



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VENADO TUERTO

Departamento Ingeniería Civil
Proyecto Final N° 74

**“Caracterización Geomorfológica e Hidrológica del Sistema de Aporte de la Laguna
“Martí”, Pertenece al Municipio de Guatimozín”**

Autor:

Maño, Jonathan Jesús

Directora Técnica:

Mg. Ing. Soria, Magalí Valeria

Asesor Técnico:

Ing. Dabove, Daniel Enrique

Director Académico:

Ing. Revelant Mauricio Exequiel

2019



AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por el apoyo incondicional a lo largo de la carrera, siendo el pilar fundamental para poder llevarla adelante.

A mi directora de proyecto, por la dedicación durante el trascurso del mismo.

A amigos y compañeros, por el acompañamiento a lo largo de estos años.

AGRADECIMIENTOS	11
A mi familia, por el apoyo incondicional a lo largo de la carrera, siendo el pilar fundamental para poder llevarla adelante.	11
A mi directora de proyecto, por la dedicación durante el trascurso del mismo.	12
A amigos y compañeros, por el acompañamiento a lo largo de estos años.	13
RESUMEN	14
1. INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS	16
3. METODOLOGÍA	18
4. RESULTADOS	19
5. CONCLUSIONES	20
6. BIBLIOGRAFÍA	21
7. ANEXOS	22
8. GLOSARIO	23
9. INDICADORES DE CALIDAD	24
10. ANEXOS	25
11. GLOSARIO	26
12. INDICADORES DE CALIDAD	27
13. ANEXOS	28
14. GLOSARIO	29
15. INDICADORES DE CALIDAD	30
16. ANEXOS	31
17. GLOSARIO	32
18. INDICADORES DE CALIDAD	33
19. ANEXOS	34
20. GLOSARIO	35
21. INDICADORES DE CALIDAD	36
22. ANEXOS	37
23. GLOSARIO	38
24. INDICADORES DE CALIDAD	39
25. ANEXOS	40
26. GLOSARIO	41
27. INDICADORES DE CALIDAD	42
28. ANEXOS	43
29. GLOSARIO	44
30. INDICADORES DE CALIDAD	45
31. ANEXOS	46
32. GLOSARIO	47
33. INDICADORES DE CALIDAD	48
34. ANEXOS	49
35. GLOSARIO	50
36. INDICADORES DE CALIDAD	51
37. ANEXOS	52
38. GLOSARIO	53
39. INDICADORES DE CALIDAD	54
40. ANEXOS	55
41. GLOSARIO	56
42. INDICADORES DE CALIDAD	57
43. ANEXOS	58
44. GLOSARIO	59
45. INDICADORES DE CALIDAD	60
46. ANEXOS	61
47. GLOSARIO	62
48. INDICADORES DE CALIDAD	63
49. ANEXOS	64
50. GLOSARIO	65
51. INDICADORES DE CALIDAD	66
52. ANEXOS	67
53. GLOSARIO	68
54. INDICADORES DE CALIDAD	69
55. ANEXOS	70
56. GLOSARIO	71
57. INDICADORES DE CALIDAD	72
58. ANEXOS	73
59. GLOSARIO	74
60. INDICADORES DE CALIDAD	75
61. ANEXOS	76
62. GLOSARIO	77
63. INDICADORES DE CALIDAD	78
64. ANEXOS	79
65. GLOSARIO	80
66. INDICADORES DE CALIDAD	81
67. ANEXOS	82
68. GLOSARIO	83
69. INDICADORES DE CALIDAD	84
70. ANEXOS	85
71. GLOSARIO	86
72. INDICADORES DE CALIDAD	87
73. ANEXOS	88
74. GLOSARIO	89
75. INDICADORES DE CALIDAD	90
76. ANEXOS	91
77. GLOSARIO	92
78. INDICADORES DE CALIDAD	93
79. ANEXOS	94
80. GLOSARIO	95
81. INDICADORES DE CALIDAD	96
82. ANEXOS	97
83. GLOSARIO	98
84. INDICADORES DE CALIDAD	99
85. ANEXOS	100

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN.....	7
2. ABSTRACT.....	9
3. INTRODUCCIÓN	11
3.1. UBICACIÓN	12
3.2. CLIMA.....	13
3.3. GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA	14
3.4. SUELOS	15
3.5. VEGETACIÓN.....	16
4. OBJETIVO GENERAL	18
4.1. Objetivos Específicos.	18
5. ANTECEDENTES.....	19
6. MATERIALES.....	20
7. METODOLOGÍA	22
7.1. Técnicas para la caracterización morfológica.....	22
• Delimitación de área en estudio.....	22
• Identificación de redes de flujo.....	26
• Determinación de usos del suelo.....	27
• Identificación de suelos presentes.....	29
• Especificación de reservorio.....	32
7.2. Técnicas para la caracterización hidrológica del área en estudio.	40
• Recopilación y tratamiento de información pluviométrica.....	40
• Recopilación y tratamiento de información climatológica restante.....	44
• Simulación de eventos climatológicos.....	44
8. RESULTADOS	46
Área del Sistema Hidrológico.	47
Perímetro del Sistema Hidrológico.	48
Forma del Sistema Hidrológico.....	48
Caracterización de suelos.	49
Cota máxima y mínima del sistema de aporte.....	52
Descripción de la laguna.	53

Precipitaciones.....	54
Percolación.....	55
Agua retenida en el suelo.....	56
Evapotranspiración Real.....	57
Evapotranspiración Potencial.....	58
9. CONCLUSIONES.....	59
10. BIBLIOGRAFÍA.....	60
11. ANEXOS.....	61
11.1. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	61
• Estación BCCBA Guatimozín – 94032.....	61
• Estación BCCBA Corral de Bustos – 94062.....	62
• Estación BCCBA Isla Verde – 94036.....	63
• Estación BCCBA Arias – 94052.....	64
• Estación BCCBA Alejo Ledesma – 94073.....	65
• Estación INTA Canals.....	66
• Estación SMN Venado Tuerto.....	67
11.2. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA.....	68
11.3. INFORMACIÓN DE SUELOS.....	69

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 - Ubicación General.....	12
Imagen 2 - Geomorfología de la provincia de Córdoba.....	14
Imagen 3 - Cuenca trazada con curvas de nivel IGN.....	23
Imagen 4 - Cuenca obtenida con qswat+.....	24
Imagen 5 - Cuenca delimitada con curvas IGN vs Cuenca delimitada con software qswat+.....	25
Imagen 6 - Redes de flujo, punto de cierre y delimitación definitiva del sistema hidrológico en estudio.....	27
Imagen 7 - Mapa de Usos de Suelos del área encerrada en la cuenca.....	29
Imagen 8 - Mapa de tipología de suelos del área de aporte de la laguna de Martí.....	31
Imagen 9 - Índice Normalizado de Agua de la imagen L08_227_083_2015-09-24.....	34
Imagen 10 - Imagen L08_227_083_2015-09-24 clasificada con los parámetros antes descriptos.	35
Imagen 11 - Máscara de agua de la región en estudio.....	36
Imagen 12 - Correlación de área obtenida mediante tratamiento de imágenes satelitales y área calibrada mediante simulación.....	38
Imagen 13 - Correlación de área obtenida mediante tratamiento de imágenes satelitales y área calibrada obtenida mediante simulación - Valores superior a 750Ha.....	39
Imagen 14 - Método de Doble Acumulación - Guatimozín - Venado Tuerto.....	43
Imagen 15 - Área del Sistema Hidrológico.....	47
Imagen 16 - Perímetro del Sistema Hidrológico.....	48
Imagen 17 - Forma de la cuenca.....	49
Imagen 18 - Cota máxima y mínima del Sistema Hidrológico en estudio.....	52
Imagen 19 - Área máxima, área más frecuente y área mínima de la laguna de "Martí".	53
Imagen 20 - Precipitaciones mínimas, medias y máximas del Sistema Hidrológico estudiado... ..	54
Imagen 21 - Agua mínima, media y máxima percolada en el Sistema Hidrológico estudiado....	55
Imagen 22 - Agua mínima, media y máxima retenida en el suelo en el Sistema Hidrológico estudiado.....	56
Imagen 23 - Evapotranspiración real simulada en el Sistema Hidrológico estudiado	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Precipitaciones Medias Mensuales periodo 1978-2017.....	13
Tabla 2 - Codificación de usos de suelos.	28
Tabla 3 - Codificación de tipos de suelo.	30
Tabla 4 - Principales Variables del Reservorio.	32
Tabla 5 - Comparación de áreas extraídas de imágenes satelitales y áreas simuladas.	37
Tabla 6 - Precipitaciones diarias, Estación A, año X1	40
Tabla 7 - Precipitaciones mensuales.....	41
Tabla 8 - Configuración del Periodo de Simulación.....	45
Tabla 9 - Variables exportadas.	45
Tabla 10 - Resumen de resultados.	46
Tabla 11 - Características del primer horizonte del suelo AF1-1016.	50
Tabla 12 - Características del primer horizonte del suelo AF11-2-3a-4446.	51
Tabla 13 - Precipitaciones mínimas, medias y máximas del Sistema Hidrológico estudiado.....	54
Tabla 14 - Agua mínima, media y máxima percolada en el Sistema Hidrológico estudiado.....	55
Tabla 15 - Agua mínima, media y máxima retenida en el suelo en el Sistema Hidrológico estudiado.....	56
Tabla 16 - Evapotranspiración real simulada en el Sistema Hidrológico estudiado.	57
Tabla 17 - Evapotranspiración potencial simulada para el Sistema Hidrológico estudiado.....	58

1. RESUMEN

El trabajo desarrollado consiste en caracterizar hidrológica y morfológicamente el Sistema Hidrológico que comprende a la “Laguna de Marti”, perteneciente al Municipio de Guatimozín del departamento Marcos Juárez en el sur-este de la provincia de Córdoba en la República Argentina.

Este sistema, se emplaza en la Región Pampeana, la cual es caracterizada por el valor económico de sus suelos especialmente aptos para la agricultura intensiva y la ganadería. Dichos suelos, se encuentran limitados en gran medida por la presencia de anegamientos, producto de la baja capacidad que posee el relieve que caracteriza a la llanura para evacuar volúmenes importantes de agua.

Para poder desarrollar el trabajo, fue utilizado el software QGIS, en conjunto con el complemento de evaluación de suelos y agua, QSWAT+, con el fin de efectuar la caracterización geomorfológica e hidrológica del sistema, además fueron empleados varios recursos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) entre los cuales caben destacar, el Mapa de Tipología de Suelos confeccionado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Espíndola, Godagnone, Havrylenko, de la Fuente, & Mercuri, 2014) y el Mapa de Usos del suelo del producto satelital Land Cover de MODIS (Friedl et al., 2010). También se utilizó información topográfica extraída de, cartas topográficas del IGN y del Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido por la misión Shuttle Radar Topography Model (SRTM) de 90 m de resolución espacial. En cuanto a la información climatológica y pluviométrica, fueron obtenidas de la red de estaciones meteorológicas de la Bolsa de Cereales de Córdoba, del INTA y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En cuanto a la metodología, la misma fue desarrollada conforme dos criterios. Por un lado se detallaron las técnicas para caracterizar la morfología del área en estudio, la cual consistió en demarcar dicha área de estudio, tanto con el DEM SRTM como con las curvas de nivel IGN, se identificaron las redes de flujo encerradas en este área, fueron determinados los usos de suelos de la región analizada, identificados los suelos presentes en esta área y especificado el reservorio a simular. Por otro lado, se implementaron técnicas para caracterizar hidrológicamente el sistema en estudio, las cuales comenzaron con la recopilación y un reordenamiento de datos pluviométricos y

climatológicos, para luego configurar la simulación de eventos dentro del software QGIS, utilizando el complemento QSWAT+.

Como resultados, pudieron obtenerse en coherencia con los objetivos propuestos tanto la caracterización geomorfológica (área, perímetro, forma, suelos, cota máxima y mínima) y la hidrológica (precipitaciones, percolación, agua retenida en el suelo, evapotranspiración real y potencial).

Se concluye que este trabajo ofrece información base para profesionales y técnicos orientados a la ingeniería, como así también se destaca la utilización de técnicas modernas con software de Sistemas de Información Geográfica, de Teledetección y modelado Hidrológico, sentando un precedente en la región.

2. ABSTRACT

The work carried out consists of hydrologically and morphologically characterizing the Hydrological System that includes the "Marti Lagoon", belonging to the Municipality of Guatimozín of the Marcos Juárez department in the south-east of the province of Córdoba in the Argentine Republic.

This system is located in the Pampas Region, which is characterized by the economic value of its soils especially suitable for intensive agriculture and livestock. These soils, are largely limited by the presence of waterlogging, product of the low capacity that has the relief that characterizes the plain to evacuate significant volumes of water.

In order to carry out the work, the QGIS software was used, together with the complement of soil and water evaluation, QSWAT +, in order to carry out the geomorphological and hydrological characterization of the system, in addition several resources of Geographical Information Systems were used (GIS) among which the Soil Typology Map prepared by the National Institute of Agricultural Technology (INTA) (Espíndola, Godagnone, Havrylenko, de la Fuente, & Mercuri, 2014) and the Map of Land Use of the product Satellite Land Cover of MODIS (Friedl et al., 2010). Topographic information extracted from the topographic charts of the IGN and the Digital Elevation Model (DEM) obtained by the Shuttle Radar Topography Model (SRTM) mission of 90 m spatial resolution was also used. As for the climatological and rainfall information, they were obtained from the network of meteorological stations of the Cordoba Cereal Exchange, the INTA and the National Meteorological Service (SMN).

Regarding the methodology, it was developed according to two criteria. On the one hand, the techniques to characterize the morphology of the study area were detailed, which consisted in demarking said study area, both with the DEM SRTM and with the IGN level curves, the flow networks enclosed in this area were identified, the uses of soils of the analyzed region were determined, the soils present in this area were identified and the reservoir to be simulated was specified. On the other hand, techniques were implemented to hydrologically characterize the system under study, which began with the collection and rearrangement of rainfall and climatological data, and then set up the simulation of events within the QGIS software, using the QSWAT + complement.

As a result, both geomorphological characterization (area, perimeter, shape, soil, maximum and minimum level) and hydrological (rainfall, percolation, water retained in the soil, actual and potential evapotranspiration) could be obtained in coherence with the proposed objectives.

It is concluded that this work offers basic information for professionals and engineering-oriented technicians, as well as the use of modern techniques with Geographic Information Systems, Remote Sensing and Hydrological modeling software, setting a precedent in the region.

3. INTRODUCCIÓN

La Región Pampeana es una de las regiones económicamente más importante del territorio argentino dadas sus características de clima y suelo que la transforman en una zona agrícola y ganadera por excelencia (AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT., 2003). Debido a su gran extensión presenta importantes variaciones espaciales y temporales en los regímenes de temperatura y precipitación. La condición de llanura predomina en esta región resultando un escenario de particular fragilidad ante eventos hidrológicos extremos, tanto de déficit como de exceso hídrico. En este último caso, la incapacidad del relieve de evacuar volúmenes importantes de agua, junto a otros factores, conduce a la ocurrencia de vastos y persistentes anegamientos.

El clima y la hidrología son los factores físicos que condicionan las actividades sociales y económicas de la región. Influyen directamente en la disponibilidad de agua y determinan la variabilidad del recurso. El estudio y análisis de estos factores y la relación entre los mismos, colabora directamente en la comprensión del comportamiento de un sistema como es una cuenca hidrográfica. (Geraldí, 2009)

A continuación, y con el objeto de generar una visión integrada del Sistema Hidrológico de estudio, se presenta una descripción del territorio desde diversos aspectos.

3.1. UBICACIÓN

La laguna de "Martí" se encuentra ubicada al sur-oeste de la localidad de Guatimozín, la cual pertenece al departamento Marcos Juárez en la provincia de Córdoba, República Argentina.



Imagen 1 - Ubicación General.

Las vías de comunicación que delimitan a la localidad de Guatimozín son la ruta provincial pavimentada A170, acceso no pavimentado s325 y el acceso no pavimentado s276. Además, se encuentra emplazada a 28 km de la ruta nacional 8 y a 115 km de la aut. Córdoba-Rosario.

El municipio de Guatimozín, posee una estación ferroviaria, la cual funcionó hasta el año 1989, recibiendo un ramal del ferrocarril General Bartolomé Mitre, de trocha ancha, paralelo a la ruta provincial pavimentada A170, que la conecta directamente con la estación Retiro, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Además, cabe destacar que dicho municipio, se encuentra a 70 km de la ciudad de Venado Tuerto, a 114 km de la ciudad de Marcos Juárez (cabecera del departamento que lleva su mismo nombre) y, a 370 km de la Ciudad de Córdoba, capital de la provincia homónima.

3.2. CLIMA

El área de estudio se define por su régimen térmico como templado pampeano y por su régimen hídrico, en particular por su deficiencia en agua, dentro de la región subhúmeda, próxima a la región semiárida. (AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT., 2003)

La temperatura media anual es de 16.4 °C, en la zona rural en promedio, es de 0.8°C inferior, debido a la inercia térmica acumulada en las mamposterías urbanas.

La media anual de precipitaciones es de 915 mm, siendo enero, con una media mensual de 129 mm es el mes más lluvioso y junio, con una media mensual de 15 mm, el de menos precipitaciones. Se presenta una marcada predominancia de las lluvias caídas en primavera y verano con respecto a otoño e invierno, por lo que esto avala la afirmación de que el régimen pluviométrico de Guatimozín está lejos de ser Isohigro, lo cual significa que las precipitaciones se distribuyen uniformemente a lo largo del año asemejándose más al régimen monzónico, en el cual las precipitaciones del semestre cálido son iguales o mayores al 80% de la precipitación anual, el cual predomina en casi toda la provincia de Córdoba. (Resch, 2007)

En la tabla 1, pueden observarse las precipitaciones medias mensuales extraídas del registro oficial de la Municipalidad de Guatimozín. (Sorribes, 2019)

Tabla 1 - Precipitaciones Medias Mensuales periodo 1978-2017.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pm(mm)	129.10	107.40	124.59	89.57	38.18	14.87	19.54	20.29	47.12	94.50	120.18	125.81

Con respecto a la humedad media mensual, la misma es mínima para el mes de diciembre con 66% y máxima para el mes de junio con un valor de 81%. La humedad relativa media anual es del 73%.

En cuanto a la presión atmosférica, la media anual de la región es de 999.6 hPa, incidiendo la temperatura directamente con la variación de esta media, disminuyéndola en los meses que comprenden el verano y aumentándola en los meses pertenecientes al invierno.

La velocidad típica del viento en la región fluctúa entre los 10 y los 15 km/h, llegando a los 140 km/h en las tormentas más severas. (Martín, 2014)

3.3. GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA

El área de estudio se encuentra ubicada en la región denominada como “Pampa Ondulada”.

