Argentina; para luego desarrollar una herramienta de acceso público (actualmente en procesamiento) de la información, sobre aspectos de dicho fenómeno en el área de estudio. Cabe destacar que el presente informe es un extracto del Informe final presentado a las autoridades a través de NO-2019-102392070-APN-SCRS#INA.

### **GENERALIDADES**

En base al Cronograma de actividades se logró cumplimentar con lo previsto para el desarrollo de las tareas mencionadas y con el inicio y optimización de las tareas que requieren mayor tiempo de procesamiento y trabajo. Dada la conveniencia de la existencia Sistema de Adquisición de datos en Tiempo Real del Sistema de Gestión de Amenazas (SGA) del INA-CIRSA, se tomó como región de estudio el área que compone dicho sistema, para utilizar la información de las estaciones existentes. Se pueden visualizar las cuencas y estaciones que conforman el área de estudio en el sitio web: <https://sgainacirsa.ddns.net/cirsa/>

## CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Dadas las diferentes regiones naturales en la provincia de Córdoba, el área de estudio se encuentra distribuida en mayor porcentaje dentro a la región natural “Sierras del Sur”, en menor medida hacia el oeste en la región “Pampas de altura”, hacia el centro en los “Valles Intermontanos” y hacia el este dentro de la “Pampa Loésica Alta”. (Figura 1)



**Figura 1:** Regiones naturales de la provincia de Córdoba. Se destaca la localización de las cuencas del SGA (INA-CIRSA) como área de estudio.

Algunas de las características destacadas en relación al suelo, vegetación, clima, geomorfología e hidrología, de las regiones de mayor importancia en relación al área de estudio, se mencionan a continuación:

-Sierras del Sur: Es la región de mayor superficie en el área de las cuencas que conforman el SGA, Según la bibliografía consultada, no se cuenta con suficientes registros meteorológicos para caracterizar su gran variedad climática. La topografía se considera, entre otros elementos, la causante de la existencia de microclimas, aunque un patrón general para esta región muestra un gradiente de disminución de las precipitaciones hacia el oeste y un aumento correlativo de la evapotranspiración. Las precipitaciones se concentran en los meses estivales, comprendidos entre octubre-marzo.

Las formaciones rocosas están compuestas principalmente por rocas metamórficas (gneiss, esquistos, migmatitas, etc.) e ígneas (granitos). A excepción de las pampas de altura, su relieve en general es escarpado, presentando una marcada diferencia entre su vertiente occidental y oriental, la densidad de drenaje es alta y los procesos dominantes son erosión vertical asociada a cursos de agua, procesos de remoción en masa (caídas y deslizamientos de bloques) en laderas escarpadas, erosión hídrica en manto o encauzada en áreas con cobertura de sedimentos, sometidas a uso principalmente ganadero. Los relieves más escarpados al Este, se van suavizando hacia el Oeste, las

áreas de relieve escarpado, ocupan aproximadamente el 70 % de la superficie de todo el ambiente serrano y constituyen las nacientes de los cursos de agua más importantes, que avanan tanto hacia la vertiente oriental como hacia la occidental (Figura 2). Este tipo de relieve se caracteriza por presentar fuertes pendientes, cursos angostos, encajonados, valles sin relleno sedimentario, con ollas y rápidos a nivel del cauce. En el borde occidental y Sur de las sierras hay áreas de relieve más suavizado, que presentan valles con relleno sedimentario de origen coluvial y aluvial, pocas pendientes. Los interfluvios presentan pendientes moderadas. Los taludes del área, con mucha o poca pendiente, se pueden observar en la Figura 3.

En relación a los suelos podemos mencionar que la variedad presente de los mismos es consecuencia de las diferencias que hay en cuanto al relieve, posición en el paisaje, material original y clima. Con excepción a las Pampas de Altura y algunos valles y laderas, en general los suelos presentes son jóvenes de escaso desarrollo y en su gran mayoría pertenecen al orden taxonómico Entisoles.

En las Sierras Grandes, la alteración del complejo metamórfico es profunda, debido a una mayor humedad y a la presencia de planos de esquistosidad subverticales que favorecen la penetración del agua (meteorización profunda), originando suelos favorables a la penetración de raíces. En el área granítica los suelos son someros, de texturas más finas, con buenos contenidos de materia orgánica y alto porcentaje de roca aflorante. En los Cordones Occidentales, se encuentran suelos esqueléticos de escasa profundidad.

En el piedemonte los materiales originarios son de texturas muy variadas, desde esqueléticas gruesas, hasta franco limosas y arcillo limosas. La capa freática, es profunda y no afecta al perfil de los suelos, pero los procesos de erosión hídrica son intensos.

