



FCA
Facultad de Ciencias
Agropecuarias



FACULTAD
DE CIENCIAS
ECONÓMICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Facultad de Ciencias Económicas

Escuela para Graduados FCA UNC

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Para optar al Grado Académico de
Especialista en Gestión de Cuencas Hidrográficas

**Diagnóstico y propuesta de manejo para el
ordenamiento de los escurrimientos hídricos y el ascenso
de napas de la “Cuenca Brugnaro”**

Pablo Adulve Bollatti

Directora: Dra. Ing. Agr. Susana Hang

Córdoba, 2021



FCA
Facultad de Ciencias
Agropecuarias



FACULTAD
DE CIENCIAS
ECONÓMICAS

Diagnóstico y propuesta de manejo para el ordenamiento de los escurrimientos hídricos y el ascenso de napas de la “Cuenca Brugnaro”

Pablo Adulve Bollatti

Directora: Dra. Ing. Agr. Susana Hang

Aprobada en estilo y contenido por la Comisión Académica de la EGCH

Tribunal Examinador de TFI

- Miembro del Tribunal Evaluador
- Miembro del Tribunal Evaluador
- Miembro del Tribunal Evaluador

Presentación formal académica: Fecha (Córdoba,de 2021)

La Especialización en Gestión de Cuencas Hidrográficas es una instancia de capacitación integral para atender la problemática que urge en las cuencas hidrográficas, principalmente en los ambientes modificados e intervenidos por el hombre. Este programa de posgrado y formación conjunta surgió del trabajo integrado entre las Facultades de Ciencias Agropecuarias, Ciencias Exactas Físicas y Naturales y de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba, y cuenta con el apoyo del Gobierno de la Provincia de Córdoba a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Servicios Públicos y Ministerio de Obras Públicas, a través del Convenio Marco de Cooperación Académica (RD N° 447/2021) y sus respectivos Convenios Específicos (RD N° 475/2021, 465/2021 y 474/2021).

La Especialización en Gestión de Cuencas Hidrográficas fue acreditada por CONEAU con Res. 517/19 y Res. Ministerio de Educación de la Nación (ME) 938/2020

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, el agradecimiento es para mi familia, por aguantarme en mis ausencias y el recibimiento de cada día.

En segundo lugar, agradezco a la comisión directiva del Consorcio Canalero Marcos Juárez General Roca y al GRUPO NAPAS por haber confiado en mi persona para realizar esta capacitación.

A la Universidad de Córdoba porque a través de su programa de posgrado me ha dado la posibilidad de realizar la Especialidad en Gestión de Cuencas Hidrográficas de manera virtual, que de haber sido de otro modo me hubiese sido mucho más difícil incorporarme.

A INTA Marcos Juárez que me brindó las condiciones de trabajo para desarrollarme y a todos los colegas que con su trabajo generaron las bases de datos climáticos que me han contado parte de la historia de esta región.

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería de la provincia de Córdoba y al Ministerio de servicios públicos de la provincia de Córdoba conjuntamente con APRHI por darme la oportunidad de perfeccionar mi formación.

Por último y por ser el más fundamental, agradezco a la Dr. Ing. Agr. Susana Hang por el constante apoyo coordinación y dirección de mi trabajo final.

DEDICATORIA

A todos aquellos que ética y moralmente producen de manera responsable y sustentable bienes y servicios para el sector agroalimentario argentino. En sus manos está el futuro de nuestro país.