La misma está constituida por una llanura suave a moderadamente ondulada, con pendientes que oscilan entre 0,5% y 3%. Sus características dominantes son impuestas por la naturaleza de los materiales, ricos en limos y por su posición relativa, que es el resultado de un ascenso diferencial del basamento cristalino profundo. (Agencia Córdoba D.A.C.yT., 2003)



Imagen 2 - Geomorfología de la provincia de Córdoba.

Ésta llanura, se encuentra sujeta a un activo proceso de disección superficial, producida por una densa malla de vías de escurrimiento y cursos de agua que conforman una red de drenaje sub-paralela.

Existen también lagunas de origen estructural en forma aislada, principalmente desde el Sur, alimentando las aguas del río Saladillo donde logra encauzarse en un lecho sinuoso de unos 20 m a 30 m de ancho, bordeado por pequeñas barrancas hasta unirse al río Ctalamochita formando el río Carcarañá. Posteriormente, las barrancas disminuyen de altura, el lecho se ensancha y tras recorrer sesenta y cinco kilómetros, frente a Cruz Alta, entra en la Provincia de Santa Fe. (Agencia Córdoba D.A.C.yT., 2003)

3.4. SUELOS

Los suelos de la región, desarrollados sobre sedimentos eólicos, franco - limosos, presentan condiciones generales de drenaje natural libre. La característica sobresaliente de estas tierras es su importante desarrollo, fertilidad y alta productividad, consecuencia no sólo de sus caracteres físico químicos intrínsecos sino del régimen de precipitaciones invernales que les confiere a los suelos un mayor potencial de producción agrícola-ganadera, encontrándose entre las mismas los suelos tradicionalmente de mayor productividad de la provincia.

Los Molisoles, que constituyen la casi totalidad de los suelos de la Pampa Ondulada (99%), son suelos profundos, con un horizonte superior oscuro rico en materia orgánica y bien estructurado que facilita el movimiento superficial del aire y el agua. Entre estos Molisoles, los suelos de las lomas bien drenadas, son principalmente Argiudoles típicos, que cubren más del 80% de la región y que, además de los caracteres ya descriptos, incluyen un horizonte de acumulación de arcilla en el subsuelo que contribuye a administrar la economía del agua en el perfil. Son éstos los suelos más productivos y con menores limitaciones para su uso agropecuario dentro de la provincia. (Agencia Córdoba D.A.C.yT., 2003)

Dichos suelos se encuentran en grandes superficies en las Pedanías Calderas y Espinillos, del departamento Marcos Juárez. Marginalmente, y hacia el Oeste de la región, a medida que disminuye el régimen de precipitaciones y, consecuentemente, la intensidad de la lixiviación, el horizonte de arcilla iluvial desaparece, pasando los suelos a ser taxonómicamente Hapludoles

típicos, también de alta capacidad productiva, aunque más inestables y de mayor fragilidad. Sin embargo, estos suelos muy ricos en limos, muestran una tendencia al planchado y encostramiento superficial lo que aumenta el escurrimiento y disminuye la capacidad de infiltrar agua, desencadenando procesos de erosión hídrica, entre los que dominan los fenómenos de erosión laminar y en cárcavas en el sector más ondulado, en especial sobre las pendientes que concurren a los desagües más importantes. (Agencia Córdoba D.A.C.yT., 2003)

Dadas las características anteriormente descriptas, estas tierras fueron incorporadas tempranamente a la actividad agrícola, encontrándose hoy afectadas por importantes procesos de deterioro físico (disminución de la capacidad de almacenamiento y circulación del agua y el aire), químico (acidificación, disminución de los contenidos de materia orgánica y nutrientes) y biológico que son, en parte, consecuencia de la gran presión de uso a la que están sometidas. (Agencia Córdoba D.A.C.yT., 2003)

3.5. VEGETACIÓN

El tipo de vegetación dominante en la región de estudio fueron los pastizales, conocidos como Estepa Pampeana. La característica más importante de esta zona, era la falta casi total de árboles y el predominio de pastos, encontrándose parches de bosque alternados con pastizales en las zonas más bajas. (AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT., 2003)

La vegetación original de esta región ha sido prácticamente eliminada por las prácticas agrícola-ganaderas y solo quedan remanentes de la vegetación original en lugares protegidos, orillas de ferrocarriles, caminos y áreas excepcionalmente menos modificadas.

Las especies autóctonas más significativas de la zona son pastos como *Botriochloa laguroides*, *B. barbinodis*, *Stipa neesiana*, *S. papposa*, *Piptochaetium bicolor*, *Briza subaristata*, *Panicum bergii*, *Hordeum compressum*, *Andropogon consanguineus*, *Eragrostis lugens*, *Aristida adscensionis*, *Lolium multiflorum*, diversas especies de *Setaria*, *Chloris*, *Stipa*, *Poa*. Entre los arbustos se destacan, romerito, carquejilla, mío-mío, perlilla, quebrarado, ortiguilla, llantén, escorzoneras, loconte, tasi, como las más frecuentes. (AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT., 2003)

Actualmente, en la región de estudio, como principales actividades productivas, se presenta la agricultura y la ganadería. Debido al alto índice de productividad de sus tierras aledañas, del orden del 70% al 80%, casi la totalidad de la superficie del departamento Marcos Juárez se utiliza con fines agrícolas, destacándose, según datos del INTA: soja (620000 ha), maíz (85000 ha) y trigo (44000 ha).

4. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este trabajo consiste en lograr la caracterización geomorfológica e hidrológica del sistema de aporte de la "Laguna de Martí" perteneciente al Municipio de Guatimozín.

4.1. *Objetivos Específicos.*

- Desarrollar un modelo base de simulación hidrológica del sistema, el cual permita caracterizarlo conforme a diversos eventos climatológicos.
- Contribuir al Municipio con el aporte de información base y específica que permita y facilite la toma de decisiones en cuestiones de planeamiento y desarrollo territorial.
- Digitalizar información geomorfológica/hidrológica existente.
- Delimitar de manera precisa el área de aporte de la laguna de Martí.

5. ANTECEDENTES

Un primer trabajo, titulado: “ANÁLISIS BATIMÉTRICO DE LAGUNAS POCO PROFUNDAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG: APLICACIÓN A LA LAGUNA LA VICTORIA” (Soria, Piñero, Ledesma, Basile, & Riccardi, 2017) implementa técnicas de Teledetección, conjuntamente con Sistemas de Información Geográfica, para determinar batimetrías de lagunas poco profundas. En específico, realiza el estudio de la laguna La Victoria, perteneciente a la cuenca de “Las Encadenadas”, en el sur de la provincia de Santa Fe.

El trabajo mencionado fue de gran utilidad para este estudio al detallar técnicas altamente aceptables en la obtención de datos batimétricos mediante el uso de la teledetección, brindando un nivel de detalle mayor respecto a otros métodos gráficos.

Un segundo trabajo de (Soria, 2019), de título: “CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y ANÁLISIS DE RIESGO HIDROLÓGICO EN LA PARTE ALTA DEL SISTEMA HIDROLOGICO LAS ENCADENADAS, MEDIANTE APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS” propone analizar el riesgo en un sistema hidrológico no típico, mediante el uso de la geomática, principalmente con herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Inicia con la caracterización del mismo, para luego realizar la simulación hidrológica/hidráulica del sistema y cuantificar las variables de carácter hídrico que pueden afectar al mismo. Ésta, en conjunto con la información de construcciones civiles, pone de manifiesto el riesgo hídrico presente.

El trabajo descripto, brinda a este estudio una metodología muy clara a ser replicable dadas las similitudes del área de estudio.

6. MATERIALES

Los procesos necesarios para llevar a cabo tanto la caracterización geomorfológica como la caracterización hidrológica y analizar el comportamiento del sistema, se realizan mediante el software QGIS y el complemento QSWAT+.

El Software QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Funciona sobre los sistemas operativos Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos. Además, proporciona una creciente gama de capacidades a través de sus funciones básicas y complementos. Permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas imprimibles. (qgis.org, 2015)

El complemento SWAT+ es una herramienta de evaluación de suelo y agua para el manejo de cuencas; La interface para QGIS es QSWAT+ siendo la última versión QSWAT+ 1.2.0 la cual fue lanzada el 5 de julio de 2019. (SWAT Soil & Water Assessment Tool, 2019). Genera un modelo a pequeña escala de cuenca hidrográfica que se utiliza para simular la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea y predecir el impacto ambiental del uso de la tierra, las prácticas de gestión de la tierra y el cambio climático. (swat.tamu.edu, 2016)

La información topográfica utilizada, proviene del Modelo Digital de Elevación obtenido por la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Model) de 90 m de resolución espacial. Se utilizó la escena del DEM-SRTM: S34W063. La misma, se encuentra corregida en el trabajo "CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y ANALISIS DE RIESGO HIDROLÓGICO DE LLANURA LAS ENCADENADAS MEDIANTE APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS" (Soria, 2019), ya que estos presentan ciertas diferencias con la altimetría real del sitio en estudio. Además, se utilizó el material cartográfico del Instituto Geográfico Nacional, más específicamente la carta topográfica perteneciente a ARIAS (3363-29), en el que se encuentran representadas las curvas de nivel de la región en estudio.

El Mapa de Tipología de Suelos elegido para el área de estudio fue el confeccionado por el INTA (Espíndola et al., 2014). El mismo contiene una base de datos completa con información georreferenciada de calidad a nivel país para su aplicación en el modelo SWAT+.

El Mapa de Usos del suelo utilizado fue Land Cover de MODIS (Friedl et al., 2010). El mismo fue descargado de la página <https://search.earthdata.nasa.gov/search> , mediante la selección del área de interés. El producto específico utilizado de MODIS fue “Tipo de cubierta terrestre Anual L3 Global” el cual brinda una resolución espacial de 500m.

Los datos climatológicos se obtuvieron de estaciones meteorológicas automáticas pertenecientes a la red de la Bolsa de Cereales de Córdoba (BCCBA) (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2019) y a estaciones pertenecientes al INTA, para un periodo de tiempo que va desde el año 2013 al año 2019, teniendo en cuenta valores de temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitaciones. A su vez, se utilizó información climatológica y datos pluviométricos de la estación meteorológica perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional, ubicada en el aeródromo Tomas B. Kenny de la ciudad de Venado Tuerto. Las estaciones analizadas se listan a continuación:

- Estación BCCBA Guatimozín – 94032.
- Estación BCCBA Corral de Bustos – 94062
- Estación BCCBA Isla Verde – 94036.
- Estación BCCBA Arias – 94052.
- Estación BCCBA Alejo Ledesma – 94073.
- Estación INTA Canals.
- Estación SMN Venado Tuerto.

7. METODOLOGIA

7.1. Técnicas para la caracterización morfológica

En este apartado es analizado el sistema de aporte a la laguna de Martí conforme las propiedades de la forma del territorio.

Las variables analizadas para caracterizar morfológicamente el sistema en estudio son: área, perímetro, forma, caracterización de suelos, cota máxima y cota mínima.

A continuación, son detallados los procedimientos llevados a cabo para realizar dicha caracterización.

- Delimitación de área en estudio:

Para delimitar el área de estudio, fueron utilizadas 2 tipos de metodologías diferentes, puesto que, al pertenecer a un área de llanura, resulta más compleja la delimitante del mismo; con lo cual, al utilizar dos métodos se pretende lograr una mayor precisión en dicha tarea. Por un lado, fue delimitado el sistema mediante un método convencional, a través de la manipulación de curvas de nivel del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Por otro, fue utilizado el modelo DEM SRTM de 90m de resolución espacial.

A continuación, se describe el procedimiento desarrollado con ambos métodos y la delimitación lograda.

a) Curvas de Nivel IGN.

Para analizar la topografía del sistema fueron digitalizadas las curvas de nivel a 1,25 metros de equidistancia, es utilizando el material cartográfico del Instituto Geográfico Nacional, más específicamente la carta perteneciente a ARIAS (3363-29). Esta carta, la cual fue adquirida en formato pdf, fue georreferenciada y vectorizada para el área en estudio, mediante el software de Sistemas de Información Geográfica QGIS.

Dicho sistema fue delimitado teniendo en cuenta las divisorias de agua y las siguientes premisas enumeradas a continuación:

- Las líneas divisorias deben cortar ortogonalmente a las curvas de nivel.
- Al aumentar la altitud de las líneas divisorias, éstas deben atravesar a las curvas de nivel por su parte convexa. Contrariamente, cuando disminuyen su altitud, deben hacerlo por su parte cóncava.
- Al cortar el terreno por un plano normal a la divisoria, el punto de intersección con esta, ha de ser el de mayor altitud en dicho plano.

A continuación, puede apreciarse una imagen con la delimitación del área de estudio conforme a las curvas IGN:

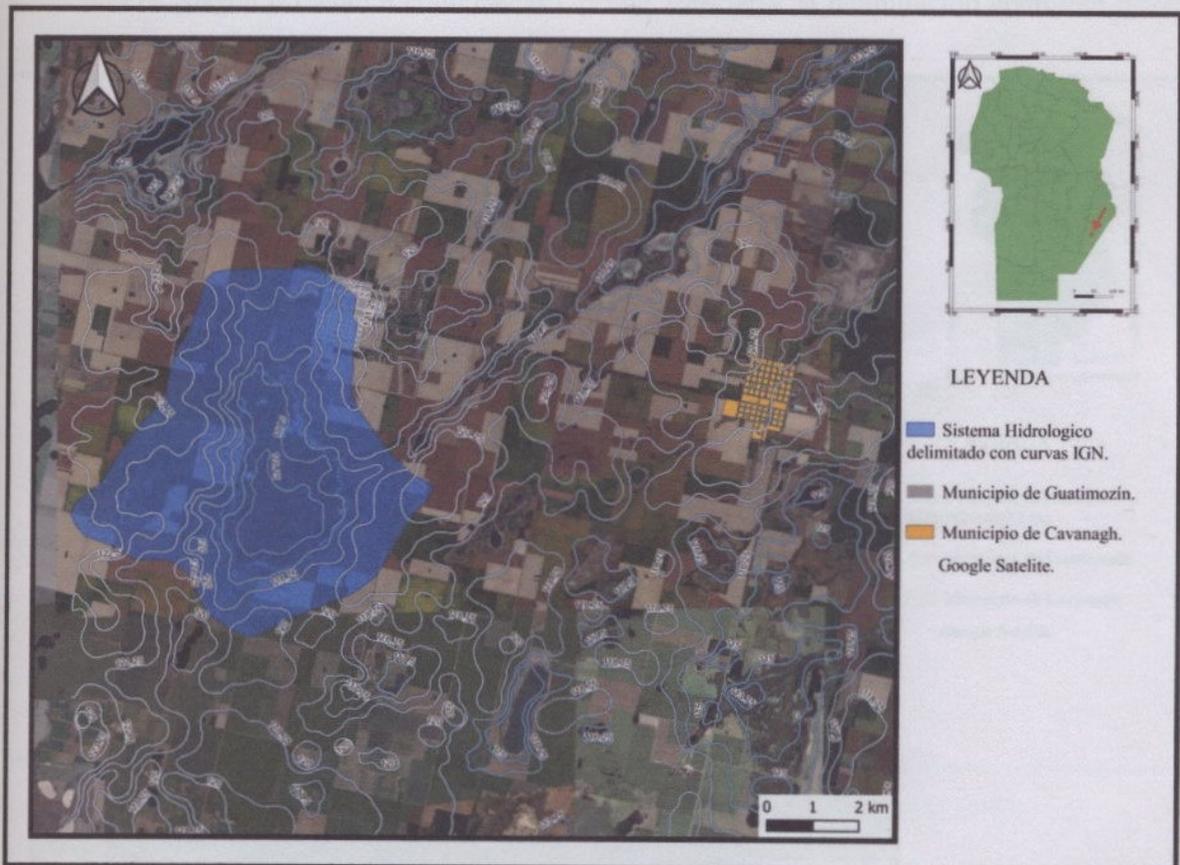


Imagen 3 - Cuenca trazada con curvas de nivel IGN.

b) Modelo digital de elevación SRTM corregido.

Fue utilizado el modelo digital de elevación con las correcciones altimétricas correspondientes para la zona en estudio, proveniente del Trabajo Final de Maestría “Caracterización morfológica y análisis de riesgo hidrológico en la parte alta del sistema hidrológico de llanura las encadenadas mediante aplicación de herramientas geomáticas”. (Soria, 2019)

El procedimiento de delimitación del sistema mediante la manipulación de este material, consiste en el análisis del encauzamiento del flujo conforme las diferencias altimétricas del terreno, para posteriormente definir los aportes. (swat.tamu.edu, 2016)

En la imagen presente a continuación, puede apreciarse la delimitación conforme dicha metodología:



Imagen 4 - Cuenca obtenida con QSwat.

c) Delimitación definitiva del Sistema Hidrológico.

Luego de un exhaustivo análisis, fue considerada para este trabajo la delimitación propuesta por el software.

Esta elección es el resultado del análisis del estado del sistema mediante imágenes satelitales para diferentes fechas, lo cual demostró que el sistema delimitado mediante QSWAT+ contempla de manera más precisa las áreas con aporte de agua a la laguna.

En la siguiente imagen pueden apreciarse ambas delimitaciones superpuestas en conjunto con una imagen satelital del año 2019.

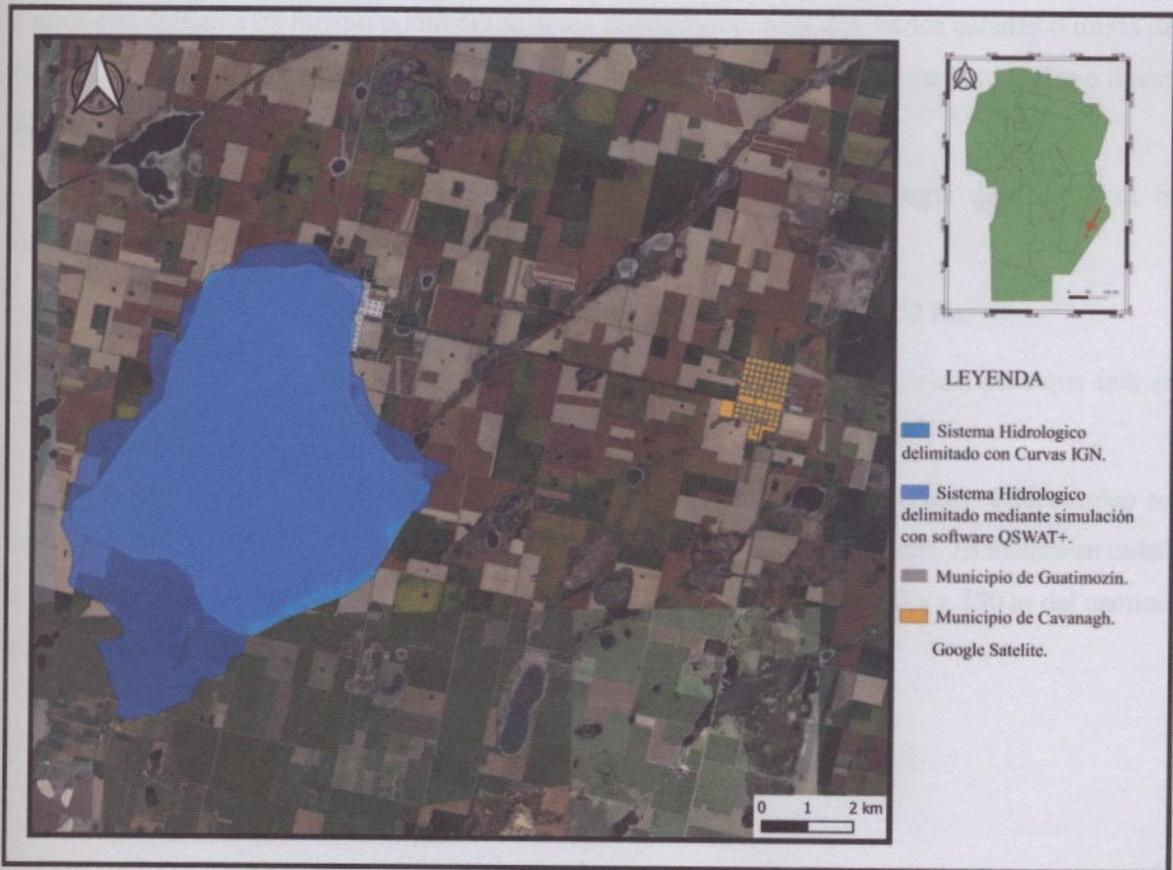


Imagen 5 - Cuenca delimitada con curvas IGN vs Cuenca delimitada con software QSWAT+.