Esta región forma parte del Distrito Chaqueño Serrano. La vegetación se distribuye a lo largo del gradiente altitudinal formando pisos. Algunas especies de árboles que se encuentran son, quebracho blanco, algarrobo blanco, espinillos, chañar y tala, ascienden por las quebradas y fondos de valles hasta altitudes propias de la vegetación serrana, mezclándose con esta en un ecotono de difícil delimitación. Entre los 500 y 1300 msnm, se desarrolla el "bosque serrano" en forma discontinua y con distintas fisonomías debidas a diferencias de exposición, a la heterogeneidad propia de esos ambientes y a las alteraciones provocadas por las actividades humanas. El bosque serrano está dominado por molle, coco, que generalmente se distribuyen como individuos aislados y orco quebracho o quebracho de las sierras. En el estrato arbustivo dominan especies espinosas del género Acacia como espinillos, aromitos, garabatos, piquillín de las sierras y manzano del campo. En lugares abiertos y pedregosos encontramos carqueja y carquejilla, aromáticas como peperina y tomillo. Los chaguares, bromeliáceas de hojas de bordes espinosos, forman matas sobre las rocas, también se presentan numerosas cactáceas de vistosas flores y trepadoras, epífitas y hemiparásitas. El estrato herbáceo aparece en forma discontinua. Las especies más frecuentes son los helechos como doradilla, acompañados por numerosas dicotiledóneas herbáceas y gramíneas. A medida que se asciende, los elementos del bosque serrano van disminuyendo en tamaño y en densidad, confundiéndose con el matorral serrano o romerillar. A partir de los 1.000 metros de altitud, se presentan los pastizales y bosquesillos de altura.

-Pampa Loésica Alta: se caracteriza por presentar un clima templado, con elevada amplitud térmica y precipitaciones que se concentran entre los meses de octubre a marzo.

Constituye un plano estructuralmente elevado, con pendiente regional bastante uniforme en dirección hacia el Este y gradientes que disminuyen en esa misma dirección. Conforman un bloque elevado o basculado hacia el Este debido a fallas geológicas del basamento, cubierto en parte por depósitos de piedemonte o una potente acumulación de sedimentos eólicos, franco-limosos. Hacia el borde occidental, más ondulado, se presentan fenómenos erosivos, con presencia de "mallines" vinculados, en la mayoría de los casos, a lineamientos estructurales.

La capa de agua freática, muy profunda sobre el borde occidental, se hace más cercana a la superficie hacia el Este, la región está surcada por ríos y arroyos que nacen en la región serrana, la mayoría de los cuales exhiben importantes procesos de erosión vertical y lateral y una consecuente sedimentación en las áreas de derrame que se suceden hacia el Este.

Las vías de desagüe generalmente presentan un diseño condicionado por líneas estructurales (subparalelo o subrectangular). En el mapa de índice de humedad representado en la Figura 4, se resaltan las zonas deprimidas en colores azulados y el gradiente de la pendiente en sectores elevados con tonalidades de marrón y naranja y se observan finos trazos de líneas de escurrimiento, representados en colores naranjas. En el área de estudio se puede observar que se han generado profundos valles manteniendo el diseño meandriforme original del río que se ha encajado en las rocas del basamento. Estos valles tienen un perfil transversal que evidencia claramente la existencia de dos pulsos mayores de entallamiento. El primero ha grabado sobre la paleosuperficie más antigua un amplio y profundo valle que mantiene la fisonomía del sistema meandriforme encajado, y que hacia el este se abre sobre la segunda paleosuperficie. Este representa los dos tercios superiores del total de la profundidad de las quebradas. El segundo pulso de entallamiento se reconoce en la marcada incisión en forma de “V” cerrada, ocupada por el cauce actual, que ha sido cortada en el fondo del valle anterior y sobre la segunda paleosuperficie. Este último pulso estaría vinculado con el levantamiento de la sierra durante el Neógeno, pues corta sedimentos cretácicos y paleógenos. Dicha región se caracteriza por presentar suelos altamente productivos, provienen de material loésico, predominan los suelos del orden Haplustoles. Son suelos profundos, bien drenados, fértiles. El alto contenido de limo le confiere alta fragilidad e inestabilidad estructural, por lo cual suelen presentar procesos de erosión hídrica intensa y generalizada.

La vegetación predominante es el pastizal, sobre la cual alternan parches de bosques. Debido a las características propicias tanto de suelo y clima, la vegetación original ha sido reemplazada por prácticas agrícola-ganadera.