A los actores políticos actuales y a los que vendrán les pido que consulten a los equipos técnicos interdisciplinarios que existen en nuestro país antes de tomar decisiones sobre cualquier eslabón de la cadena agroalimentaria. Una mala decisión actual impacta en la sustentabilidad de los sistemas por varios años o incluso décadas.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de muchos años de trabajo, que incluyen relevamiento de información y generación de datos y productos, y complementado con los conocimientos adquiridos en los sucesivos cursos de la Especialización en Gestión de Cuencas Hidrográficas. El área en estudio comprende la cuenca denominada "Brugnaró", de unas 1530 Ha, la cual representa, con mucha claridad y justeza lo que ha ocurrido en los últimos 25 años en la región sureste de la provincia de Córdoba. Las características históricas de región subhúmeda se han modificado debido a los cambios en el uso de suelo, principalmente por el incremento de cultivos anuales en detrimento de los cultivos perennes. Este cambio impactó en la profundidad de la nada freática, y es posible monitorear la situación a través del seguimiento de la profundidad de la napa freática. En base a la información reunida se describió la problemática que recurrentemente año tras año impacta en la región, con anegamientos, deterioro de caminos, y deterioro de las capacidades productivas de esta cuenca. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue estudiar integralmente la cuenca Brugnaró y proponer una gestión de manejo que aporte una solución superadora a través del ordenamiento de los escurrimientos hídricos. Del diagnóstico elaborado en base a las evidencias que se disponen, se elaboró la propuesta de gestión que excede a aspectos estrictamente técnicos. Esta propuesta para ser válida requiere de la adhesión y compromiso de todos los involucrados. Se propone un accionar en tres ejes que fueron denominados Pilar Verde, Pilar Azul y Pilar Gris. Entre las acciones propuestas se plantea la necesidad de recuperar más superficie transpirante a través de la implantación de cultivos de servicio, la oportunidad de obras de sistematización y de construcción de canales para salvar los problemas que un cultivo no resuelve, y finalmente la importancia del monitoreo constante que permita identificar paso a paso y con diligencia, cual es la urgencia de corto plazo con una mirada de medio y largo plazo.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, Manejo agronómico, Regulación de escurrimientos hídricos.

TABLA DE CONTENIDOS

Sección	Pag.
1. INTRODUCCION	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
Resultados Esperados	13
2. AREA DE TRABAJO	14
3. CARACTERIZACION DE LA CUENCA BRUGNARO	18
3.1. Delimitación de la cuenca Brugnaro y subcuencas	18
3.2. Caminos y vías de comunicación	19
3.3. Predios integrantes	20
3.4. Relieve	21
3.5. Hidrología	23
3.6. Suelos	29
3.7. Uso del suelo	33
4. DIAGNOSTICODE LA CUENCA BRUGNARO	36
5. PROPUESTADE GESTION DE LA CUENCA BRUGNARO	48
6. CONSIDERACIONES FINALES	60
7. BIBLIOGRAFÍA	63
8. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA GENERADO	64

Lista de Tablas

Nº	Título	Pag.
Tabla 1	Cuadro resumen de aspectos biofísicos, económicos, productivos, sociales y legales que caracterizan a la cuenca Brugnaro	7
Tabla 2	Predios integrantes de la cuenca Brugnaro con su identificación catastral	20
Tabla 3	Distribución estacional de las precipitaciones del área que contiene a la cuenca Brugnaro	25
Tabla 4	Datos climáticos básicos de la serie Marcos Juárez	28
Tabla 5	Datos analíticos de los suelos de la Serie Marcos Juárez	31
Tabla 6	Estado de ocupación del suelo con cultivos invernales para el periodo 2017- 2020 en la cuenca Brugnaro	35
Tabla 7	Salida del modelo hidrológico HEC-RAS en base a ingreso de información de condiciones actuales	45
Tabla 8	Salida del modelo hidrológico HEC-RAS en base a ingreso de información considerando la presencia de terrazas en la cuenca Brugnaro.	46
Tabla 9	Análisis basado en evidencias de conocimientos empíricos de como diferentes rotaciones de cultivos afectan el consumo de agua	59