- Identificación de redes de flujo

La identificación de las redes de escurrimiento del sistema es realizada mediante la utilización del DEM calibrado y corregido, en el software QSWAT+.

Fue configurado el software con dos parámetros importantes para crear las redes de flujo. Por un lado, el umbral o área requerida para formar un canal de flujo o línea de flujo; esta variable determina cuando una sección de terreno se convertirá en parte de un canal o línea, es decir, dicha porción de terreno pertenecerá a un canal de flujo cuando al menos el número "umbral" de celdas lo drenan. (swat.tamu.edu, 2016) Por otro lado, la variable restante, representa el mínimo de celdas o áreas que drenan a un mismo punto del Sistema Hidrológico, para que varios canales o líneas de flujo sean considerados una red de flujos, la cual nuclea y recibe el aporte de varios canales o líneas de flujo individuales. (swat.tamu.edu, 2016)

La configuración apropiada para el tipo de escala y geomorfología de estudio es la siguiente:

- Área mínima para crear un canal o línea de flujos: 150 Ha.
- Número mínimo de celdas que drenan a una misma celda, para que ésta se convierta en red de flujos: 2000 Ha.

Siguiendo con el procedimiento, se definió el punto de cierre del Sistema Hidrológico en estudio. Este es un punto de control, a partir del cual se crearán las subcuencas. El mismo se ubicó al sureste de la localidad de Guatimozín, a 2.5 km de la ruta provincial A170 y a 350 m del camino terciario t8-16.

A continuación, se aprecia una imagen de la red de drenaje obtenida conjuntamente con el punto de cierre y la delimitación definitiva del sistema de aporte.

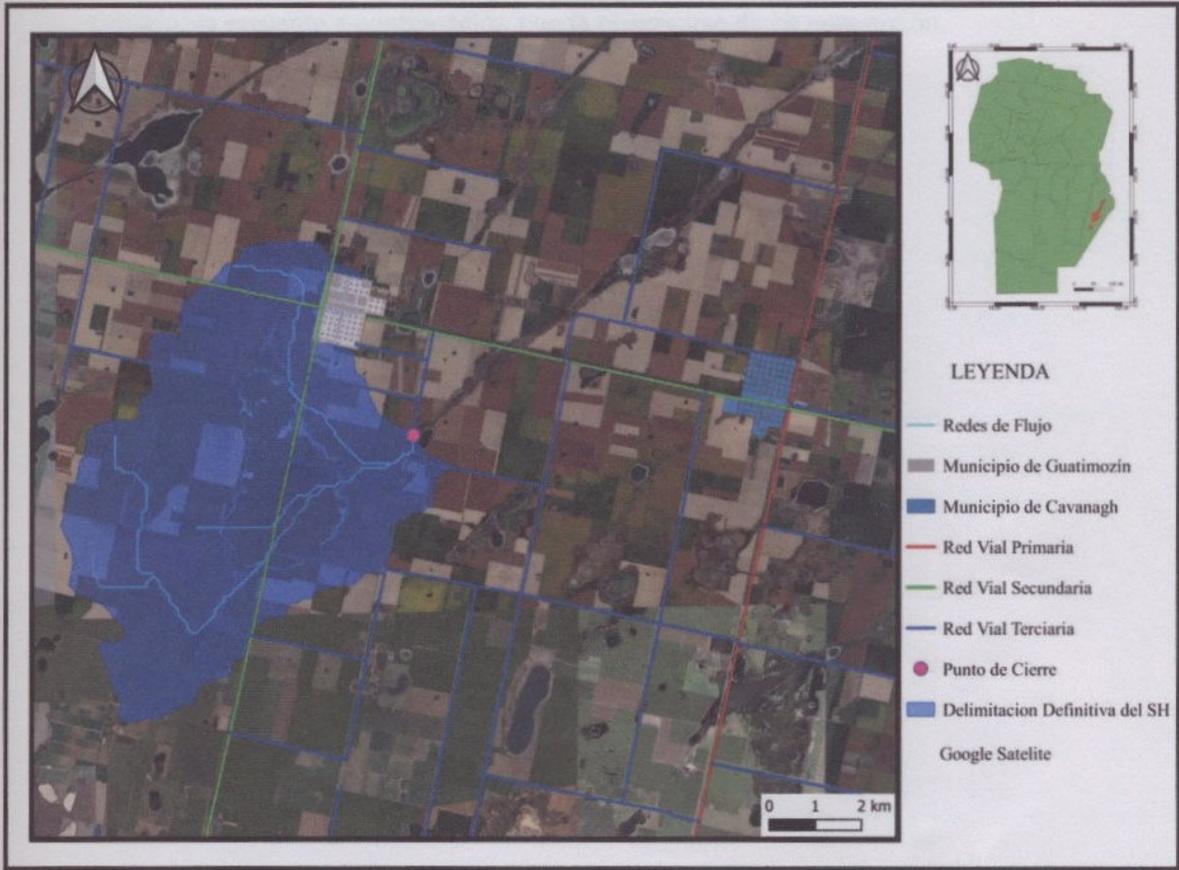


Imagen 6 - Redes de flujo, punto de cierre y delimitación definitiva del Sistema Hidrológico en estudio.

- Determinación de usos del suelo

Para este estudio, fue utilizado el producto Land Cover de MODIS (Friedl et al., 2010).

La información adquirida debió ser readaptada conforme los lineamientos requeridos por el software:

- Reproyección al sistema de coordenadas elegido para el proyecto (EPSG: 5346).
- Conversión del ráster a píxeles de 100m x 100m.

- Creación de tabla de equivalencias de codificación, para que, al realizarse la simulación, el software lea correctamente la codificación del mapa.

En la tabla presente a continuación puede observarse dicha conversión.

Tabla 2 - Codificación de usos de suelos.

LANDUSE_ID	SWAT_CODE
0	WETN
1	AGRR
2	WATR
3	CRGR
4	CRDY
5	CRGR
9	CRWO
10	URMD

A continuación, se presenta el Mapa de Usos de Suelos el área de estudio:

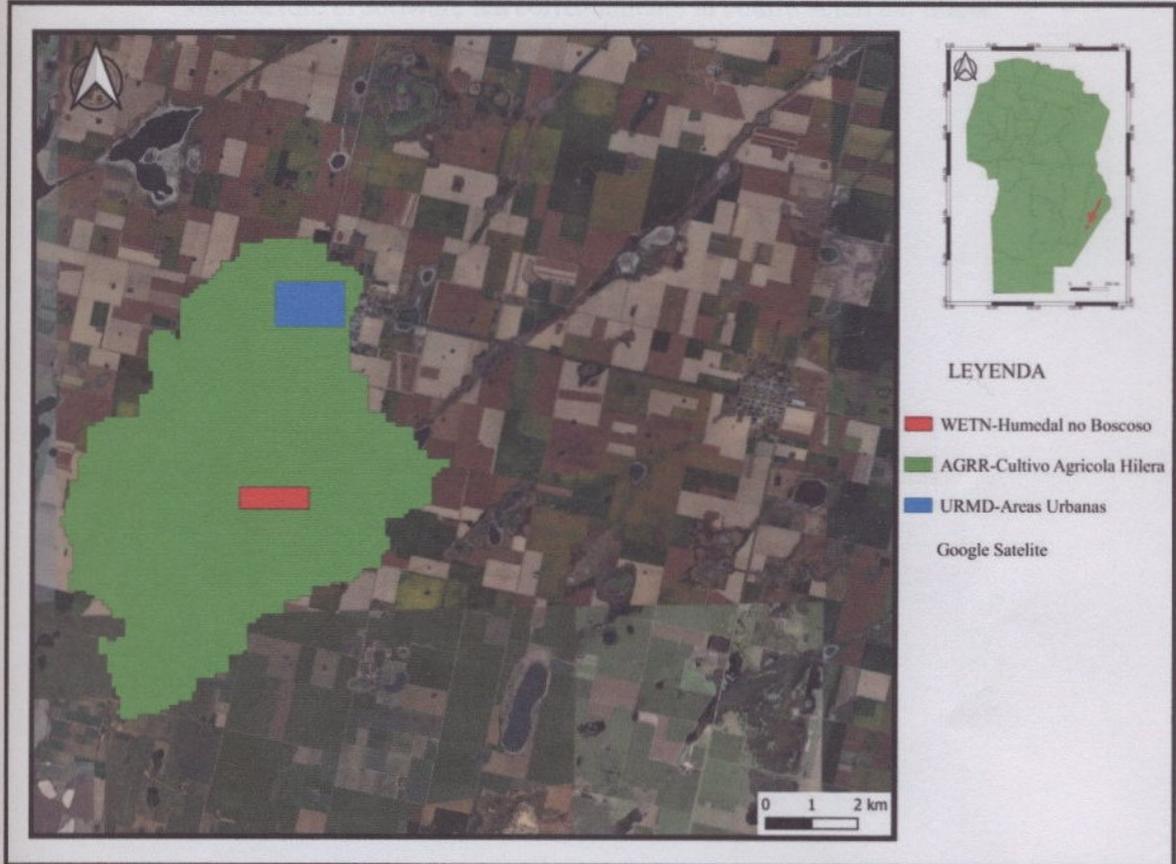


Imagen 7 - Mapa de Usos de Suelos del área encerrada en la cuenca.

- Identificación de suelos presentes

Para el análisis fue utilizado el Mapa de Suelos realizado por el INTA.(Espíndola et al., 2014)

Al igual que en el caso de usos de suelo, la información debió ser readaptada como se expresa a continuación:

- Reproyección al sistema de coordenadas elegido para el proyecto (EPSG: 5346).
- Conversión a ráster (puesto que se presentaba en formato vectorial) con una resolución de pixel de 100m.

- Creación de tabla de equivalencias de codificación, para que, al realizarse la simulación, el software lea correctamente la codificación del mapa.

En la siguiente tabla se muestra la conversión de codificación:

Tabla 3 - Codificación de tipos de suelo.

SOIL_ID	SNAM
55	Af10-2b-4592
205	Af1-1016
206	Af11-2-3a-4446
360	I-R-Yh-2b-5907
493	I-Rd-So-80
573	Af1-1-2a-1017
574	Af12-1-2a-1018
575	Nd22-1a-1561

Se presenta a continuación el Mapa de Suelos:



Imagen 8 - Mapa de tipología de suelos del área de aporte de la laguna de Martí.

Tanto los tipos de usos del suelo, como los suelos presentes, forman parte de las denominadas unidades de respuesta hidrológica (HRUs), las cuales brindan una caracterización más exhaustiva del área de interés.

Estas son áreas de una cuenca que se presentan homogéneas en términos de su respuesta hidrológica y características geo-climáticas. Las mismas están conformadas usualmente por áreas dispersas, desconectadas entre sí, pero que mantienen propiedades comunes de especial importancia hidrológica, como son: pendiente (que determina la velocidad de la escorrentía superficial), elevación (pues el volumen de precipitación varía con la altura), aspecto (especialmente en cuencas con nieve), tipo de suelo, cubierta vegetal y usos de suelo. (Cabrera, 2012)

- Especificación de reservorio.

En este apartado es analizada desde aspectos cualitativos y cuantitativos la laguna de Martí.

Para llevar a cabo dicha tarea, la misma es considerada puntualmente como un reservorio, conforme las potencialidades del software.

Dicho punto es ubicado de manera tal que en él converjan las líneas de flujo que abastecerán al reservorio de agua, simulando el comportamiento de la laguna estudiada.

Las variables estudiadas y configuradas para adaptar la correcta simulación del reservorio, se enumeran en la siguiente tabla, describiéndose tanto los valores adoptados como los valores por defecto que utiliza el programa:

Tabla 4 - Principales Variables del Reservorio.

Unidades	Descripción	Variable SWAT+	Por Defecto	Rango Recomendado
	Año de la simulación en que el depósito se vuelve operativo	yr_op	1	0 -9999
	Mes en que el depósito se vuelve operativo	mon_op	1	1-12
ha	Área de la superficie del depósito cuando el depósito se llena hasta el vertedero principal	area_ps	0	
10 ⁴ m ³	Volumen de agua necesario para llenar el depósito hasta el vertedero principal (se lee como 10 ⁴ m ³ y se convierte en m ³)	vol_ps	0	
ha	Área de la superficie del depósito cuando el depósito se llena hasta el vertedero de emergencia	area_es	0	
10 ⁴ m ³	Volumen de agua necesario para llenar el depósito hasta el vertedero de emergencia (se lee como 10 ⁴ m ³ y se convierte en m ³)	vol_es	0	
mm/hr	Conductividad hidráulica del fondo del depósito.	k	0	0-1
	Coefficiente de evaporación del lago	evap_co	0.6	0-1
	Coefficiente de forma para reservorios (modelo estimado si es cero)	shp_co1	0	
	Coefficiente de forma para reservorios (modelo estimado si es cero)	shp_co2	0	

Puesto que no se tienen algunos de los valores de las variables de la laguna, tanto para periodos normales como de emergencia, fue realizada una calibración marginal de la misma mediante técnicas de teledetección, detalladas a continuación.

La metodología para esta calibración marginal, consiste en utilizar imágenes satelitales, las cuales previas correcciones básicas, son clasificadas conforme “cobertura de agua” y “cobertura de no agua”. Con esta diferenciación es lograda la superficie de la laguna de interés en las diferentes fechas de las imágenes elegidas.

Obtenidos dichos valores, son constatados con los arrojados por la simulación y ajustadas las variables de volumen. A continuación, se describen en detalle los procesos realizados.

Las imágenes utilizadas fueron las pertenecientes al satélite Landsat 8 OLI, las cuales poseen una resolución de pixel de 30m y un periodo de revisita de 16 días. Las fechas de obtención de las imágenes que se utilizaron, corresponden al periodo 2014 – 2019, en sintonía con las fechas de la simulación.

Los valores de niveles digitales de las imágenes fueron transformados a valores de radiancia con la finalidad de obtener resultados más precisos al realizar el índice de diferencia normalizado del agua, NDWI, cabe destacar que, previamente fue realizada la corrección geométrica de las imágenes.

En cuanto al índice, éste se concibe con el objeto de realzar y destacar las coberturas más relevantes del área en estudio, en este caso el nivel de saturación que posee el suelo y los espejos de agua.

El índice de diferencia normalizado del agua, NDWI, es expresado mediante la siguiente ecuación:

$$NDWI = \frac{(G - SWIR)}{(G + SWIR)}$$

Donde “G” corresponde a la banda situada en la longitud de onda del verde visible y “SWIR”, a la banda situada en la longitud de onda del infrarrojo de onda corta.



Imagen 9 - Índice Normalizado de Agua de la imagen L08_227_083_2015-09-24.

Una vez obtenido el NDWI, se procede a la realización de una clasificación no supervisada de cada una de las imágenes Landsat 8 OLI, con un rango de obtención de 30 a 35 clases de coberturas distintas, un máximo de 6 iteraciones por proceso y un mínimo de píxeles por clase de 10. A continuación se observa una imagen clasificada en correspondencia a la zona en estudio, dicha imagen ejemplo, corresponde al día 24-09-2015.

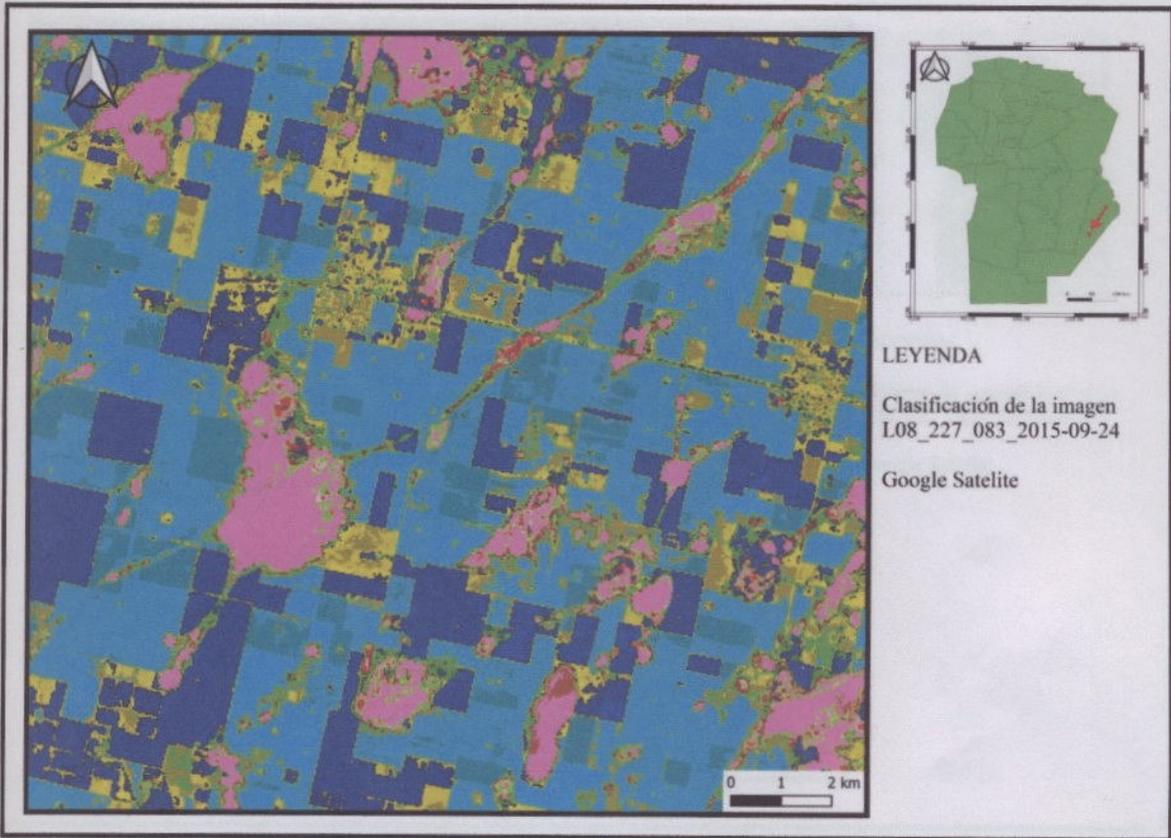


Imagen 10 - Imagen L08_227_083_2015-09-24 clasificada con los parámetros antes descritos.