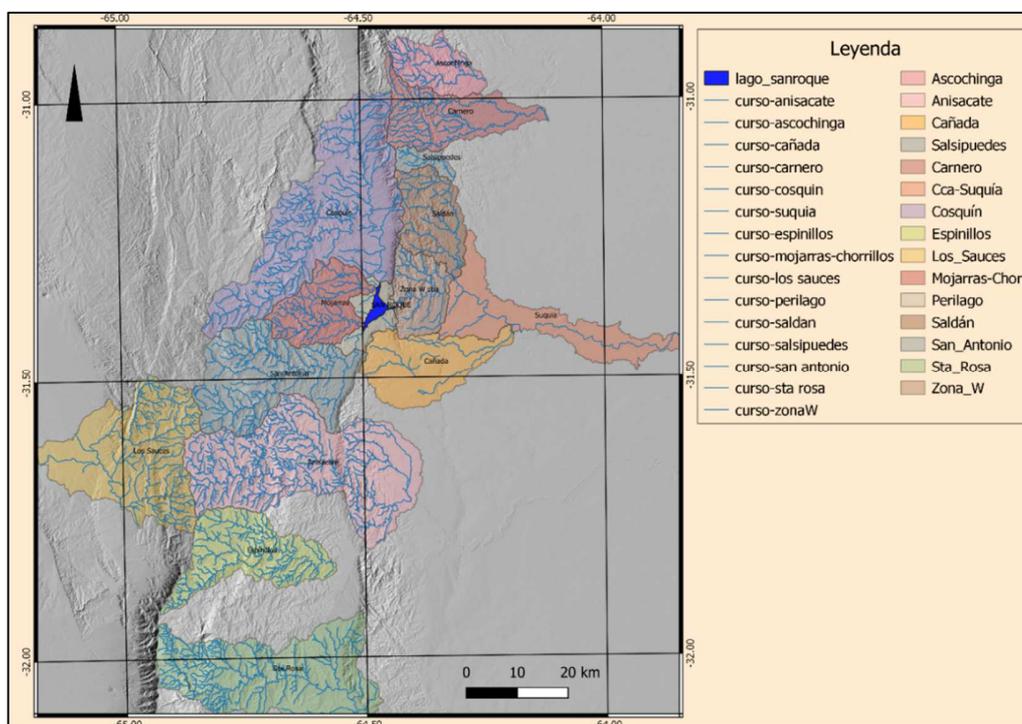


Figura 2: Mapa de Elevaciones y Región de estudio.