Lista de Figuras

N°	Leyenda	Pag.
Fig. 1	Cuenca Brugnaro, departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba	15
Fig. 2	Detalle área en estudio cuenca Brugnaro y vías de comunicación principales. Imagen base: diciembre 2020	16
Fig. 3	Mapa de la cuenca Brugnaro y sus 3 subcuencas constituyentes	18
Fig. 4	Red vial primaria correspondiente a la cuenca Brugnaro y principales líneas de escurrimiento	19
Fig. 5	Ubicación de los predios según su número catastral de la cuenca Brugnaro e identificación de las tres subcuencas (Sbc A, B, C)	21
Fig. 6	Modelo digital de elevación de la cuenca Brugnaro	22
Fig. 7	Perfil longitudinal de la cuenca Brugnaro	22
Fig. 8	Profundidad de napa histórica en la estación agrometeorológica de la EEA INTA Marcos Juárez entre 1970-2020	23
Fig. 9	Estación meteorológica de la EEA INTA Marcos Juárez de donde se obtienen los registros de ascenso freático usados en este trabajo	24
Fig. 10	Registro de precipitaciones totales anuales periodo 1948-2015	26
Fig. 11	Frecuencia de lluvias totales anuales (1960-2015)	26
Fig. 12	Suelos descriptos en la cuenca Brugnaro. Serie Marcos Juárez (MJ) y sus fases MJ1 y MJ3.	32
Fig. 13	Imagen de Sentinel 2 TOA con índice NDVI del invierno 2019 (Verde Oscuro = Trigo, Verde Claro = Avena de cobertura y Amarillo = Sin cultivo).	34
Fig. 14	Profundidad de napa en INTA Marcos Juárez	38
Fig. 15	Registro de precipitaciones totales anuales periodo 1948-2015	40
Fig. 16	Registro de días con lluvia anual para el periodo 1960-2015	40
Fig. 17	Evolución del NF en función al Balance Hídrico Histórico Estimado	41
Fig. 18	Regresión entre la variación de la napa y el balance hídrico anual	42
Fig. 19	Participación de los cultivos anuales y perennes en el departamento Marcos Juárez dentro de la cual se encuentra la cuenca Brugnaro.	43
Fig. 20	Balance hídrico anual de la cuenca Brugnaro	44
Fig. 21	Diseño del plano del modelo en HEC-RAS. SBC A, SBC B; SBC C: sub cuencas	45
Fig. 22	Hidrograma de salida del escenario actual	46
Fig. 23	Hidrograma de salida del escenario con terrazas	47
Fig. 24	Pilares claves para mitigar los problemas hídricos de la cuenca Brugnaro. Pilar Verde: Ajuste de la rotación según	49

	oferta hídrica. Pilar Azul: Obras hídricas. Pilar Gris: Prácticas agronómicas	
Fig. 25	Tasa de descenso freático en función del uso del suelo: Barbecho y cultivo de trigo	53
Fig. 26	Ejemplo de cambios en la condición de una cuenca anegada (2015) y el impacto de la construcción de un canal para reducir el anegamiento (2017)	56
Fig. 27	Esquema del efecto distancia al canal sobre la profundidad de napa	56
Fig. 28	Consumo hídrico anual de las rotaciones agropecuarias para la cuenca Brugnaro en las condiciones de uso actual	59
Fig. 29	Representación esquemática del efecto del cultivo sobre la regulación del nivel freático	60

Lista de Fotografías

Nº	Título	Pag.
Fotografía 1	Cárcava de la subcuenca B de la cuenca Brugnaro (10/11/2021)	12
Fotografía 2	Cárcava de la subcuenca B de la cuenca Brugnaro (enero 2021)	13
Fotografía 3	Freatímetro N° 1 ubicado en la subcuenca C de la cuenca Brugnaro	24
Fotografía 4	Vista aérea de situación de anegamiento temporal (4 de enero de 2016)	36
Fotografía 5	Evaluación a campo de condiciones de compactación	37
Fotografía 6	Freatímetro N° 2 ubicado en la cuenca Brugnaro	39
Fotografía 7	Cultivo de cobertura de avena año 2019 en el área de estudio	51
Fotografía 8	Cultivo de cobertura de centeno año 2021 en el área de estudio	52
Fotografía 9	Siembra (superior) y emergencia (inferior) de soja de primera sobre cultivo de servicio de centeno (2021)	54
Fotografía 10	Niveladora trabajando en la construcción de terrazas de base ancha en la cuenca Brugnaro	55
Fotografía 11	Canal para lograr mitigar el impacto de los excedentes hídricos sobre los caminos de la cuenca Garione (Consortio Canalero Marcos Juárez Gral. Roca)	57
Fotografía 12	Intercambiando conocimientos, opiniones y aprendiendo entre todos	58
Fotografía 13	Reunión entre técnicos y productores para analizar los trabajos de terraceo en la cuenca Brugnaro, subcuenca C	62

Diagnóstico y propuesta de manejo para el ordenamiento de los escurrimientos hídricos y el ascenso de napas de la “Cuenca Brugnaro”

1. INTRODUCCIÓN

Los grandes sistemas hidrológicos del sudeste de la provincia de Córdoba se caracterizan por ser una planicie ondulada con un sistema de drenaje superficial pobre y materiales franco-limosos finos.