Una vez obtenidas las clasificaciones de las imágenes, fue realizada una supervisión y reclasificación de las mismas, basada en el índice de NDWI y en imágenes en verdadero color, logrando imágenes clasificadas en “cobertura de agua” y “cobertura de no agua”.

Posterior a ello, dichas clasificaciones, en formato ráster, fueron convertidas a formato vectorial, para una mejor manipulación y presentación de la información.

Las coberturas de “no agua”, junto con las de “agua” que no pertenecieran a la laguna de Martí, fueron eliminadas, para un manejo más ágil de la información.

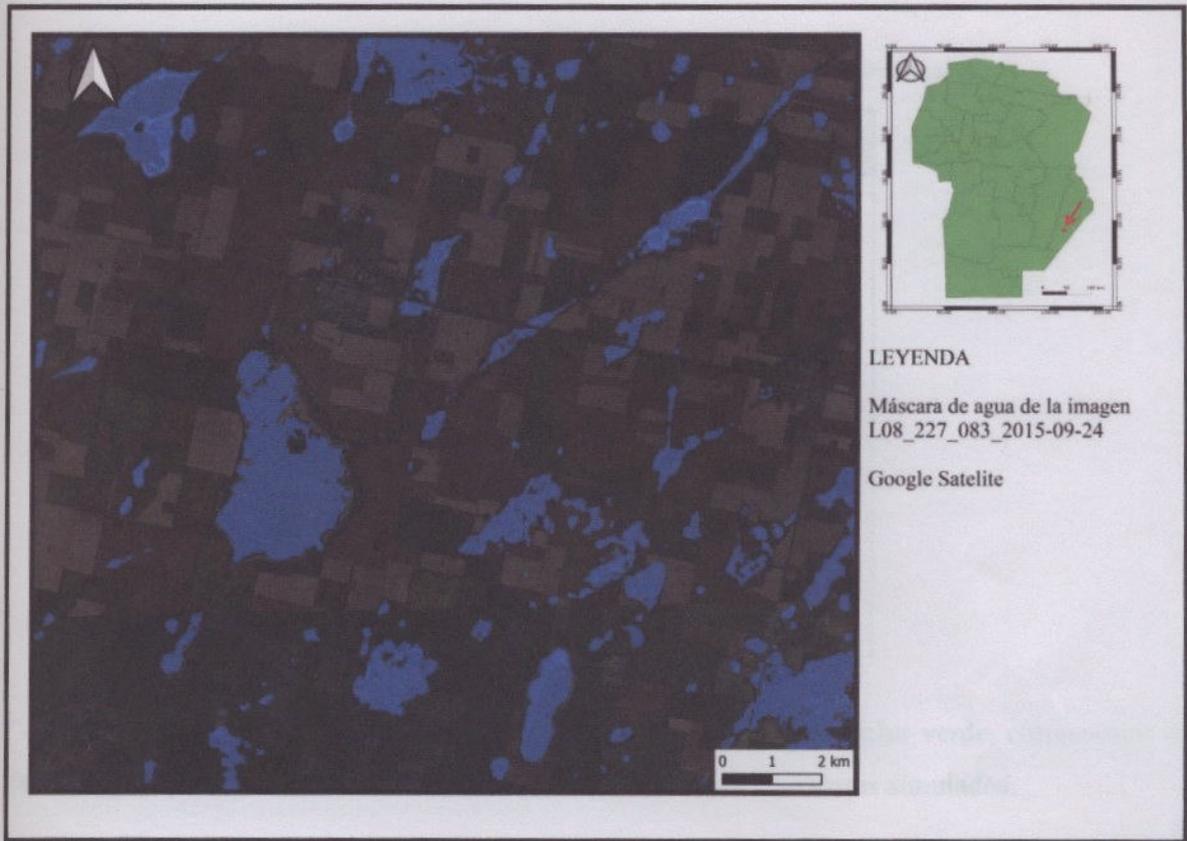


Imagen 11 - Mascara de agua de la región en estudio.

Cabe destacar que el sistema de coordenadas empleado para trabajar las máscaras de la laguna y sus derivados fue POSGAR 2004-Argentina 4, conforme al marco de referencia oficial.

Para finalizar, se extrajo de cada máscara la superficie perteneciente a la laguna en cada una de las fechas elegidas aleatoriamente, dentro del período de estudio.

Una vez realizados estos procedimientos de obtención de áreas de la laguna para diferentes fechas, dichos valores fueron correlacionados con los brindados por el software y conforme estos resultados, calibradas las variables de volumen de ajuste, en un proceso de retroalimentación con los valores de simulación.

A continuación, se puede apreciar en la tabla 5 e imagen 12 los valores de respuesta de área conforme a los 2 métodos, el de técnicas de teledetección y el de simulación del software.

Tabla 5 - Comparación de áreas extraídas de imágenes satelitales y áreas simuladas.

Fecha	Área Imagen	Área Simulada Swat+
20/03/2014	338.83 Ha	
15/11/2014	472.11 Ha	353.24 Ha
07/03/2015	380.94 Ha	351.31 Ha
11/06/2015	425.31 Ha	464.23 Ha
24/09/2015	636.77 Ha	658.23 Ha
17/10/2015	626.68 Ha	626.53 Ha
06/12/2015	650.28 Ha	650.33 Ha
23/01/2016	577.22 Ha	614.83 Ha
10/01/2018	778.89 Ha	721.63 Ha
21/07/2018	694.05 Ha	674.43 Ha
07/09/2018	623.08 Ha	650.53 Ha
31/01/2019	636.83 Ha	690.13 Ha

Como puede observarse en las tablas, el valor sombreado en color verde, corresponde la fecha elegida para tomar como área base, a la cual se le suma los valores simulados.

A continuación, se presenta el grafico de la correlación, donde se indica el valor R^2 , el cual representa el porcentaje de variación de la variable de respuesta que explica su relación con una o más de las variables estudiadas.

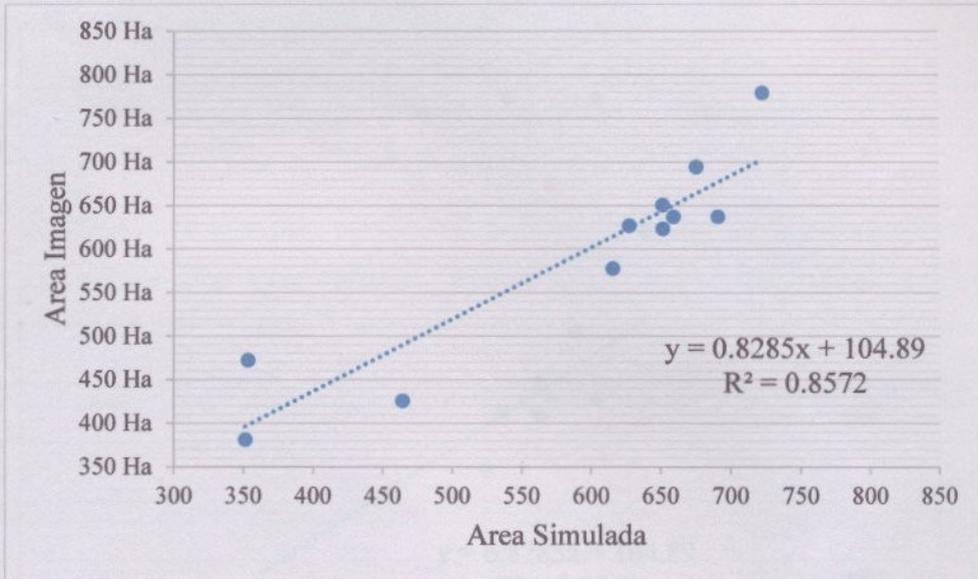


Imagen 12 - Correlación de área obtenida mediante tratamiento de imágenes satelitales y área calibrada mediante simulación.

Cabe destacar que el volumen de calibración obtenido es un valor meramente logrado a los fines de calibrar las superficies de simulación, no apto para ser considerado como volumen verdadero puesto que no hay una batimetría realizada sobre el DEM.

A continuación, luego de ajustada la simulación, pudo obtenerse el área máxima de retención de aguas pluviales, debido a la discrepancia hallada en valores máximos entre lo simulado por el software y lo obtenido mediante imágenes satelitales.

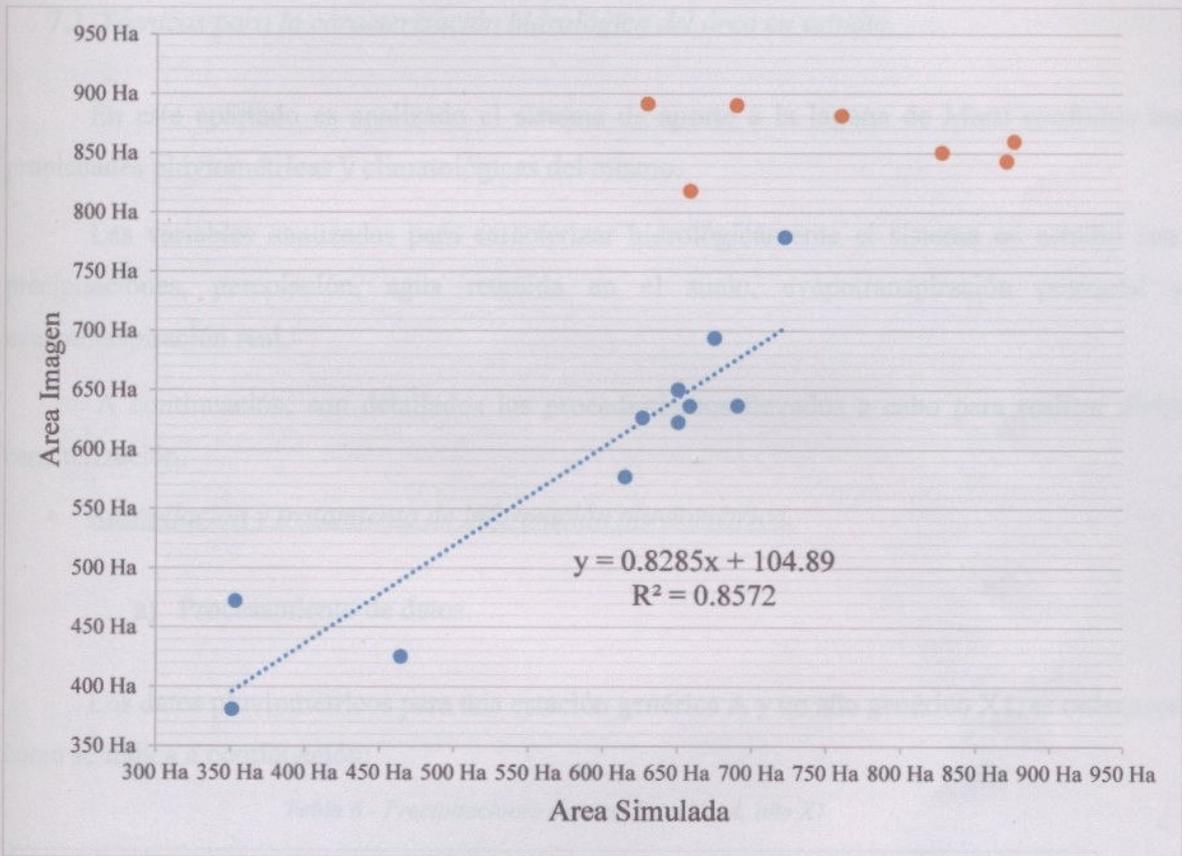


Imagen 13 - Correlación de área obtenida mediante tratamiento de imágenes satelitales y área calibrada obtenida mediante simulación - Valores superior a 750Ha.

Como puede verse en la imagen 13, para valores superiores a 750Ha, en las imágenes satelitales el área se mantiene constante y en la simulación el área sigue en aumento, lo cual manifiesta que, a partir de esas hectáreas de agua acumulada, la misma comienza a fluir.

7.2. Técnicas para la caracterización hidrológica del área en estudio.

En este apartado es analizado el sistema de aporte a la laguna de Martí conforme las propiedades pluviométricas y climatológicas del mismo.

Las variables analizadas para caracterizar hidrológicamente el sistema en estudio son: precipitaciones, percolación, agua retenida en el suelo, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real.

A continuación, son detallados los procedimientos llevados a cabo para realizar dicha caracterización.

- Recopilación y tratamiento de información pluviométrica.

a) Procesamiento de datos.

Los datos pluviométricos para una estación genérica A y un año genérico X1, se ordenaron como se indica a continuación:

Tabla 6 - Precipitaciones diarias, Estación A, año X1

Mes	Día					P _{mensual}
	1	2	3	.....	31	
E	P _{1E}	P _{2E}	P _{3E}	.....	P _{31E}	P _{E X1}
F	P _{1F}	P _{2F}	P _{3F}	.....	P _{31F}	P _{F X1}
M	P _{1M}	P _{2M}	P _{3M}	.....	P _{31M}	P _{M X1}
.
.
D	P _{1D}	P _{2D}	P _{3D}	.....	P _{31D}	P _{D X1}
	P _{máx} = ----- , P _{mín} = -----					P _{X1 (A)}

Mediante la sumatoria de las precipitaciones diarias de cada mes, se obtuvieron las precipitaciones mensuales y a través de la sumatoria estas últimas se determinó la precipitación anual P_{X1 (A)}. Además, se extrajo la precipitación diaria máxima y mínima registrada en el año.

El procedimiento descripto, se realizó para las 6 (seis) estaciones mencionadas con anterioridad. Para una misma estación genérica A y una serie de años X1, X2, ..., Xn, las precipitaciones mensuales se organizaron como se muestra a continuación (Orsolini, Zimmermann, & Basile, 2009):

Tabla 7 - Precipitaciones mensuales.

Año	Mes						P _{anual}
	E	F	M	.....	D		
X1	P _{E X1}	P _{F X1}	P _{M X1}	.....	P _{D X1}		P _{X1 (A)}
X2	P _{E X2}	P _{F X2}	P _{M X2}	.....	P _{D X2}		P _{X2 (A)}
X3	P _{E X3}	P _{F X3}	P _{M X3}	.....	P _{D X3}		P _{X3 (A)}
.
.
Xn	P _{E Xn}	P _{F Xn}	P _{M Xn}	.....	P _{D Xn}		P _{Xn (A)}
	P _{mE}	P _{mF}	P _{mM}	.....	P _{mD}		⟨P⟩ _(A)

De este modo, se logró calcular las precipitaciones medias mensuales para los meses de los años estudiados, mediante la siguiente ecuación:

$$P_{mX} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{Xi(A)}$$

n= número total de años estudiados.

Se determinó, además, el modulo pluviométrico, calculando la media de las precipitaciones anuales, debiendo ser necesariamente igual a la sumatoria de las precipitaciones medias mensuales:

$$\langle P \rangle_{(A)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{Xi(A)}$$

Se realizó el mismo proceso para todas las estaciones, para la serie de años estudiada.

Las diferentes tablas mensuales de todas las estaciones se podrán observar en el anexo 1.

b) Análisis de consistencia y homogeneidad de datos procesados.

Los datos hidrometeorológicos son denominados como consistentes cuando la serie de valores observados no presenta errores de medición (Orsolini et al., 2009). El mal estado de la estación, el cambio en su localización o el mal funcionamiento del instrumental, afectan de forma sistemática la lectura y hacen que los datos presenten “*errores sistemáticos*”. Los errores ocasionales, debido a la lectura, transcripción de datos o cálculo, producen “*errores accidentales*”, que son difíciles de detectar en comparación con los anteriores.

Para analizar los datos, fue utilizado, el método de dobles acumulaciones. Este generalmente se aplica a datos de lluvia o niveles hídricos para estimar errores sistemáticos. Se analizó la consistencia de los datos de las 6 (seis) estaciones estudiadas comparándolas con datos confiables de una estación de referencia: en este caso, decidió utilizar como estación de referencia, la estación que posee el Servicio Meteorológico Nacional en la ciudad de Venado Tuerto, ubicada en su aeródromo Tomas B. Kenny.

La comparación para un determinado periodo de tiempo fue efectuada representando en un par de ejes coordenados ortogonales, los puntos (VHi ac. (X) , VHi ac.(Y)), donde VHi ac.(X) es el i-esimo valor acumulado correspondiente a la serie de la estación de confianza X y VHi ac (Y) es el i-esimo valor acumulado correspondiente a la serie de la estación Y.

Si en el periodo considerado, los valores acumulados de la estación Y son proporcionales a los valores acumulados de la estación X, se obtiene una recta cuya pendiente representa el coeficiente de proporcionalidad. Esto indica que, habiendo adoptado a X como estación de confianza, los datos de la estación Y son consistentes. (Orsolini et al., 2009).

Por el contrario, los datos de la estación Y serán inconsistentes si a partir de un determinado momento se observa un cambio de pendiente.