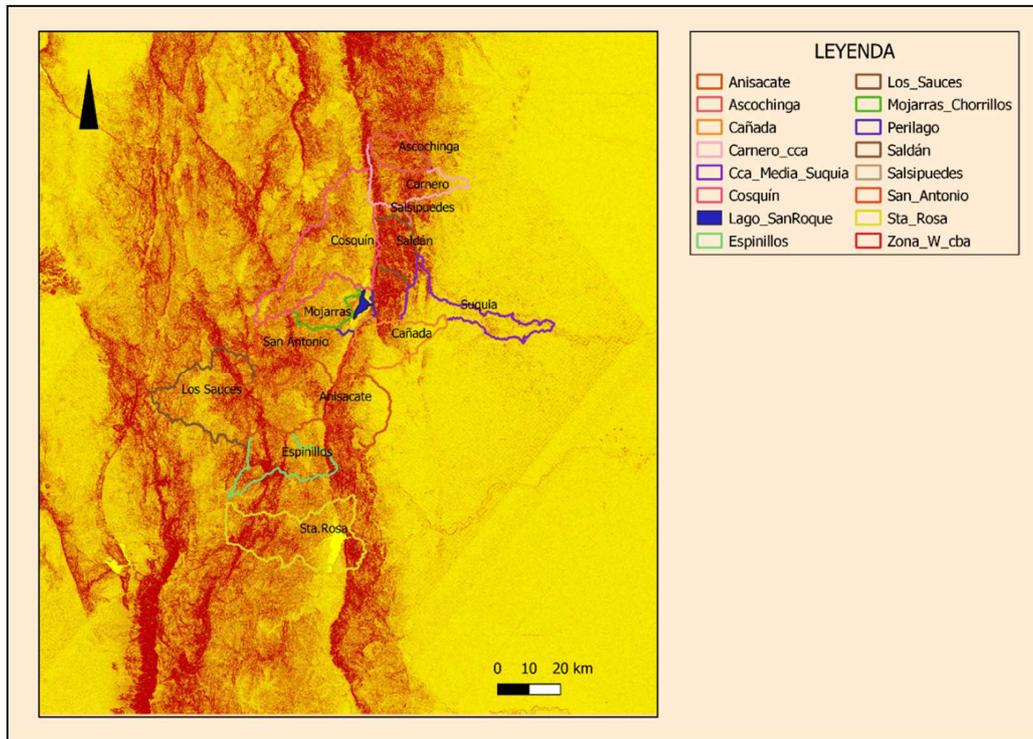


Figura 3: Mapa de Talud de la zona de estudio

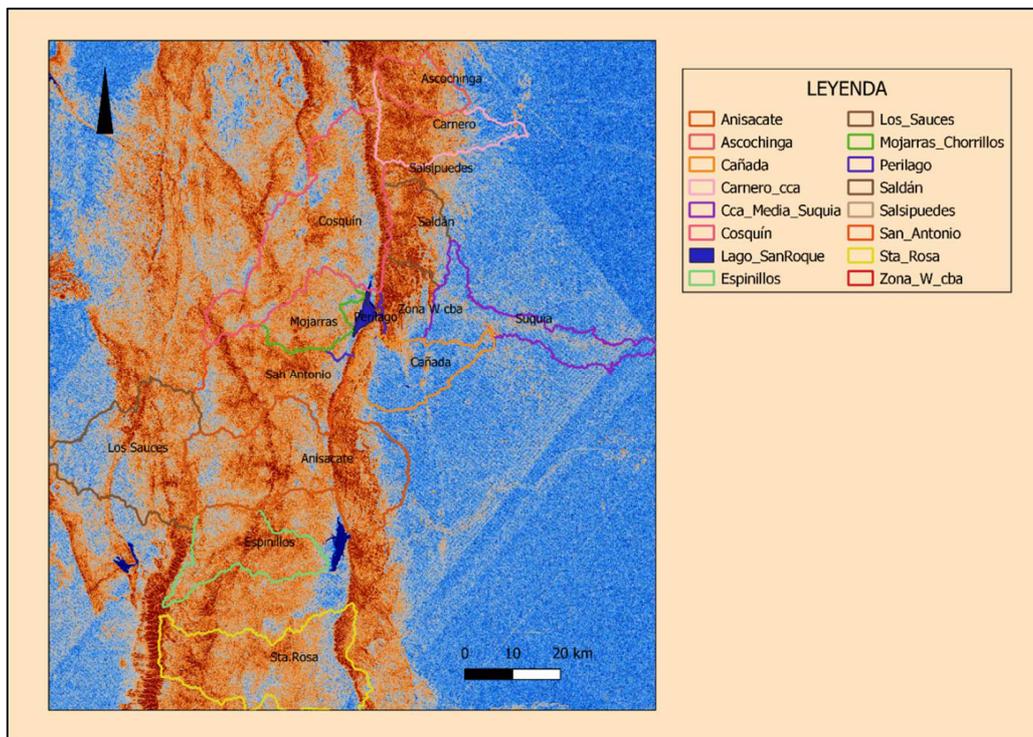


Figura 4: Mapa de Índice de Humedad.

## **ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS Y AVANCES EN LA INCORPORACIÓN DE MÓDULO INFORMÁTICO EN EL SISTEMA EXISTENTE DE GESTIÓN DE AMENAZA (SGA) DEL INA-CIRSA**

En primera instancia se incorporó el código computacional del índice de sequía Standardized Precipitation Index (SPI), ampliamente utilizado a nivel mundial y validado a nivel local por varios estudios y cuya variable de ingreso es la precipitación. A través de este módulo, se logrará estimar para cada mes el valor del índice de sequía SPI e implementar el recalcado automático para contemplar nuevos inputs o modificaciones. En general, el proceso recalcula la precipitación mensual del mes anterior para todas las estaciones. Esta información se almacena en una tabla con el siguiente formato:

CODIGO ESTACION | AÑO | MES | MM | SPI

Posteriormente se genera un archivo input (.txt) para cada estación, tomando los valores de la tabla de precipitación mensual. Estos inputs son registrados y dan la información al programa que calcula el SPI, generando un archivo output(.txt) para cada estación.

Luego se extiende a un proceso de lectura de los outputs para la actualización de la base de precipitaciones mensuales con el valor del SPI recién calculado.

Estos procedimientos se encuentran avanzados en más del 80%. La visualización de estos resultados se podrá realizar a través de tablas y gráficos, con filtros y con la posibilidad de ser descargados en planillas de cálculo (.xlsx). Una captura de la visualización en fase de prueba, incorporada al sitio web del SGA (<https://sgainacirsa.ddns.net/cirsa/login.xhtml>), se muestra en la figura 9.

De manera simultánea, se continua la conformación de la base de datos históricas del Sistema de Adquisición de Datos en Tiempo Real del SGA, lo cual implica obtener los registros históricos de todas las estaciones del sistema, el preprocesamiento y evaluación de calidad de registros, para luego agregar el paso de tiempo de los datos de lluvias, de diarias a mensuales (escala requerida para el análisis de distintos tipos de sequías).