La circulación del agua dentro de las cuencas más precisamente de las lomas a los bajos suele ser fluida debido a la extracción de alambrados, reducción del componente de infiltración ya sea por compactación de maquinaria o por baja proporción de gramíneas invernales. Los problemas que se manifiestan con cierta recurrencia son anegamientos permanentes que generan la pérdida parcial del cultivo, intransitabilidad de caminos por cortes permanentes y en algunos sectores con mayor pendiente se manifiestan signos de erosión hídrica.

El conocimiento del régimen pluviométrico es uno de los elementos imprescindibles para aprovechar la aptitud agropecuaria de una región. La Estación Experimental de INTA Marcos Juárez dispone de registros pluviométricos diarios continuos desde 1908 a la fecha. El régimen pluviométrico en el periodo 1948-1977 permitió identificar la importancia de las precipitaciones como único recurso hídrico disponible y a la vez determinante para la producción agropecuaria en el sudeste cordobés. Actualmente y en función de los excesos hídricos registrados en la zona durante 2014 y 2015, es

imprescindible sumar el aporte que hace la napa freática como segunda oportunidad de aprovechamiento del agua de lluvias que fueron almacenadas en el suelo durante los años de balance hídrico positivo, que como consecuencia elevaron el nivel freático de la zona (Jobbagy y Noretto, 2009; Bollatti, 2018).

En un trabajo reciente realizado por Andreucci et al. (2016) actualizaron la información del régimen de lluvias anexando la evolución freática de Marcos Juárez de los últimos 67 años (1948-2015) a fin de analizar los posibles ciclos hídricos de la región y así establecer un marco de referencia del estado de situación hídrica de la región y sus posibles causas y repercusiones en la producción agropecuaria. Los autores destacan que los cambios de balance hidrológico actualmente observados no pueden ser atribuidos a cambios históricos en las precipitaciones de los años analizados, mientras que sí el uso del suelo sería un factor determinante del ascenso del nivel freático que ha experimentado un ascenso paulatino desde 1970 hasta 2015 explicado al menos parcialmente por el “ahorro” de agua asociado al tipo de vegetación evapotranspirante a lo largo del año.



Fotografía 1. Cárcava de la subcuenca B de la cuenca Brugnaro (10/11/2021)



Fotografía 2. Cárcava de la subcuenca B de la cuenca Brugnaro (enero 2021)

Esta situación es verificable en los últimos años con importantes pérdidas de superficie por anegamientos, daños ambientales, económicos y sociales dado que genera conflictos entre los productores vecino (Fotografías 1 y 2).

La insostenibilidad de la situación requiere de soluciones integrales y de abordaje general por todos los organismos involucrados. La propuesta de complementar o reemplazar las prácticas de conducción de agua en superficie cuando el problema ya está instalado a través de obras llamado “pilar azul”, es recurrir a la ayuda de los cultivos en pie o “pilar verde”, que creciendo y transpirando extraen agua como estrategia para reducir el superávit de agua en el perfil.

A continuación, se analizan los aspectos mencionados en la cuenca Brugnaro, sus características generales, la situación que la deteriora y los elementos que contribuyen a tal situación y se realiza una propuesta de gestión integral fuertemente apoyada en

estrategias ambientalmente saludables y “verdes” que permitan revertir los problemas asociados a los excedentes hídricos y anegamientos.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo general propuesto fue estudiar integralmente la cuenca Brugnaro y proponer una gestión de manejo que aporte una solución superadora a través del ordenamiento de los escurrimientos hídricos.

Objetivos Específicos

- Analizar las características generales de la cuenca Brugnaro.
- Identificar, zonificar y diagnosticar ambientes de la cuenca Brugnaro a fin de adecuar la propuesta de gestión según particularidades.
- Desarrollar una propuesta de remediación que permita reducir los escurrimientos hídricos de la cuenca Brugnaro.

Resultados Esperados

Se espera que el plan de manejo de la cuenca Brugnaro presentado en este trabajo beneficie a todos los productores de la cuenca, fortalezca su comportamiento colaborador y solidario, proteja los recursos naturales e infraestructura, y también si fuera pertinente, pueda servir de base para decisiones futuras en ambientes que presenten características y problemáticas similares a las descritas en esta cuenca.