A continuación, se observa el gráfico que muestra el análisis de consistencia realizado para la Estación BCCBA Guatimozín – 94032:

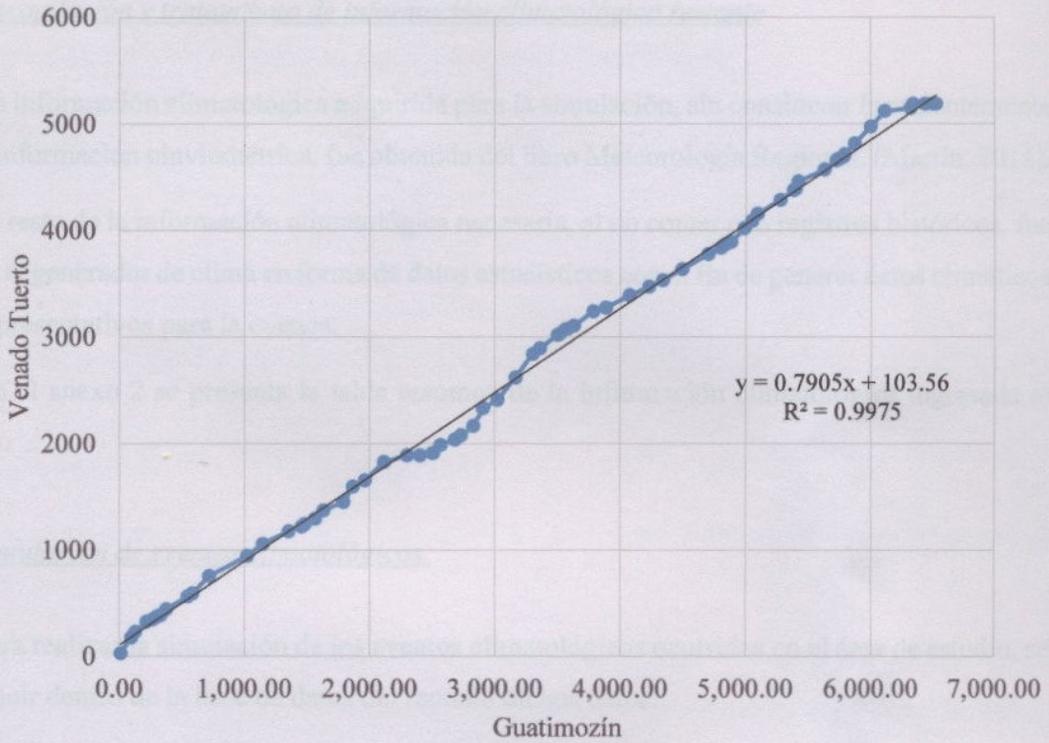


Imagen 14 - Método de Doble Acumulación - Guatimozín - Venado Tuerto.

Como puede verse en la imagen, y conforme lo explicitado anteriormente para este tipo de métodos, se obtiene que la serie analizada presenta una sólida consolidación de datos.

Para las restantes estaciones pluviométricas analizadas, los valores de la ecuación y coeficiente de determinación, son los siguientes: Estación BCCBA Corral de Bustos: $y=0.8085x+0.8464$, $R^2=0.9982$; Estación BCCBA Isla Verde: $y=0.8395x-140.67$, $R^2=0.9949$; Estación BCCBA Arias: $y=0.76x+129.12$, $R^2=0.9985$; Estación BCCBA Alejo Ledesma: $y=0.8645x+34.902$, $R^2=0.9955$ y Estación INTA Canals: $y=0.8604x+289.46$, $R^2=0.9924$.

En el anexo al trabajo realizado, son adjuntados los demás gráficos del análisis de consistencia realizado.

- Recopilación y tratamiento de información climatológica restante

La información climatológica adquirida para la simulación, sin considerar la recientemente utilizada información pluviométrica, fue obtenida del libro Meteorología Regional. (Martín, 2014).

El resto de la información climatológica necesaria, al no contar con registros históricos, fue ingresada al generador de clima en forma de datos estadísticos con el fin de generar datos climáticos diarios representativos para la cuenca.

En el anexo 2 se presenta la tabla resumen de la información climatológica ingresada al simulador.

- Simulación de eventos climatológicos.

Para realizar la simulación de los eventos climatológicos ocurridos en el área de estudio, se deben incluir dentro de la base de datos del modelo dichos datos.

A su vez, para simular los rasgos hidrológicos de la cuenca en cuestión, se debe incluir en la base de datos del modelo, los datos pluviométricos obtenidos del procesamiento de la información de las diferentes estaciones meteorológicas mencionadas en el proyecto, como así también, datos referentes a la ubicación y altura sobre el nivel del mar de las estaciones anteriormente descriptas.

Luego de guardada la base de datos correctamente, el editor procede a la lectura y verificación de la consistencia y ubicación de la información.

a) Periodo de simulación.

Se emplearon datos pluviométricos del año 2013 al 2019 inclusive para la simulación. Debido a que el primer año de simulación encuentra al sistema de estudio en sus condiciones iniciales (sin humedad en el suelo, principalmente) los valores generados de las variables de este primer año no son tenidos en cuenta.

En la siguiente tabla, se describen los datos a cargar en el Editor Swat+.

Tabla 8 – Configuración del Periodo de Simulación.

Valor	Descripción	SWAT+ Variable
0	Día juliano en que comienza la simulación (0 = 1 Enero).	day_start
2013	Año en que comienza la simulación (Ej = 1980).	ycr_start
59	Día juliano en que finaliza la simulación (0 = 1 Enero).	day_end
2019	Año en que finaliza la simulación (Ej = 1980).	ycr_end
Diario	Formato temporal en el que se registraron los valores climáticos.	step

b) Información resultante.

En este apartado es configurada la forma en la que los datos obtenidos de la simulación se expresan en el archivo de salida.

Para este estudio, fueron estipuladas las salidas de carácter diario, con el fin de obtener resultados que pueden compararse eficientemente. A su vez, también fueron seleccionadas dichas salidas en una versión mensual, con el objeto de obtener conceptos generales de las variables.

La siguiente tabla muestra las variables exportadas en cada una de las modalidades:

Tabla 9 - Variables exportadas.

Objeto	Descripción	Diario	Mensual	Anual	Inter Anual
basin_wb	Balance de agua en la cuenca.	X	X		
basin_aqu	Salida del acuífero de la cuenca.	X	X		
basin_res	Salida del reservorio de la cuenca.	X	X		
basin_sd_cha	Salida de los canales de la cuenca.	X	X		
channel_sd	Salida de los canales.	X	X		

Una vez configurados los procedimientos anteriormente descriptos, se procede a la ejecución del software. Éste produce archivos de formato .txt que contiene información detallada de las variables, tanto en la modalidad diaria como mensual.

De esta manera, con todos los procedimientos anteriormente descriptos, es lograda la caracterización del área de estudio desde los aspectos hidrológico y geomorfológico.

8. RESULTADOS

En coherencia con los objetivos planteados, se expresa que fue lograda la caracterización del sistema hidrológico de estudio.

En la siguiente tabla, a modo de resumen, se pueden observar los resultados obtenidos en el análisis realizado.

Tabla 10 - Resumen de resultados.

CARACTERIZACION GEOMORFOLOGICA	
VARIABLE	RESULTADO
Área del Sistema Hidrológico	4982 Ha
Perímetro del Sistema Hidrológico	41.39 km
Índice de compacidad (Kc)	1.65
Cota mínima del Sistema Hidrológico	116.753 m
Cota máxima Sistema Hidrológico	126.058 m
Área mínima de laguna	464.23 Ha (11/06/2015)
Área máxima de laguna	891.21 Ha (04/11/2016)
CARACTERIZACION HIDROLOGICA	
VARIABLE	RESULTADO
Precipitación mínima	0.00 mm (Abril)
Precipitación máxima	222.79 mm (Febrero)
Agua mínima retenida en el suelo	30.43 mm (Junio)
Agua máxima retenida en el suelo	207.88 mm (Abril)
Evapotranspiración real mínima	9.56 mm (Junio)
Evapotranspiración real máxima	160.41 mm (Noviembre)
Evapotranspiración potencial mínima	47.35 mm (Junio)
Evapotranspiración potencial máxima	260.49 mm (Diciembre)

A continuación, es manifestada detalladamente la caracterización desde el punto de vista geomorfológico.

Área del Sistema Hidrológico

El área de aporte de aguas pluviales al sistema de la “Laguna de Marti” posee una superficie de 4982 Ha.



Imagen 15 - Área del sistema hidrológico.

Perímetro del Sistema Hidrológico

El Perímetro de la Cuenca de la “Laguna de Marti” es de 41,39 km.



Imagen 16 - Perímetro del Sistema Hidrológico.

Forma del Sistema Hidrológico.

La forma de la cuenca, la cual tiene gran importancia en la manera en la que el agua converge al punto de cierre de la misma fue cuantificada por el índice de Gravelius. (Garay & Agüero, 2017), arrojó un valor $K_c = 1.65$, aludiendo a un escurrimiento de carácter longitudinal. Mientras más cercano se encuentre K_c del valor 0.5 la cuenca se asemejará a la forma circular.

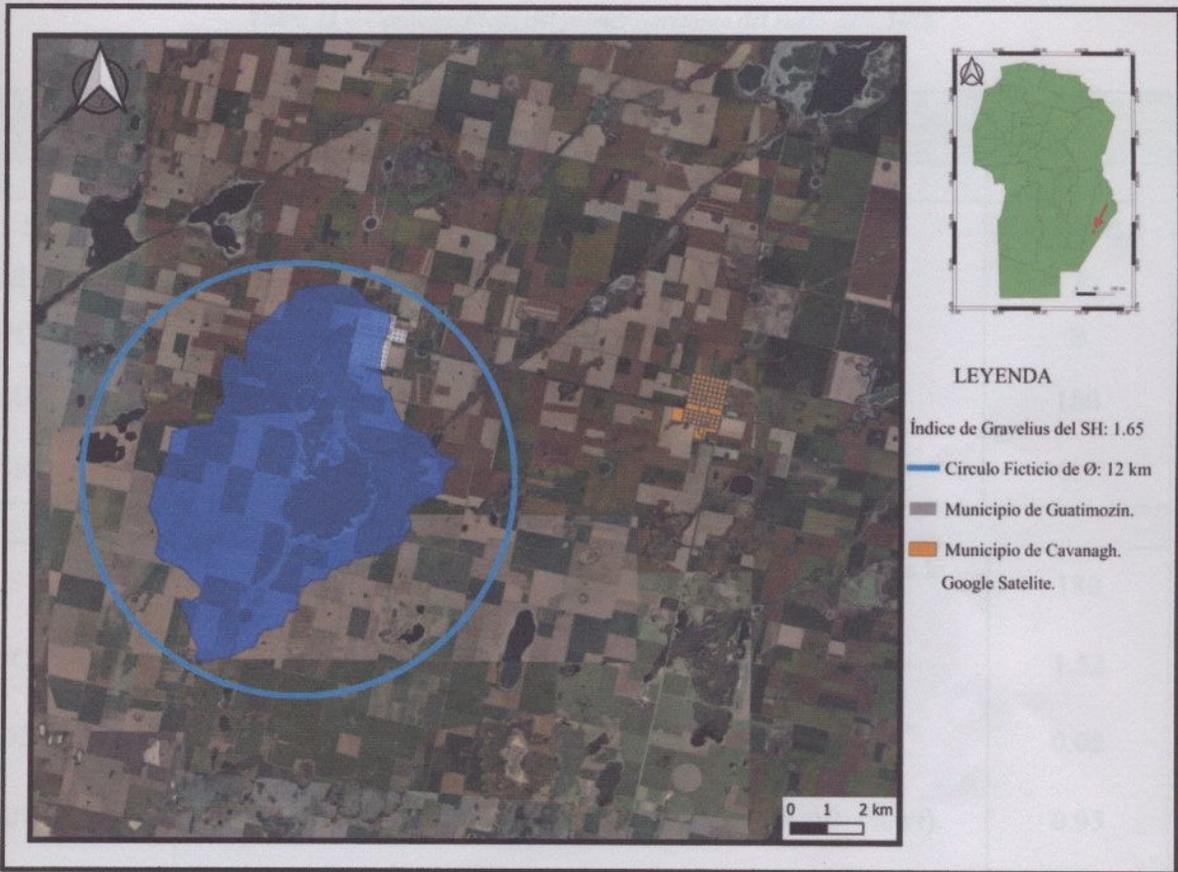


Imagen 17 - Forma de la cuenca.

Caracterización de suelos

A continuación, se adjuntan las tablas con los parámetros que caracterizan a los suelos presentes en el área de estudio.

Esta información, si bien fue brindada por el INTA, se considera colocarla en resultados puesto que hace a la caracterización del sistema de estudio.

Debido a la extensión de los datos, en este apartado solo se presenta el primer estrato de las dos tipologías de suelos presentes. En el anexo 3 se encuentra la información restante de los estratos subsiguientes.

Tabla 11 – Características del primer horizonte del suelo AF1-1016.

Nombre de la Variable	Definición	Valor
Parámetros de componentes del suelo		
SNAM	Nombre del suelo	AF1-1016
NLAYERS	Numero de capas en el suelo. Mín. 0 - Máx. 10.	3
HYDGRP	Grupo hidrológico del suelo	B
SOL_ZMX	Profundidad máxima de enrutamiento del perfil del suelo. Mín. 0 - Máx. 3500. (mm)	180
ANION_EXCL	Fracción de porosidad de la que se excluyen los aniones. Mín. 0.01 - Máx. 1 (Fracción)	0.5
Parámetros de la capa de suelo		
SOL_Z_1	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín. 0 - Máx. 3500. (mm).	180
SOL_BD_1	Densidad aparente húmeda. Mín. 0.9 - Máx. 2.5. (g/cm ³).	1.52
SOL_AWC_1	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín. 0 - Máx. 1. (mm/mm).	0.08
SOL_CBN_1	Contenido de carbono orgánico. Mín. 0.05 - Máx. 10. (%wt).	0.93
SOL_K_1	Conductividad hidráulica saturada. Mín. 0 - Máx. 2000. (mm/h).	58.1
CLAY_1	Contenido de arcilla. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	9
SILT_1	Contenido de limo. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	17.2
SAND_1	Contenido de arena. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	73.8
ROCK_1	Contenido de fragmento de roca. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	0
SOL_ALB_1	Albedo de suelo húmedo. Mín. 0 - Máx. 0.25. (Fracción).	0.09
USLE_K_1	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín. 0 - Máx. 0.65.	0.68
SOIL_EC_1	Conductividad eléctrica. Mín. 0 - Máx. 100: (dS/m).	0

Tabla 12 - Características del primer horizonte del suelo AF11-2-3a-4446.

Nombre de la Variable	Definición	Valor
Parámetros de componentes del suelo		
SNAM	Nombre del suelo	AF11-2-3a-4446
NLAYERS	Numero de capas en el suelo. Mín. 0 - Máx. 10.	3
HYDGRP	Grupo hidrológico del suelo	B
SOL_ZMX	Profundidad máxima de enrutamiento del perfil del suelo. Mín. 0 - Máx. 3500. (mm)	150
ANION_EXCL	Fracción de porosidad de la que se excluyen los aniones. Mín. 0.01 - Máx. 1 (Fracción)	0.5
Parámetros de la capa de suelo		
SOL_Z_1	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín. 0 - Máx. 3500. (mm).	220
SOL_BD_1	Densidad aparente húmeda. Mín. 0.9 - Máx. 2.5. (g/cm ³).	1.4
SOL_AWC_1	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín. 0 - Máx. 1. (mm/mm).	0.16
SOL_CBN_1	Contenido de carbono orgánico. Mín. 0.05 - Máx. 10. (%wt).	1.6
SOL_K_1	Conductividad hidráulica saturada. Mín. 0 - Máx. 2000. (mm/h).	35.61
CLAY_1	Contenido de arcilla. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	10.1
SILT_1	Contenido de limo. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	48.5
SAND_1	Contenido de arena. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	41.4
ROCK_1	Contenido de fragmento de roca. Mín. 0 - Máx. 100. (%wt).	0
SOL_ALB_1	Albedo de suelo húmedo. Mín. 0 - Máx. 0.25. (Fracción).	0.09
USLE_K_1	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín. 0 - Máx. 0.65.	0.64
SOIL_EC_1	Conductividad eléctrica. Mín. 0 - Máx. 100: (dS/m).	0

Cota máxima y mínima del sistema de aporte:

A continuación, se muestra una imagen que contiene representado el DEM con la forma de la cuenca simulada, en él se ve reflejada la cota máxima y mínima del Sistema Hidrológico en estudio.

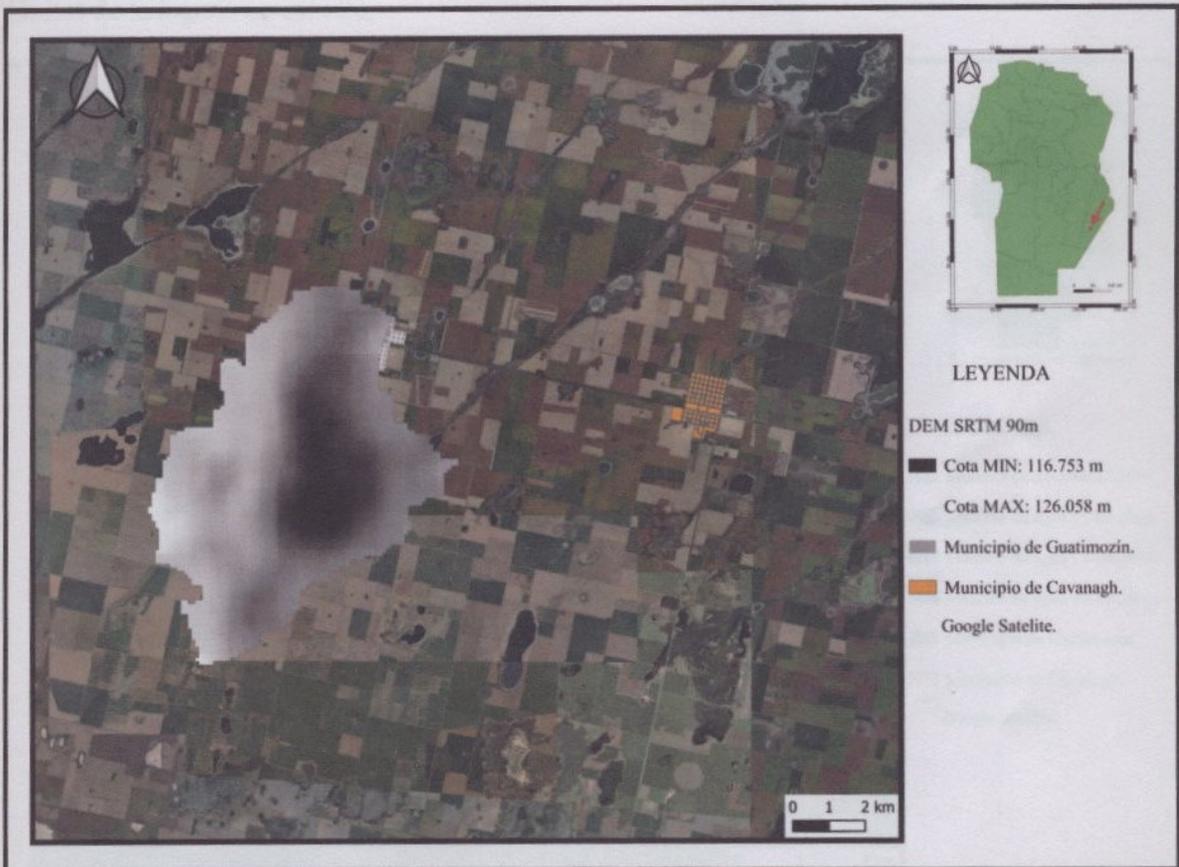


Imagen 18 - Cota máxima y mínima del sistema hidrológico en estudio.