### **ESTACIÓN DE REFERENCIA Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA LA EVALUACIÓN DE SEQUÍAS**

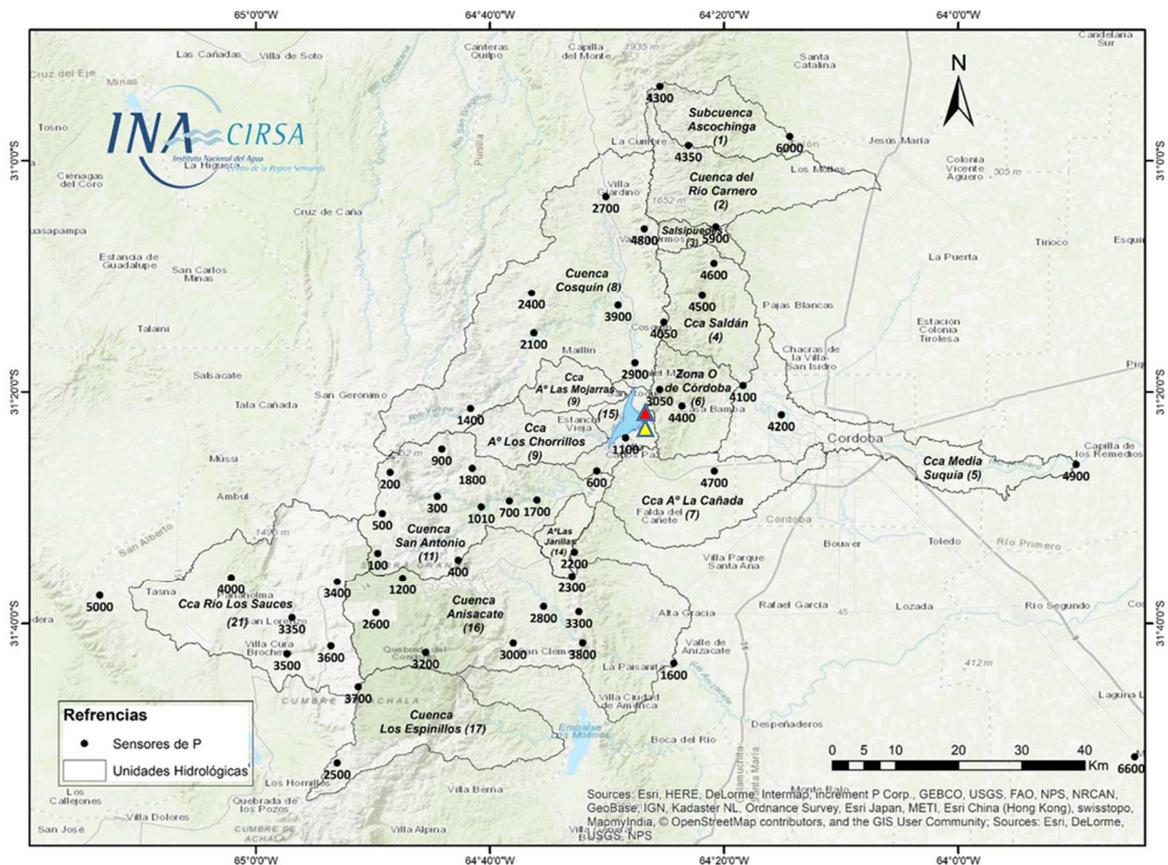
Dada la ausencia de una serie de lluvias mensuales lo suficientemente extensa para llevar a cabo un análisis de sequías, se consideró conveniente la utilización de los registros de la estación San Roque perteneciente a la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba cuyo periodo de operación y registro data desde 1942 hasta 1999, y que a través de trabajos posteriores fue extendida con datos satelitales hasta la actualidad (Vicario, 2017 y Vicario, 2018). Con el objetivo de comparación y validación de la información obtenidas de las estaciones del SGA y dada la cercanía geográfica de aproximadamente 8 km (Tabla 1 y Figura 5), además de la similitud de las características climáticas y topográficas (siendo la sequía hidrometeorológica un fenómeno de mesoescala), se considera apropiado utilizar esta serie en la estación 2000 perteneciente al INA-CIRSA. Con esta finalidad, además se procesaron datos de un satélite adicional y se hicieron los análisis y procesamiento pertinentes para darle continuidad a la serie en el tiempo original y permitir el monitoreo sobre los registros y funcionamiento del módulo del SPI, dentro del SGA.