2. ÁREA DE TRABAJO

El área en estudio corresponde la cuenca denominada “Brugnaró”, ubicada a unos 8 kilómetros al sur de la ciudad de Marcos Juárez, departamento Marcos Juárez, pedanía Espinillos de la provincia de Córdoba. Esta cuenca limita hacia el oeste con la ruta provincial n°12 (RPN°12), hacia el sur con el camino denominado “Brugnaró”, hacia el oeste y el norte la divisoria de aguas separa a la cuenca Brugnaró de las cuencas denominadas “Miotti” y “Quirno” (Figura).

Pertenece al sistema hidrológico Carcarañá dentro de la Región Natural Pampa Ondulada. El régimen de precipitaciones en la región alcanza los 910 mm anuales y la temperatura media es de 16.9°C. El relieve del terreno es muy plano, con líneas de escurrimiento marcadas que se interconectan por los caminos erosionados. Los suelos predominantes son Argiudoles típicos con drenaje imperfecto y una altitud media de 110 m s.n.m.

La cuenca Brugnaró abarca una superficie total de 1527 hectáreas y está integrada por 3 sub cuencas asociadas a las líneas de escurrimientos principales con dirección noreste- sudoeste que escurren a través de las obras menores existentes en el camino Brugnaró.

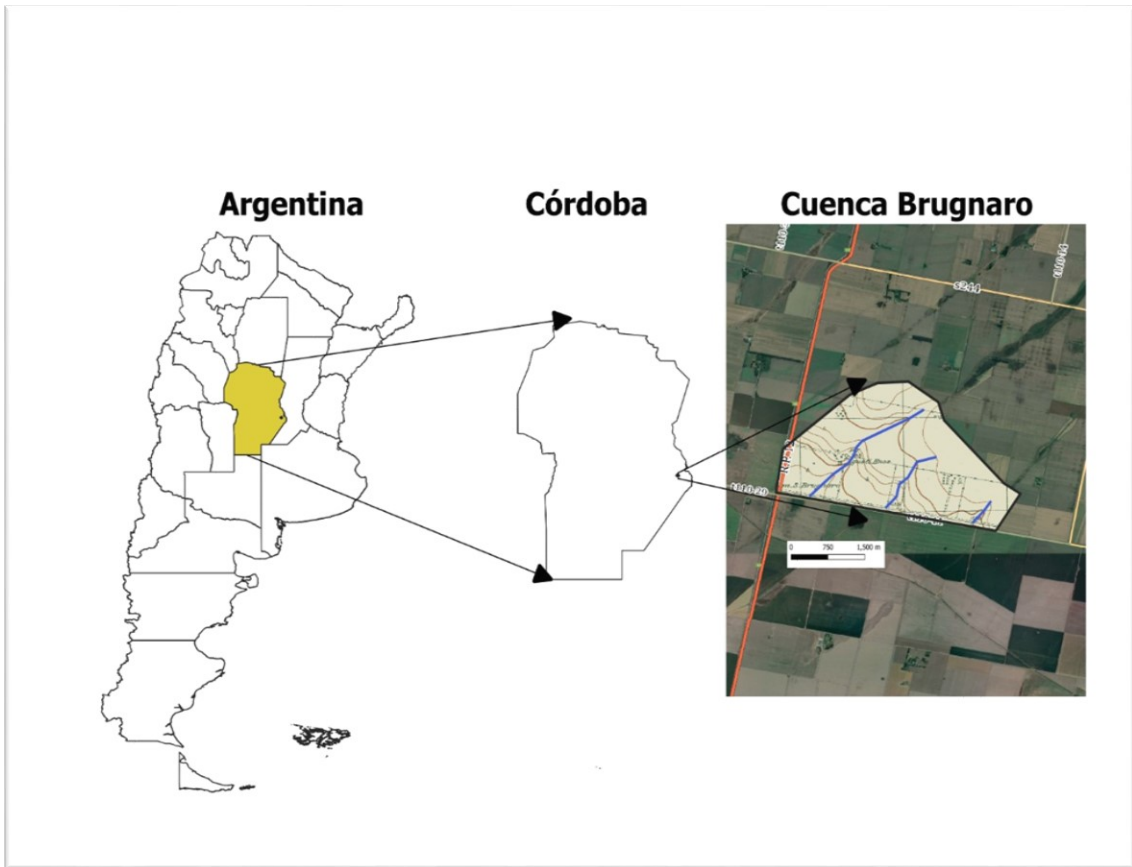


Figura 1. Cuenca Brugnaro, departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba.