Descripción de la laguna

En la siguiente imagen, se puede observar, la máscara de agua perteneciente al área mínima histórica registrada en el periodo de estudio, el área típica más frecuente registrada en el periodo en estudio y el área máximo histórico registrado en el periodo analizado, describiendo así los límites de la laguna en estudio.

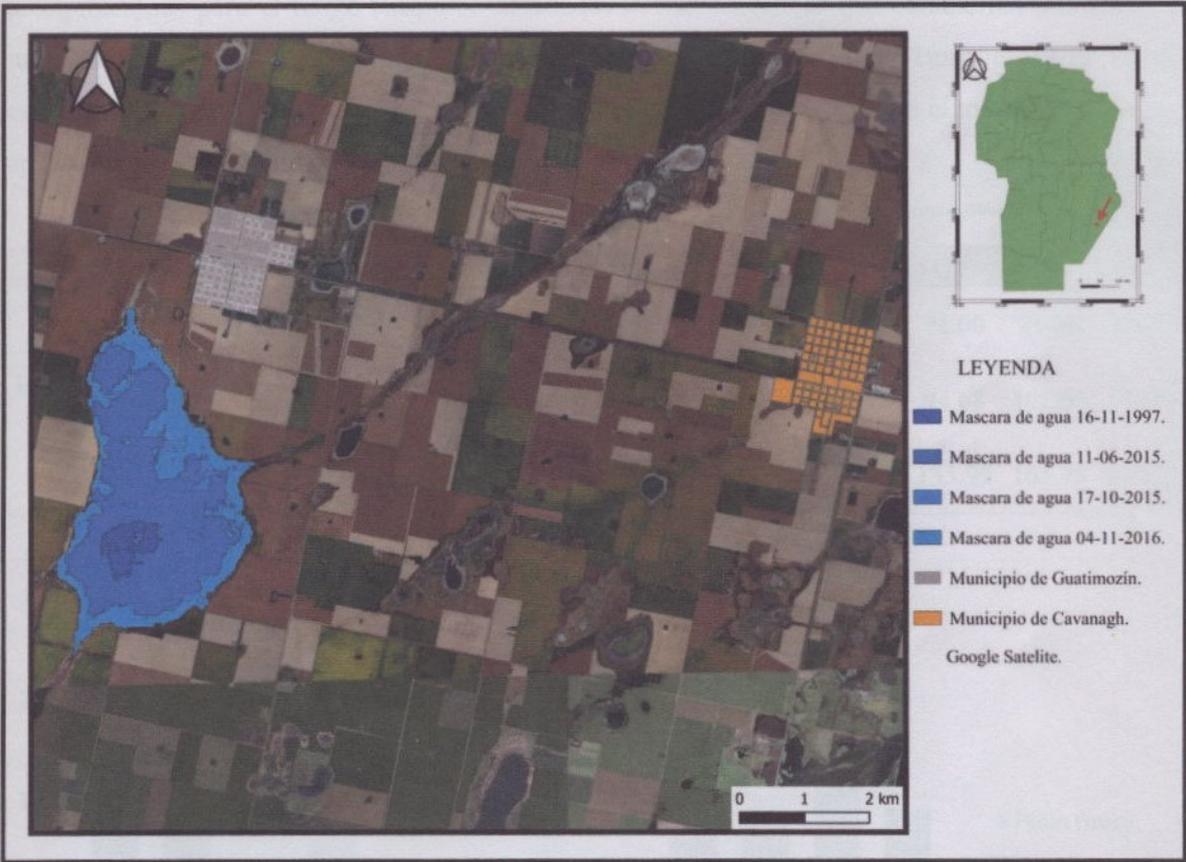


Imagen 19 - Área máxima, área más frecuente y área mínima de la laguna de "Martí".

A su vez, conforme los objetivos del trabajo fue lograda también la caracterización del ciclo hidrológico:

Precipitaciones

En la tabla 13 se pueden observar los valores mínimos, medios y máximos de precipitaciones para el rango temporal estudiado. El valor mínimo que caracteriza a la estación invernal es de aproximadamente 20mm, siendo aproximadamente 131mm el valor medio característico de la estación estival. El máximo valor obtenido se registra en el mes de febrero con aproximadamente 222mm.

Tabla 13- Precipitaciones mínimas, medias y máximas del Sistema Hidrológico estudiado.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pmín (mm)	58.80	10.00	52.60	0.00	6.40	2.40	2.80	1.00	21.80	71.00	35.00	80.20
Pmedia (mm)	111.99	131.75	80.40	99.32	43.12	20.56	20.32	18.28	53.44	94.68	101.04	122.23
Pmáx (mm)	166.19	222.79	112.59	140.39	84.40	48.20	72.60	52.20	129.79	135.99	165.79	144.59

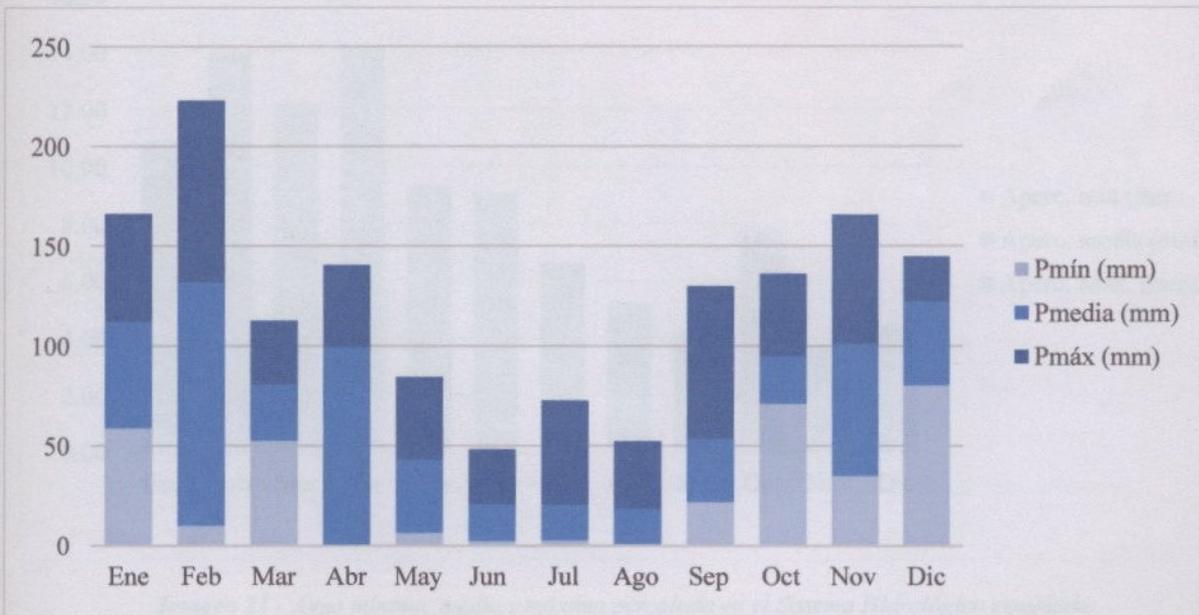


Imagen 20 - Precipitaciones mínimas, medias y máximas del Sistema Hidrológico estudiado.

Percolación

También llamada filtración profunda, es el agua aplicada sobre una superficie que logra infiltrarse a capas más profundas del suelo. En la tabla 14 se muestran los valores obtenidos en la simulación del Sistema Hidrológico en estudio.

Se destaca que los valores máximos de percolación se dan en los meses de verano, en consonancia con las máximas lluvias.

Tabla 14 - Agua mínima, media y máxima percolada en el Sistema Hidrológico estudiado.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Aperc. min (mm)	0.97	1.59	1.58	2.07	1.82	1.38	1.63	1.93	1.61	1.73	2.28	2.76
Aperc. media (mm)	3.97	6.48	6.14	7.10	5.48	4.60	3.66	3.22	3.02	3.51	3.10	3.30
Aperc. Max. (mm)	10.81	14.04	12.20	14.18	9.33	9.03	6.62	5.23	4.23	7.75	3.74	4.47

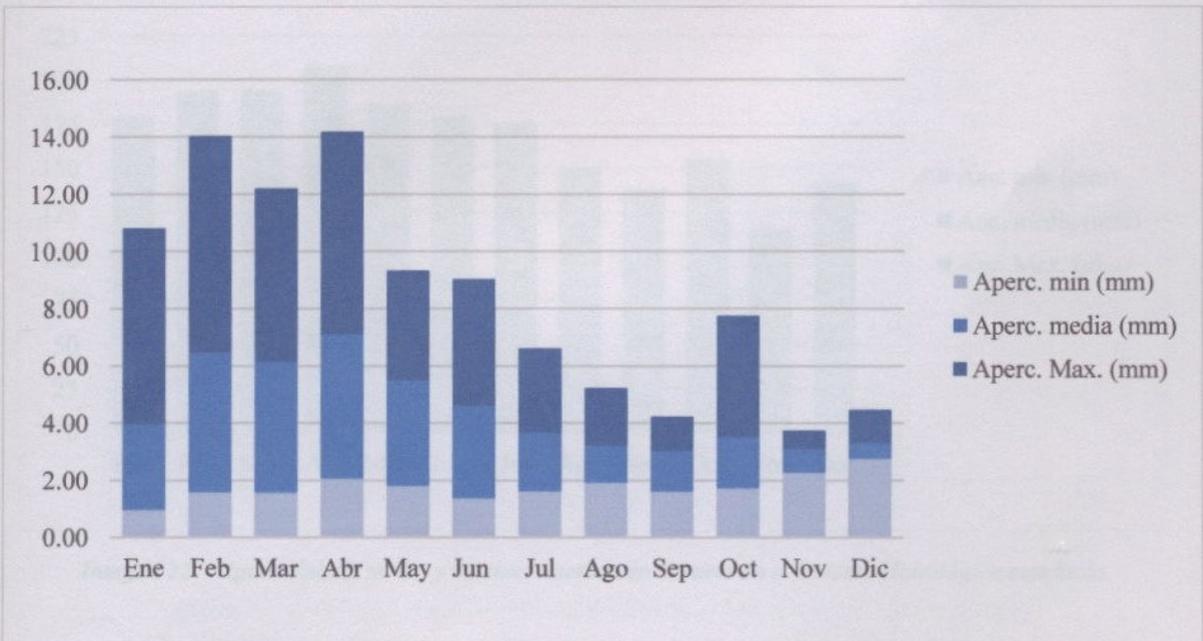


Imagen 21 - Agua mínima, media y máxima percolada en el Sistema Hidrológico estudiado.

Agua retenida en el suelo

Esta variable fluctúa entre valores medios de 87.8mm, en septiembre y 143.2mm, valor correspondiente al mes de febrero, presentando su máximo en el mismo mes, con un valor cercano a los 200mm.

Tabla 15 - Agua mínima, media y máxima retenida en el suelo en el Sistema Hidrológico estudiado.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Aac. min (mm)	81.7	108.6	45.4	45.1	32.7	30.4	30.7	35.4	35.2	35.5	53.6	46.6
Aac. media (mm)	115.4	143.2	126.1	120.1	112.7	96.3	88.6	89.5	87.8	93.7	97.1	98.0
Aac. Max. (mm)	179.5	193.8	193.8	207.9	186.3	179.4	175.3	150.2	138.2	154.7	116.0	141.4

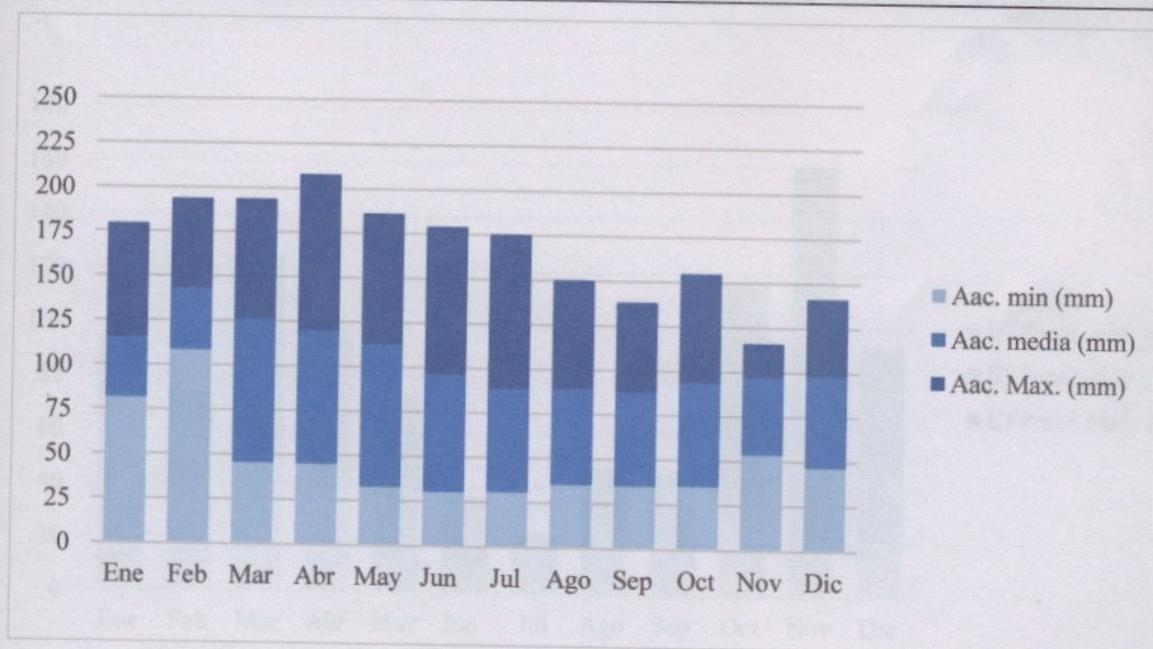


Imagen 22 - Agua mínima, media y máxima retenida en el suelo en el Sistema Hidrológico estudiado.

Evapotranspiración real

La evapotranspiración real, es la suma de las cantidades de agua evaporadas del suelo y de las plantas cuando el terreno se encuentra con su contenido natural de humedad. En la tabla 16 se muestran los valores mínimos, medios y máximos de evapotranspiración real, que es aquella que sucede efectivamente durante el ciclo hidrológico:

Tabla 16 - Evapotranspiración real simulada en el Sistema Hidrológico estudiado.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETPreal. min (mm)	64.45	54.33	55.43	40.38	14.11	9.56	10.40	17.08	18.13	29.43	60.80	46.52
ETPreal. media (mm)	73.19	62.77	90.34	70.14	42.21	23.70	16.79	24.33	34.97	66.26	98.95	76.54
ETPreal. Max. (mm)	93.75	74.48	124.58	100.26	74.04	35.99	22.53	47.03	46.27	117.38	160.41	92.81

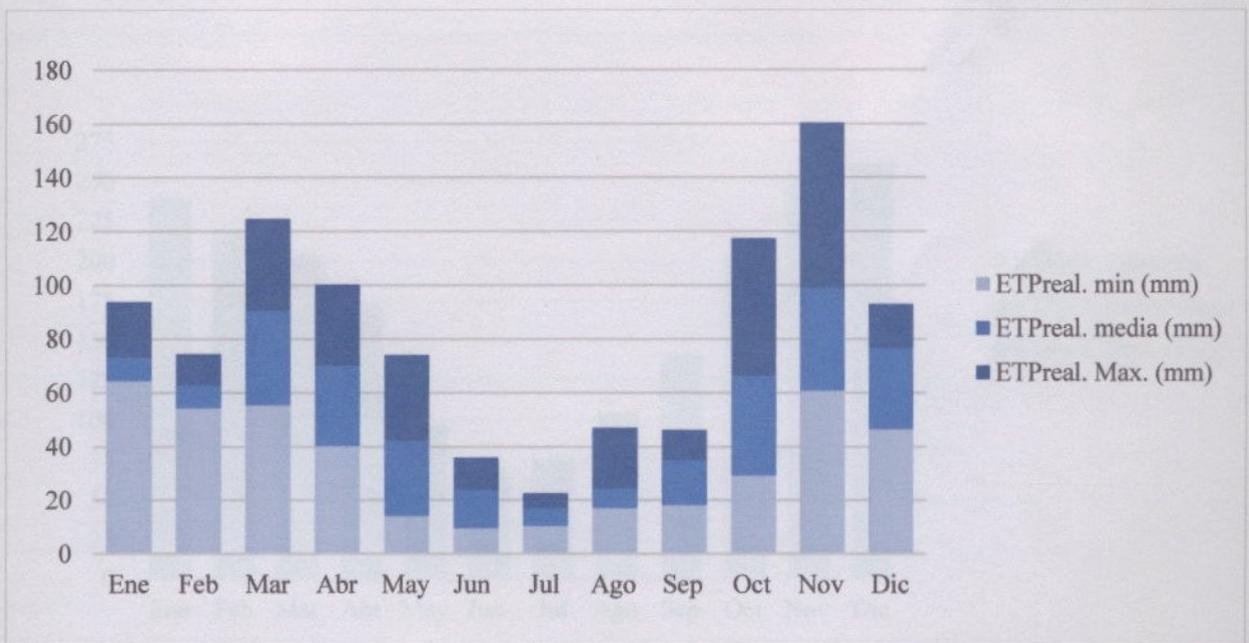


Imagen 23 - Evapotranspiración real simulada para el Sistema Hidrológico estudiado

Evapotranspiración potencial

Esta variable difiere de la anterior en que ésta, manifestada en la tabla 17, representa la capacidad de evaporación que posee la atmósfera, siendo en este caso notablemente mayor a la evapotranspiración real. A continuación, los valores mínimos, medios y máximos de la variable simulada.