**Tabla 1:** Ubicación de las estaciones San Roque y 2000 para la transposición de serie de registros

Estación	Coordenadas			
	Latitud Sur	Long. Oeste	UTM 20 J	UTM 20 J
San Roque	31.37	64.45	362100	6528853
2000	31.36	64.42	364938	6527877

A partir de esto, se desarrolló el análisis estadístico de los registros satelitales a partir del año 1998 a través de la información suministrada por el satélite TRMM. En noviembre de 1997 comenzó la misión satelital TRMM (por sus siglas en inglés de la Misión Tropical de Medición de Precipitaciones) desarrollada en forma conjunta entre la NASA y la agencia japonesa de exploración aeroespacial: JAXA, con el fin de estudiar las precipitaciones para investigaciones climatológicas. Estos datos admiten aplicaciones para la evaluación de la dinámica hidrológica, en distintas regiones (Campos et al., 2014).

También se utilizaron las estimaciones de precipitación del satélite CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), el cual fue desarrollado por el USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) en conjunto con el Centro de Riesgos Climáticos (CHC) de la Universidad de California, Santa Bárbara (UCSB). Con un alcance de 50° S-50° N (y todas las longitudes) y desde 1981 hasta el presente, CHIRPS incorpora 3 tipos de información: estimaciones de precipitación basadas en satelitales de la NASA y NOAA, climatología global (CHPclim) de alta resolución (0.05°) y datos de estaciones in situ. Las series de tiempo de lluvia creadas son útiles para el análisis de tendencias y monitoreo estacional de sequías.

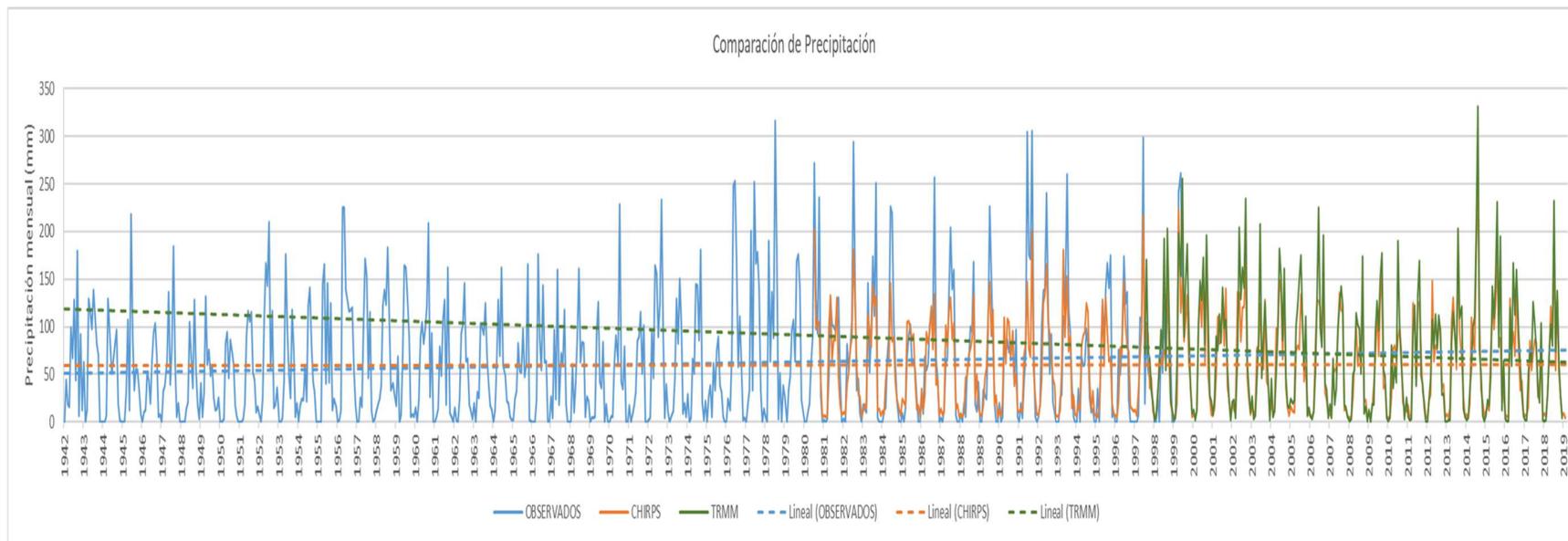


**Figura 5:** Esquema de la ubicación relativa entre la Estación San Roque (color rojo) y la Estación 2000 (color amarillo) dentro de las cuencas que conforman el SGA del INA-CIRSA.