Figura 2. Detalle área en estudio cuenca Brugnaro y vías de comunicación principales. Imagen base: Diciembre 2020.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis de los atributos de la cuenca Brugnaro, si bien a continuación se realizará una descripción exhaustiva de sus características. Entre estos atributos que se mencionan comprenden aspectos biofísicos, económicos, productivos, sociales y legales,

Tabla 1: Cuadro resumen de aspectos biofísicos, económicos, productivos, sociales y legales que caracterizan a la cuenca Brugnaro.

Biofísico	Productivo	Económico	Social	Legal Normativo	Técnico-Científico
<p>Clima: Húmedo 910mm anuales.</p> <p>Temperatura media: 16.9°C.</p> <p>La vegetación predomina en un 95% de la superficie como herbácea.</p> <p>Relieve muy plano, con líneas de escurrimiento que se interconectan por los caminos desgastados.</p> <p>Altitud: 110msnm.</p> <p>Suelos Argiudoles típicos con drenaje imperfecto.</p>	<p>Principalmente se produce Maíz, Soja, Trigo, Cerdos, bovinos y huevos.</p> <p>Actividad metalúrgica muy importante.</p>	<p>Producción agropecuaria Mano de Obra propia y contratada. No se consigue mano de obra, hay una gran demanda para manejar maquinaria agrícola y camiones.</p> <p>Se procesa un 5% de la producción en plantas aceiteras, el resto se va a puerto.</p> <p>El capital tierra y maquinaria es altísimo.</p>	<p>Productores agropecuarios, sus familias y empleados.</p> <p>La tenencia de la tierra está bajo la modalidad de alquiler en más del 60% de la superficie. Plazos de alquiler muy cortos de 1 a 2 años.</p>	<p>Ley 9.164 Productos químicos o Biológicos de uso agropecuario.</p> <p>Ley 27.279: Gestión de Envases Vacíos de Fitosanitarios.</p> <p>Ley 10.208 Política Ambiental Provincial.</p> <p>Ley 10.467 Plan Provincial Agroforestal.</p> <p>Ley 8.936 de Conservación de Suelos.</p> <p>Ley 5.589 Código de Aguas de la Pcia. de Cba.</p> <p>Ley 10.663 de Buenas Prácticas Agropecuarias</p>	<p>Las instituciones INTA Marcos Juárez, Chacra AAPRESID Los Surgentes-Inrville hacen que continuamente se genere información de la región.</p>

3. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA BRUGNARO

3.1. Delimitación de la cuenca Brugnaró y subcuencas

Para realizar esta delimitación, se digitalizó la carta IGM, actualmente identificado como IGN, utilizando el software de libre acceso Quantum Gis se creó una capa *shape* de polígonos delimitando la cuenca de aporte al camino Brugnaró. En el mismo proceso se creó otra capa de líneas para demarcar las vías de escurrimiento. Se delimitaron 3 subcuencas a las que se denominaron A, B y C designadas de Oeste hacia Este como se muestra en la Fig. 3.