Tabla 17 - Evapotranspiración potencial simulada para el Sistema Hidrológico estudiado.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETPpot. min (mm)	186.02	126.27	144.83	81.95	49.43	47.35	54.67	62.18	116.01	129.97	176.35	213.75
ETPpot. media (mm)	211.77	155.65	173.91	125.28	79.78	60.19	65.03	92.57	127.93	174.45	214.71	242.92
ETPpot. Max. (mm)	239.41	219.68	203.01	172.53	97.02	69.58	74.80	104.14	140.67	203.62	255.18	260.49

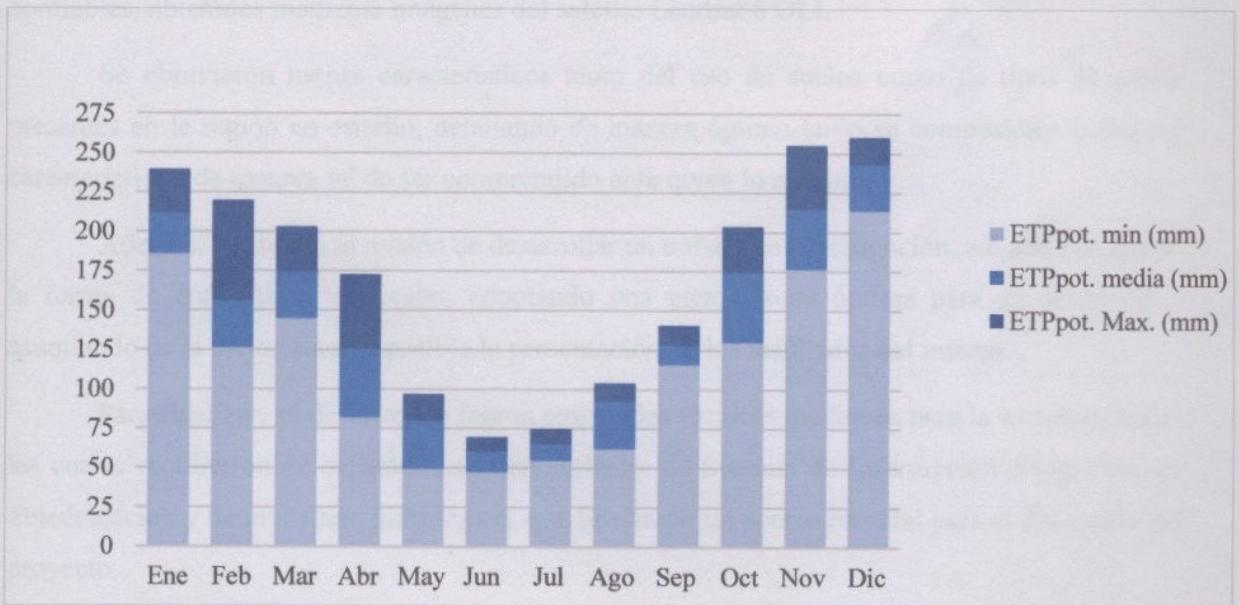


Imagen 24 - Evapotranspiración potencial simulada para el Sistema Hidrológico estudiado.

9. CONCLUSIONES

Se destaca que mediante este trabajo fue posible caracterizar geomorfológicamente e hidrológicamente el sistema de aporte a la laguna de "Martí". El mismo ofrece información base para profesionales y técnicos orientados a la ingeniería que necesiten realizar estudios-análisis de índole hídrica, sentando un precedente en la región.

A su vez, se aporta un modelo de simulación hidrológico, ajustado al comportamiento del sistema hidrológico en estudio, el cual permite ser actualizado conforme el caso lo requiera.

En cuanto a la información pluviométrica, se obtiene una base de datos representativa de la región, con datos de estaciones meteorológicas automáticas vigentes en el área de estudio, contando con información validada por análisis de consistencia de datos.

Se generó, además, una colección histórica de máscaras de agua de la laguna de "Martí", las cuales representan la variación histórica del área de la misma, brindando datos precisos y confiables, obtenidos mediante imágenes del satélite Landsat 8 OLI.

Se obtuvieron mapas característicos tanto del uso de suelos como de tipos de suelos presentes en la región en estudio, detallando de manera óptima tanto su composición como sus características, de manera tal de ser comprendido ante quien lo requiera.

Además, se abordó la misión de desarrollar un trabajo de investigación, teniendo en cuenta la forma de cómo llevarlo a cabo, adoptando una metodología óptima para su desarrollo y asumiendo de la mejor manera posible la presentación de los resultados del mismo.

Para finalizar, se destaca que fueron empleadas técnicas modernas para la caracterización, las cuales requirieron de capacitaciones en software de Sistema de Información Geográfica, de Teledetección y de modelado hidrológico, que brindaron un aporte esencial para el desarrollo del proyecto.

10. BIBLIOGRAFIA

- AGENCIA CÓRDOBA D.A.C.yT. (2003). *Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba*. (1st ed.). Retrieved from <http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/proyarboles/RegionesNaturalesdeCordoba.pdf>
- BOLSA DE CEREALES DE CÓRDOBA. (2019). DIA - BOLSA DE CEREALES DE CORDOBA. Retrieved from <http://clima.bccba.com.ar/>
- Cabrera, J. W. (2012). Unidad de Respuesta Hidrológica (H.R.U.). *Instituto Para La Mitigación de Los Efectos Del Fenómeno El Niño - Universidad Nacional de Ingeniería*, 1–2. Retrieved from http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_8.pdf
- Espíndola, A., Godagnone, R., Havrylenko, S., de la Fuente, J. C., & Mercuri, P. (2014). Generación de bases de datos de suelos para modelos hidrológicos a escalas regionales. *XXIV Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo*, 10.
- Friedl, M. A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., & Huang, X. (2010). *MODIS Collection 5 cobertura global del suelo: refinamiento de algoritmos y caracterización de nuevos conjuntos de datos* [Collection 5.1 IGBP Land Cover]. Boston University, Boston, MA, USA.
- Garay, D. D., & Agüero, J. N. G. (2017). Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón. *Ediciones INTA*. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-delimitacion_y_caracterizacion_de_la_cuenca_del_rio_anzulon_1.pdf
- Geraldi, A. (2009). *Estudio geoambiental de la Cuenca Lagunar las encadenadas del oeste* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Sur.
- Martín, R. (2014). *Meteorología Regional* (1era.). Rosario, Argentina: Iracema Ediciones.
- Orsolini, H., Zimmermann, E., & Basile, P. A. (2009). Mediciones Hidrológicas. In *Hidrología: Procesos y Metodos* (3rd ed., Vol. 0, pp. 19–49). Rosario, Argentina: UNR Editora.
- qgis.org. (2015). Descubre QGIS. Retrieved October 24, 2019, from <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- Resch, G. (2007). *Estudio Estadístico del Régimen Pluviométrico de Canals y Situación Comparativa del 2006* [Documento de trabajo]. Canals.
- Soria, M. V. (2019). *Análisis de riesgo hidrológico en la parte alta del sistema hidrológico de llanura "Las Encadenadas" mediante aplicación de herramientas geomáticas* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Entre Ríos, Facultad de Ciencia y Tecnología.
- Soria, M. V., Piñero, V. A., Ledesma, N., Basile, P. A., & Riccardi, G. (2017). ANÁLISIS BATIMÉTRICO DE LAGUNAS POCO PROFUNDAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG: APLICACIÓN A LA LAGUNA LA VICTORIA. *Cuadernos Del CURIHAM*, 23, 51–62.
- Sorribes, L. (2019). *Registro Pluviométrico Oficial* [Informe Técnico]. Guatimozín: Sorribes, Leonardo.
- swat.tamu.edu. (2016). SWAT Soil & Water Assessment Tool. Retrieved October 24, 2019, from apostila portugues SWAT website: <http://swat.tamu.edu/>

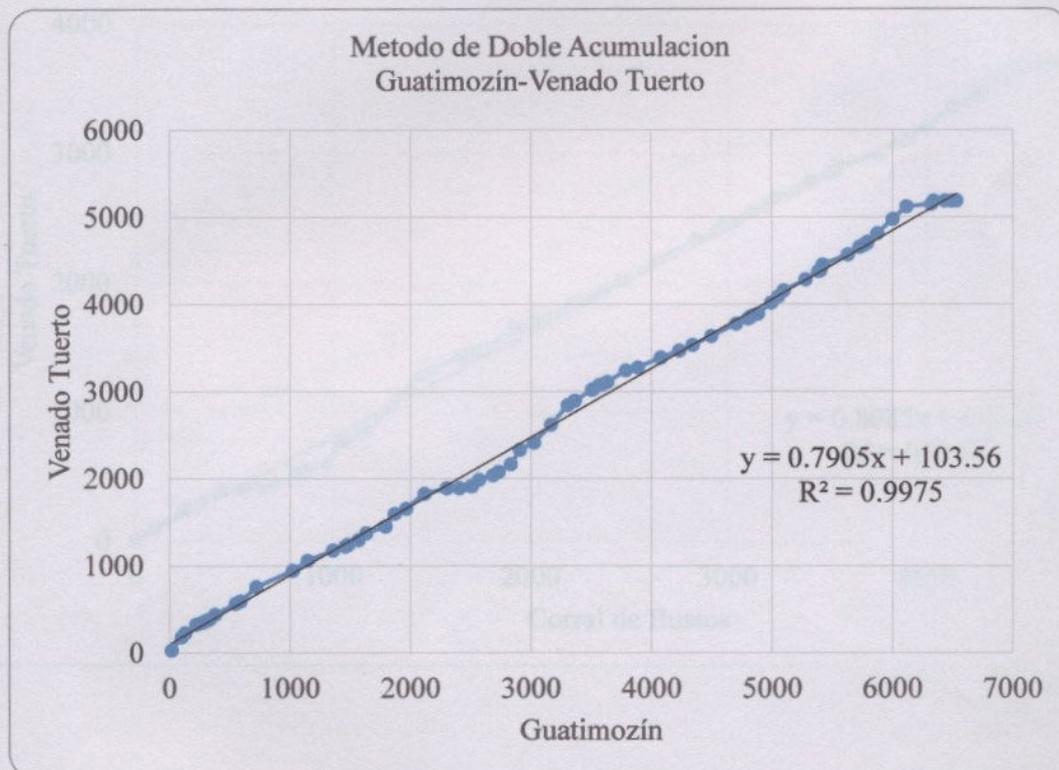
11. ANEXOS

11.1. INFORMACION PLUVIOMETRICA.

- Estación BCCBA Guatimozín – 94032

AÑO	MES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2013	30	149	49	98	20	18	15	0	6	56	121	29	592
2014	161	191	113	118	44	18	4	1	48	81	77	143	1000
2015	59	175	62	0	22	2	73	52	39	88	166	80	818
2016	207	223	53	125	6	48	3	2	28	136	35	113	979
2017	81	61	104	140	59	21	13	21	130	71	66	130	896
2018	92	10	70	113	84	13	9	16	22	97	162	145	833
2019	28	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
Pm	94	121	64	85	34	17	17	13	39	76	90	91	5186

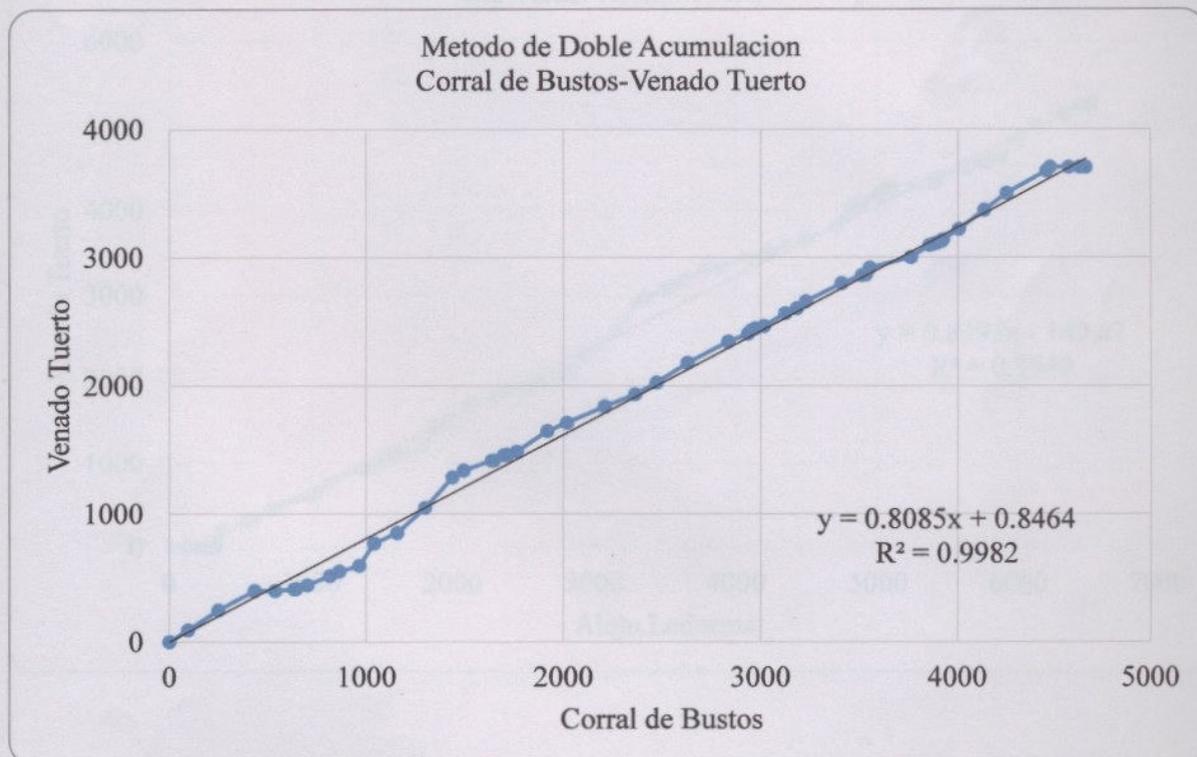
<P> 741



- *Estación BCCBA Corral de Bustos – 94062*

AÑO	MES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2013													0
2014													0
2015	92	156	149	0	13	2	31	71	36	45	174	82	851
2016	196	237	53	79	0	40	4	1	23	161	65	126	986
2017	97	91	154	165	61	27	15	18	100	37	57	139	960
2018	64	3	54	82	96	6	10	13	13	81	150	133	705
2019	172	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203
Pm	89	74	59	47	24	11	9	15	25	46	64	68	3704

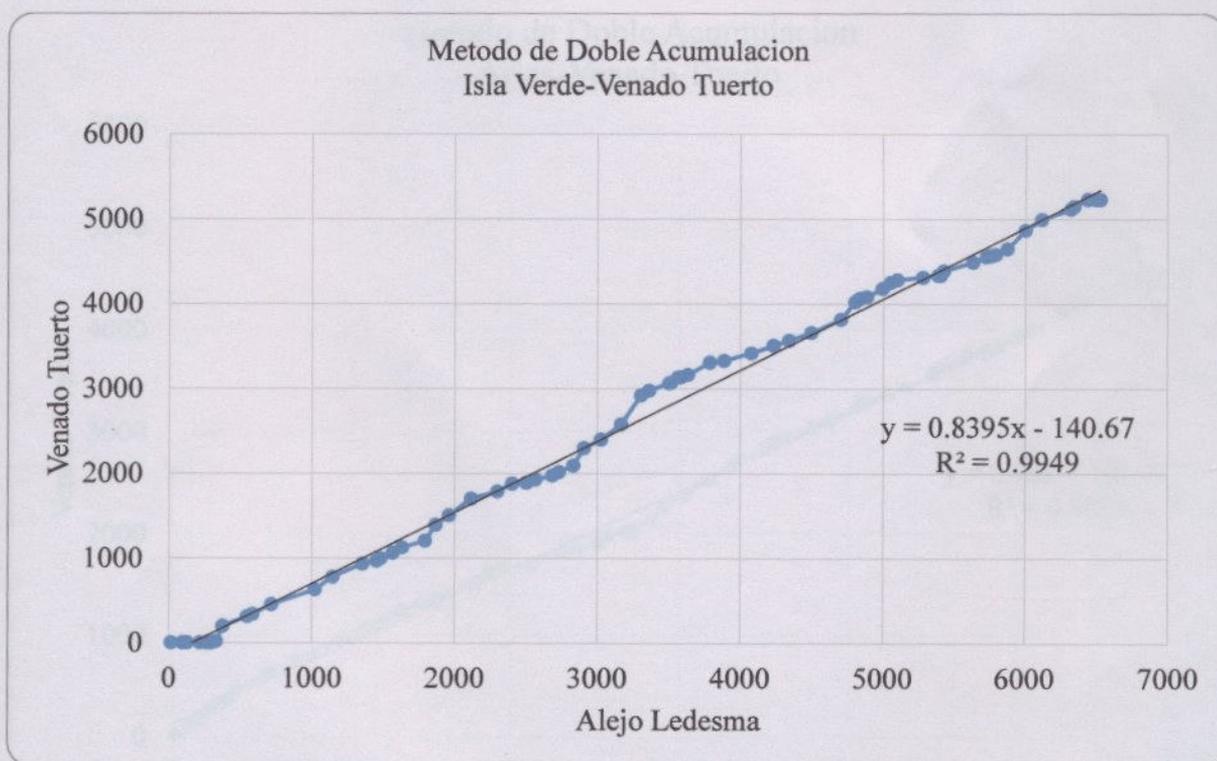
<P> 529



- Estación BCCBA Isla Verde - 94036.

AÑO	MES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2013	0	0	0	0	0	0	10	0	7	178	115	27	337
2014	116	175	150	157	31	29	3	0	63	62	81	185	1053
2015	112	199	87	91	11	1	36	47	42	74	208	101	1010
2016	179	340	58	88	8	57	4	1	29	146	21	89	1020
2017	87	61	92	155	210	24	13	18	99	72	31	33	895
2018	19	1	52	102	67	8	6	8	5	66	219	129	682
2019	122	30	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	235
Pm	91	115	75	85	47	17	10	11	35	85	96	80	5232

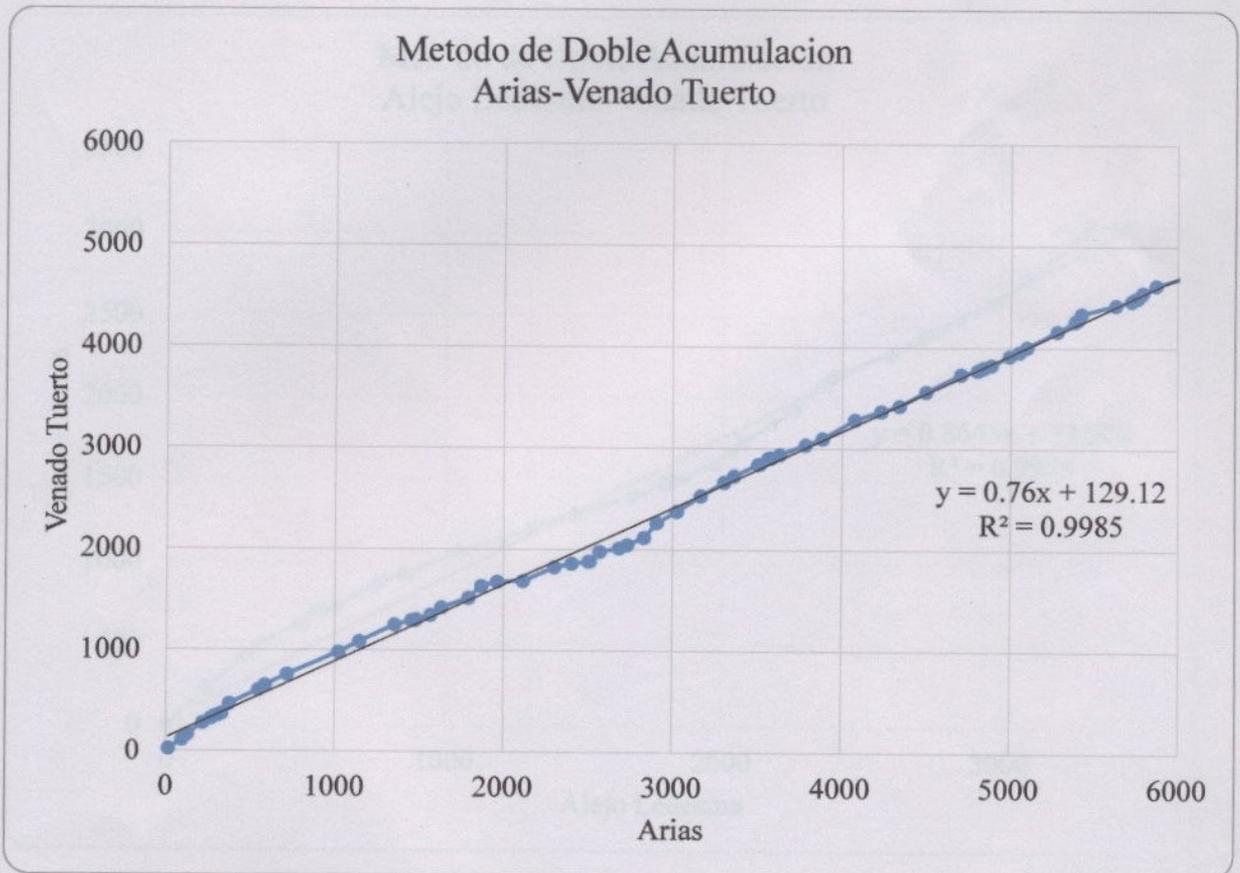
<P> 747



- Estación BCCBA Arias - 94052.