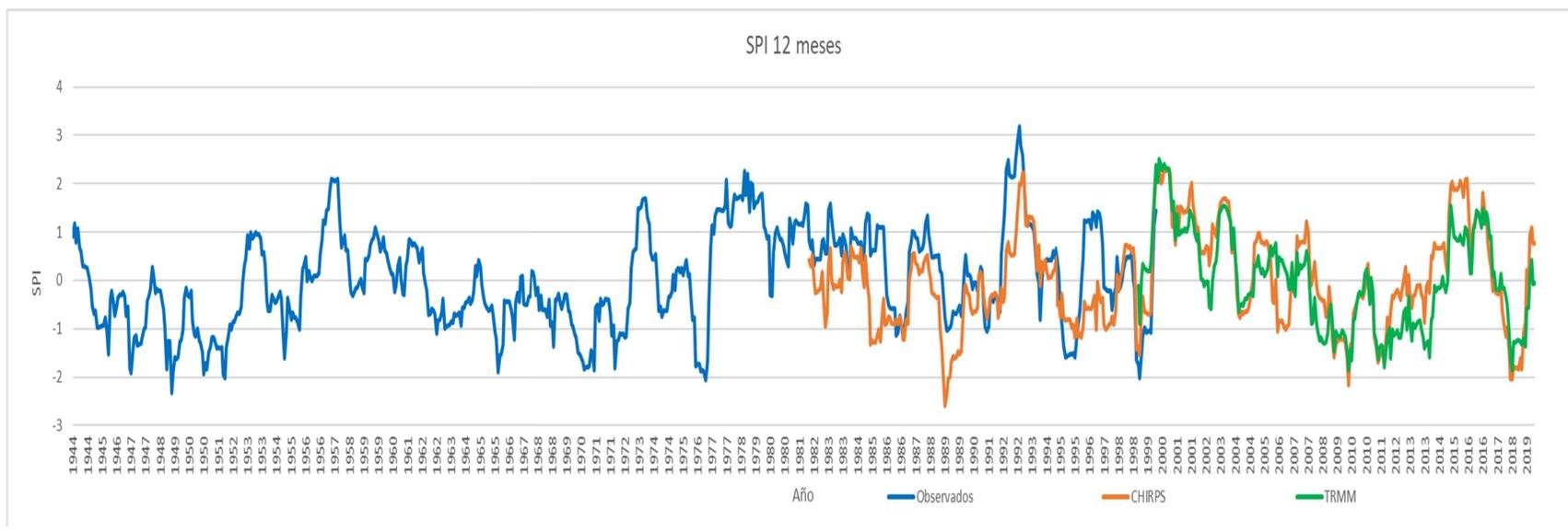
Rasmussen et al., (2013) mostró que es necesario examinar el sesgo de los valores obtenidos por TRMM ya que puede afectar la percepción de la climatología y de la hidrología en regiones relativamente áridas.

Este trabajo se basa en lo observado por Vicario (2017) al utilizar datos de precipitaciones de TRMM para el cálculo de un índice representativo de las sequías meteorológicas, el cual implica una normalización de los valores y por ende el sesgo es desestimado. De esta manera se considera que es posible evaluar la evolución temporal de las sequías hidrometeorológicas a través de un índice pertinente, utilizando información de sensores remotos previamente validada.

En la Figura 6 se muestra la serie completa de datos observados y los datos de lluvias mensuales obtenidos de los satélites CHIRPS y TRMM. Debido al sesgo relativo y con la finalidad de minimizar sus efectos en la estimación de periodos secos (y/o húmedos) se calcula el índice SPI con dichos valores (Figura 7)

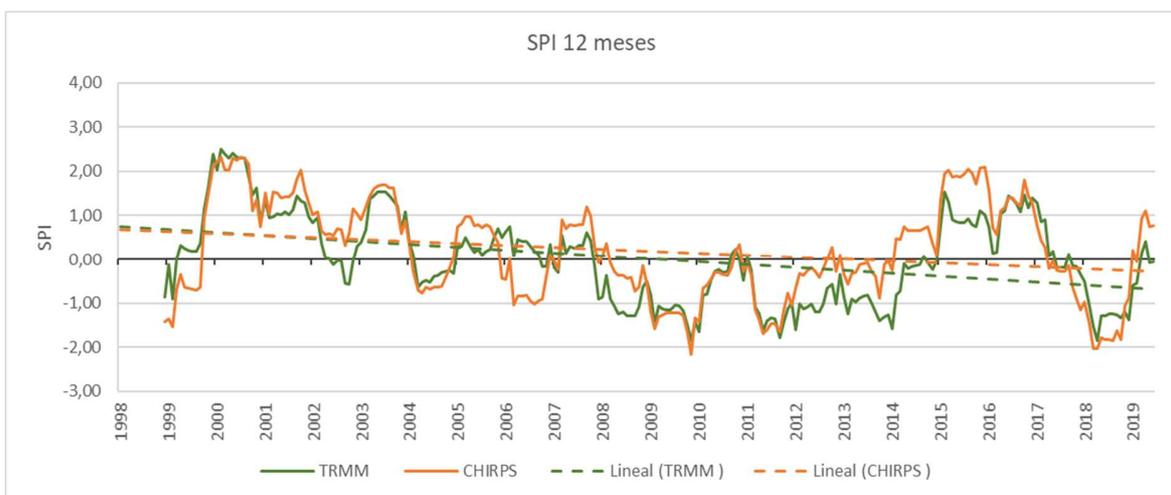


**Figura 6:** Datos de Lluvias mensuales en la estación San Roque (trasladados a la estación2000): Observados 1942-1999, CHIRPS (1981-2019) y TRMM (1998-2019).



**Figura 7:** Valores de SPI (12 meses) en la estación San Roque (trasladados a la estación 2000): Observados 1944-1999, CHIRPS (1982-2019) y TRMM (1999-2019).

Se comparó la caracterización de los periodos a través del SPI calculado con datos de ambos satélites (Figura 8) para el periodo que poseen datos en simultáneo. Se observa que ambas series poseen un comportamiento similar, como así también su tendencia; con lo cual se considera aceptable analizar y comparar los índices SPI estimados a futuro con los registros de la red telemétrica del SGA perteneciente al INA-CIRSA, con esta metodología propuesta.



**Figura 8:** Valores de SPI (CHIRPS vs TRMM) para el periodo de datos en común (1998-2019) y sus respectivas líneas de tendencia.

### ACTIVIDADES CONTINUAS Y A FUTURO

Se espera continuar con el procesamiento de la base de datos de lluvias mensuales y de índices de sequías meteorológicas (SPI), integrada al Sistema de Adquisición de Datos a Tiempo Real del Sistema de Gestión de Amenazas del INA-CIRSA; además de las actividades de monitoreo y evaluación de resultados, de tal manera de continuar mejorando el sistema con la finalidad de que, una vez consolidada, sea factible ampliar la zona de cobertura a través de proyectos futuros. Esto favorecerá el conocimiento para estudios con distintos objetivos y para la toma de decisiones en relación a la planificación y gestión de los Recursos Hídricos de la región.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Agencia Córdoba D.A.C Y T. Dirección de ambiente, 2003. Regiones naturales de la provincia de Córdoba. Gobierno de la provincia de Córdoba, marzo del 2003. P.29-37

Campos, A. N, Figueroa Schibber, E. y García, A. G. 2014. Evaluación de la información satelital para el estudio de la dinámica hidrológica de la Llanura Pampeana. 2° Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires, Argentina.

Carignano, C. A., Krohling, D., Degiovanni, S., Cioccale, M. A. (2014) Geología de Superficie. Relatorio del XIX Congreso de Geológico Argentino. 2014. Pp. 745-821. Córdoba, Argentina.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations— a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data* 2, 150066 (2015) doi:10.1038/sdata.2015.66

Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR) <https://www.mapascordoba.gob.ar/>. Página Consultada: octubre de 2019.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Manfredi (2006). Los suelos. Informe interno. Agencia Córdoba Ambiente

Rasmussen, K. L., Choi, S. L., Zuluaga, M. D. and Houze R. A. Jr. 2013. TRMM precipitation bias in extreme storms in South America. *Geophysical Research Letters*, 40, 3457–3461, doi:10.1002/grl.50651.

Ugarte, R. M. Mitigación de la Amenaza por Inundaciones Repentinas en las Comunas del Sur de Punilla, Provincia de Córdoba. (2006). Informe Final. Pp. 1-189. Córdoba, Argentina. Director Osvaldo Barbeito

Vicario, Leticia. 2018. Evaluación de sequías hidrometeorológicas en la estación San Roque, perteneciente a una cuenca serrana de la provincia de Córdoba. Informe interno INA-CIRSA. Sitio web: [https://www.ina.gov.ar/cirsa/pdf/Informe\\_Sequia\\_Meteorologica\\_estaci%C3%B3n\\_San\\_Roque.pdf](https://www.ina.gov.ar/cirsa/pdf/Informe_Sequia_Meteorologica_estaci%C3%B3n_San_Roque.pdf).

Vicario, Leticia. 2017. “Identificación y evaluación de sequías en cuencas seleccionadas de la Región Centro de Argentina” Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. 126 pág. Acceso en sitio web: <http://hdl.handle.net/11086/6291>