AÑO	MES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2013	21	90	51	114	46	25	10	0	12	99	137	48	653
2014	106	222	105	165	44	4	4	2	44	72	97	117	981
2015	45	4	138	37	19	1	98	34	34	71	149	111	742
2016	153	135	62	115	4	58	2	1	33	98	59	186	907
2017	88	52	140	172	40	14	16	24	91	38	51	154	878
2018	97	21	58	85	41	20	9	36	18	73	62	124	643
2019	194	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	244
Pm	101	82	79	98	28	17	20	14	33	64	79	106	5049

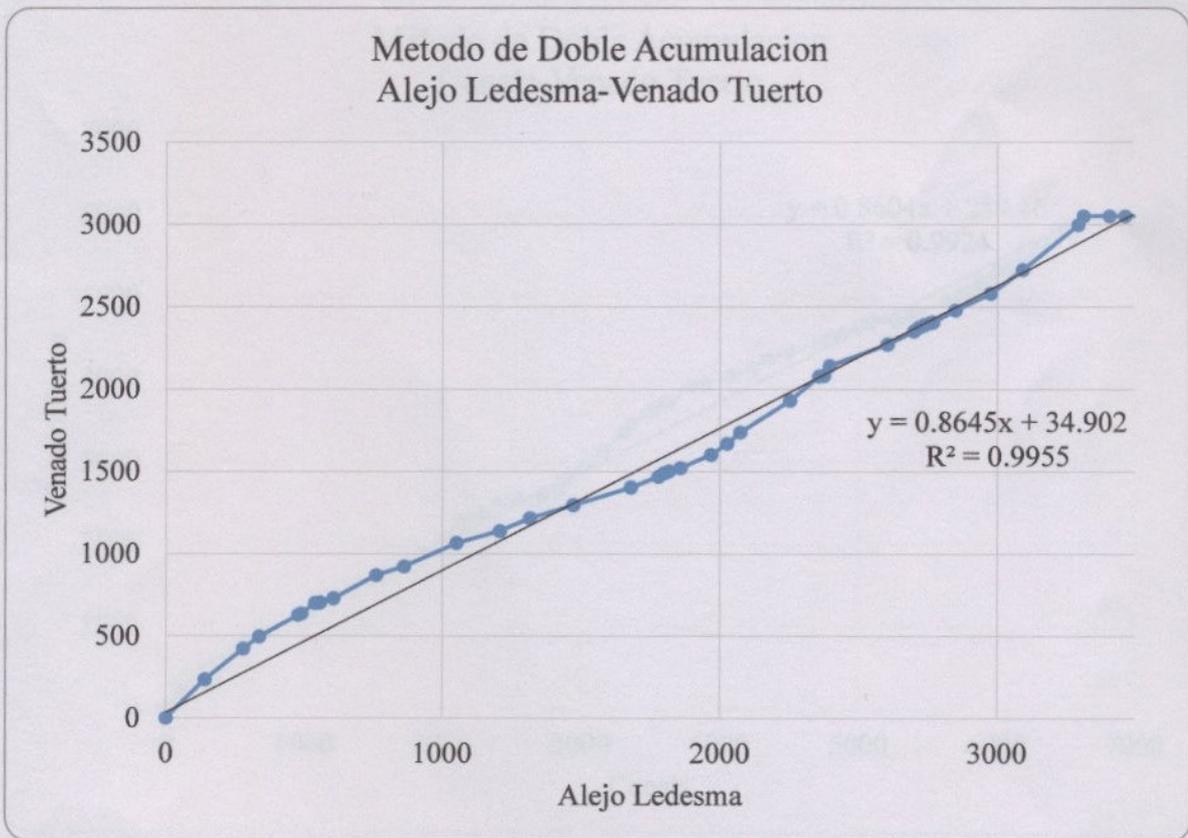
<P> 721



- Estación BCCBA Alejo Ledesma – 94073.

AÑO	MES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2013													0
2014													0
2015													0
2016	235	186	75	130	8	64	3	1	25	141	52	144	1065
2017	72	78	80	108	65	21	12	20	80	67	70	193	865
2018	147	3	61	130	81	23	14	13	3	72	103	144	795
2019	271	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	326
Pm	104	46	31	53	22	15	4	5	15	40	32	69	3051

<P> 436

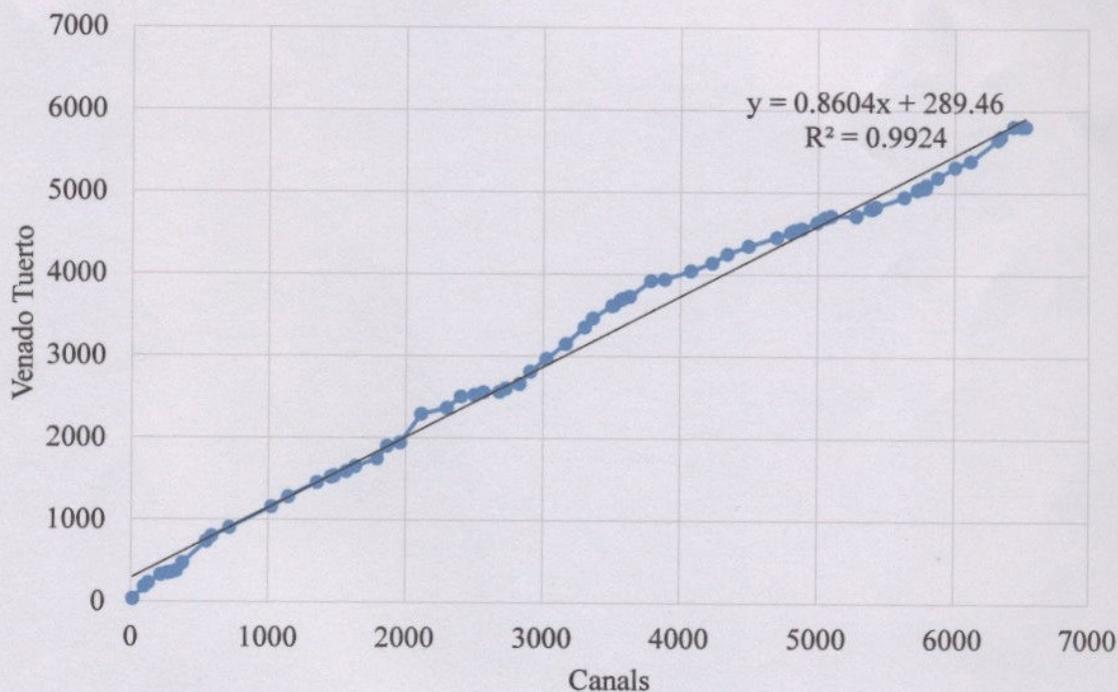


• Estación INTA Canals.

AÑO	MES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2013	30	149	49	98	20	4	17	0	6	99	260	71	803
2014	100	257	122	176	68	2	13	0	51	60	95	158	1102
2015	40	348	75	140	21	1	31	6	39	59	146	159	1065
2016	181	204	108	151	4	70	10	4	27	192	20	100	1071
2017	100	107	99	104	61	19	10	21	70	58	25	0	674
2018	89	0	23	119	84	18	3	6	35	95	125	74	670
2019	264	37	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	421
Pm	115	157	85	113	37	16	12	5	33	80	96	80	5806

<P> 829

Metodo de Doble Acumulacion
Canals-Venado Tuerto



• Estación SMN Venado Tuerto.

AÑO	MES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2013	14	82	31	90	50	22	24	2	14	45	173	39	586
2014	130	305	124	209	101	22	4	2	84	65	160	75	1281
2015	95	153	185	103	99	7	58	116	47	101	76	118	1157
2016	141	139	58	141	12	50	13	5	48	154	101	190	1052
2017	155	109	156	207	100	19	19	43	109	58	47	180	1200
2018	105	18	21	208	95	18	20	22	8	81	128	115	839
2019	205	21	97	58	33								413
Pm	121	118	96	145	70	20	20	27	44	72	98	102	6528

<P> 933

11.2. INFORMACION CLIMATOLOGICA.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura Media Mensual	30.7	29	26.8	22.7	18.9	15.1	15.1	17.6	20.3	23.4	27	29.8
Temperatura Minima Mensual	17.7	15.8	13.9	10.2	7.21	4.27	3.49	4.42	6.67	10.1	12.9	15.4
Desvio Standard de la Temperatura Maxima Mensual	1.61	1.68	1.6	1.49	1.62	1.41	1.64	1.71	1.44	1.7	1.61	4.15
Desvio Standard de la Temperatura Minima Mensual	1.17	1.23	1.41	1.25	1.48	1.53	1.72	1.28	1.13	1.13	1.35	1.35
Precipitacion media Mensual	109.89	107.14	123.92	97.04	50.96	20.2	16.13	21.1	43.56	98.78	102.41	120.06
Desvio Standard de la Precipitacion media Mensual	10.434	10.377	12.816	9.6012	6.6556	3.6299	2.9326	3.5855	5.7095	9.4071	9.7616	9.8776
Varianza la Precipitacion media Mensual	4.2737	4.0207	5.1832	4.4696	6.173	7.6283	9.3989	7.2195	6.4529	4.5455	4.7622	3.6107
Probabilidad de un día húmedo después de un día seco.	0.2029	0.2244	0.1869	0.1803	0.1036	0.07	0.072	0.0658	0.1267	0.2073	0.2245	0.2558
Probabilidad de un día húmedo después de un día húmedo.	0.3224	0.3239	0.4	0.4344	0.4247	0.2857	0.3548	0.4362	0.3618	0.4074	0.3259	0.3189
Promedio de días de precipitaciones en un mes	7.38	7.34	7.76	7.62	5.03	2.9	3.21	3.24	5.24	8.38	7.72	8.76
Precipitacion Maxima de 0,5 H en todo el período mensual	34.47	27.33	45.5	27	27	14.77	16.33	13.33	22.33	28.33	35.83	26.2
Promedio de radiacion solar diaria mensual	23.38	21.58	17.99	12.59	8.99	7.19	7.19	10.79	14.39	17.99	21.58	23.38
Temperatura promedio diaria del punto de rocío	0.501	0.561	0.658	0.723	0.581	0.55	0.466	0.448	0.418	0.596	0.473	0.355
Velocidad media del viento	3.22	3.22	3.25	3.3	3.2	3.34	3.61	4	4.11	4.03	4.17	3.81

11.3. INFORMACION DE SUELOS.

Nombre de la Variable	Definición	Valor
Parámetros de componentes del suelo		
SNAM	Nombre del suelo	AF1-1016
NLAYERS	Numero de capas en el suelo. MIN 0 - MAX 10.	3
HYDGRP	Grupo hidrológico del suelo	B
SOL_ZMX	Profundidad máxima de enrutamiento del perfil del suelo. MIN 0 - MAX 3500. (mm)	180
ANION_EXCL	Fracción de porosidad de la que se excluyen los aniones. MIN 0.01 - MAX 1 (Fracción)	0.5
Parámetros de la capa de suelo		
SOL_Z_1	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín 0 - Máx 3500. (mm).	180
SOL_BD_1	Densidad aparente húmeda. Mín 0.9 - Máx 2.5. (g/cm ³).	1.52
SOL_AWC_1	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín 0 - Máx 1. (mm/mm).	0.08
SOL_CBN_1	Contenido de carbono orgánico. Mín 0.05 - Máx 10. (%wt).	0.93
SOL_K_1	Conductividad hidráulica saturada. Mín 0 - Máx 2000. (mm/h).	58.1
CLAY_1	Contenido de arcilla. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	9
SILT_1	Contenido de limo. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	17.2
SAND_1	Contenido de arena. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	73.8
ROCK_1	Contenido de fragmento de roca. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	0
SOL_ALB_1	Albedo de suelo húmedo. Mín 0 - Máx 0.25. (Fracción).	0.09
USLE_K_1	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín 0 - Máx 0.65.	0.68
SOIL_EC_1	Conductividad eléctrica. Mín 0 - Máx 100: (dS/m).	0
SOL_Z_2	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín 0 - Máx 3500. (mm).	430
SOL_BD_2	Densidad aparente húmeda. Mín 0.9 - Máx 2.5. (g/cm ³).	1.55
SOL_AWC_2	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín 0 - Máx 1. (mm/mm).	0.07
SOL_CBN_2	Contenido de carbono orgánico. Mín 0.05 - Máx 10. (%wt).	0.59
SOL_K_2	Conductividad hidráulica saturada. Mín 0 - Máx 2000. (mm/h).	71.32
CLAY_2	Contenido de arcilla. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	7.3
SILT_2	Contenido de limo. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	15
SAND_2	Contenido de arena. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	77.7
ROCK_2	Contenido de fragmento de roca. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	0
SOL_ALB_2	Albedo de suelo húmedo. Mín 0 - Máx 0.25. (Fracción).	0
USLE_K_2	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín 0 - Máx 0.65.	0
SOIL_EC_2	Conductividad eléctrica. Mín 0 - Máx 100: (dS/m).	0

SOL_Z_3	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín 0 - Máx 3500. (mm).	1000
SOL_BD_3	Densidad aparente húmeda. Mín 0.9 - Máx 2.5. (g/cm ³).	1.58
SOL_AWC_3	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín 0 - Máx 1. (mm/mm).	0.06
SOL_CBN_3	Contenido de carbono orgánico. Mín 0.05 - Máx 10. (%wt).	0.2
SOL_K_3	Conductividad hidráulica saturada. Mín 0 - Máx 2000. (mm/h).	73.01
CLAY_3	Contenido de arcilla. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	6.9
SILT_3	Contenido de limo. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	13
SAND_3	Contenido de arena. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	80.1
ROCK_3	Contenido de fragmento de roca. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	0
SOL_ALB_3	Albedo de suelo húmedo. Mín 0 - Máx 0.25. (Fracción).	0
USLE_K_3	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín 0 - Máx 0.65.	0
SOIL_EC_3	Conductividad eléctrica. Mín 0 - Máx 100: (dS/m).	0
Nombre de la Variable	Definición	Valor
Parámetros de componentes del suelo		
SNAM	Nombre del suelo	Afl1-2-3a-4446
NLAYERS	Numero de capas en el suelo. MIN 0 - MAX 10.	3
HYDGRP	Grupo hidrológico del suelo	B
SOL_ZMX	Profundidad máxima de enrutamiento del perfil del suelo. MIN 0 - MAX 3500. (mm)	150
ANION_EXCL	Fracción de porosidad de la que se excluyen los aniones. MIN 0.01 - MAX 1 (Fracción)	0.5
Parámetros de la capa de suelo		
SOL_Z_1	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín 0 - Máx 3500. (mm).	220
SOL_BD_1	Densidad aparente húmeda. Mín 0.9 - Máx 2.5. (g/cm ³).	1.4
SOL_AWC_1	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín 0 - Máx 1. (mm/mm).	0.16
SOL_CBN_1	Contenido de carbono orgánico. Mín 0.05 - Máx 10. (%wt).	1.6
SOL_K_1	Conductividad hidráulica saturada. Mín 0 - Máx 2000. (mm/h).	35.61
CLAY_1	Contenido de arcilla. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	10.1
SILT_1	Contenido de limo. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	48.5
SAND_1	Contenido de arena. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	41.4
ROCK_1	Contenido de fragmento de roca. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	0
SOL_ALB_1	Albedo de suelo húmedo. Mín 0 - Máx 0.25. (Fracción).	0.09
USLE_K_1	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín 0 - Máx 0.65.	0.64

SOIL_EC_1	Conductividad eléctrica. Mín 0 - Máx 100: (dS/m).	0
SOL_Z_2	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín 0 - Máx 3500. (mm).	460
SOL_BD_2	Densidad aparente húmeda. Mín 0.9 - Máx 2.5. (g/cm ³).	1.64
SOL_AWC_2	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín 0 - Máx 1. (mm/mm).	0.14
SOL_CBN_2	Contenido de carbono orgánico. Mín 0.05 - Máx 10. (%wt).	0
SOL_K_2	Conductividad hidráulica saturada. Mín 0 - Máx 2000. (mm/h).	13.84
CLAY_2	Contenido de arcilla. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	12.5
SILT_2	Contenido de limo. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	49.5
SAND_2	Contenido de arena. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	38
ROCK_2	Contenido de fragmento de roca. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	0
SOL_ALB_2	Albedo de suelo húmedo. Mín 0 - Máx 0.25. (Fracción).	0
USLE_K_2	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín 0 - Máx 0.65.	0
SOIL_EC_2	Conductividad eléctrica. Mín 0 - Máx 100: (dS/m).	0
SOL_Z_3	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa. Mín 0 - Máx 3500. (mm).	1200
SOL_BD_3	Densidad aparente húmeda. Mín 0.9 - Máx 2.5. (g/cm ³).	1.65
SOL_AWC_3	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo. Mín 0 - Máx 1. (mm/mm).	0.14
SOL_CBN_3	Contenido de carbono orgánico. Mín 0.05 - Máx 10. (%wt).	0
SOL_K_3	Conductividad hidráulica saturada. Mín 0 - Máx 2000. (mm/h).	18.2
CLAY_3	Contenido de arcilla. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	10.3
SILT_3	Contenido de limo. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	48.3
SAND_3	Contenido de arena. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	41.4
ROCK_3	Contenido de fragmento de roca. Mín 0 - Máx 100. (%wt).	0
SOL_ALB_3	Albedo de suelo húmedo. Mín 0 - Máx 0.25. (Fracción).	0
USLE_K_3	Ecuación USLE erosionabilidad del suelo. Factor (k). Mín 0 - Máx 0.65.	0
SOIL_EC_3	Conductividad eléctrica. Mín 0 - Máx 100: (dS/m).	0