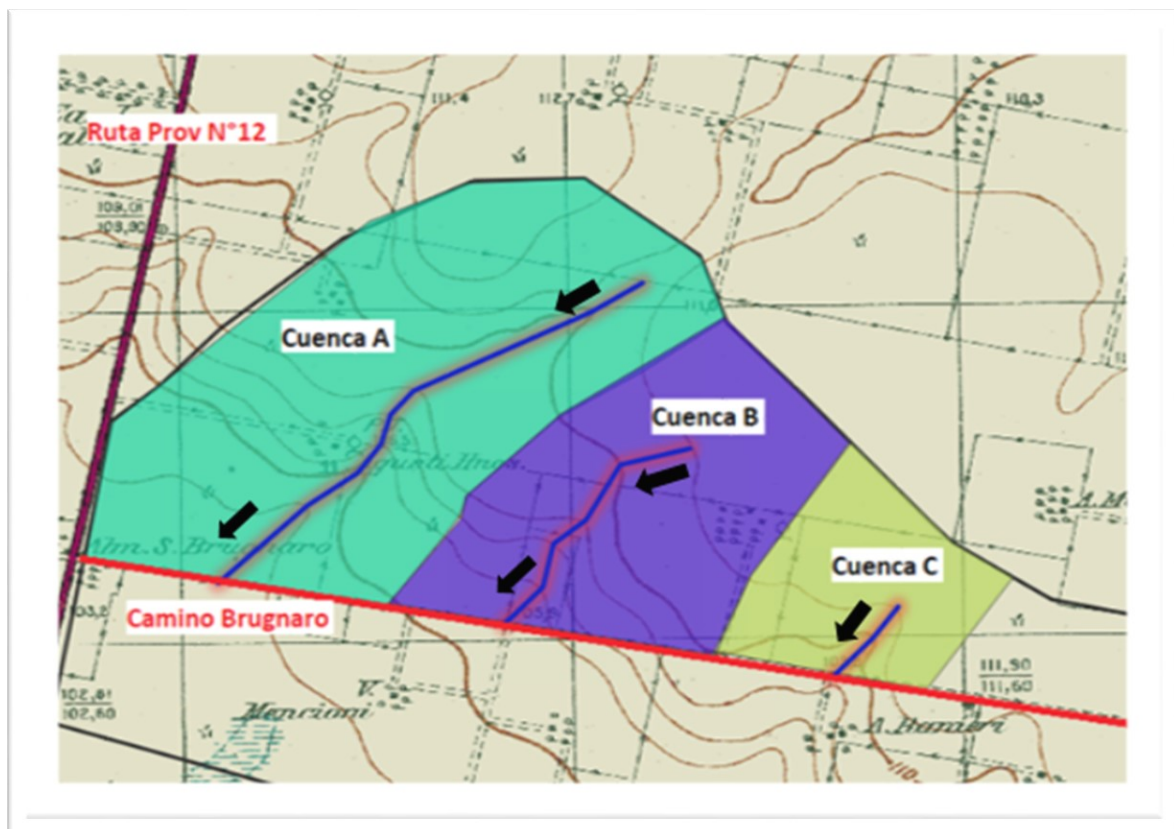


Figura 3. Mapa de la Cuenca Brugnaró y sus 3 subcuencas constituyentes

3.2. Caminos y vías de comunicación

En la siguiente imagen (Figura) se observan las capas de la red vial primaria, representada por la Ruta Provincial N°12 limitando con la cuenca del lado oeste de la misma y la red terciaria con el camino publico rural N°11 del Consorcio Caminero N°110 perteneciente a la regional 19, limitando con la cuenca del lado sur de la misma. Este camino rural es el “Camino de Brugnaró” llamado así por un antiguo boliche que funcionaba años atrás en la intersección de este camino con la Ruta N°12. Respecto al estado de conservación del camino es variable y depende netamente de los aportes de precipitaciones del año. En años o momentos de lluvia se ve afectado por cortes de su traza por anegamientos. Este camino está inscripto para ser mejorado y arenado mediante el Fondo de Desarrollo Agropecuario.

En la Figura se muestran la red vial Ruta provincial 12 y el camino Brugnaró y también pueden observarse las principales líneas de escurrimiento.



Figura 4. Red vial primaria correspondiente a la cuenca Brugnaró y principales líneas de escurrimiento

3.3. Predios integrantes

Mediante la web del visualizador catastral de IDECOR (<https://gn-idecor.mapascordoba.gob.ar/maps/15/view>), se identificaron los predios con su número de cuenta y superficie (Tabla 2, Fig. 5). La superficie promedio de los cedulones es de 85 has. El 31,7% del área está comprendido por predios de dimensiones inferiores a 85 hectáreas. Respecto a la tenencia de la tierra, esta cuenca esta explotada en su mayoría (80%) por sus propietarios, siendo este un valor muy disímil a la media de la zona que ronda el 40% en manos de propios dueños y cerca del 60% en condición de alquiler.

Tabla 2. Predios integrantes de la cuenca Brugnaro con su identificación catastral

N° de cuenta (*)	Superficie (ha)		
	Cuenca A	Cuenca B	Cuenca C
190208129728	90		
190216842824	80		
190241553292	56		
190222783287	136		
190241553284	80		
190203945454	125		
190241406699	104		
<hr/>			
190216842816		40	
190200893381		100	
190204569014		112	
190204567666		56	
<hr/>			
190204568981			40
190221710707			100
190221710685			112
190204567666			56

(*) Número de cuenta catastral para la identificación de los predios ante el registro provincial.

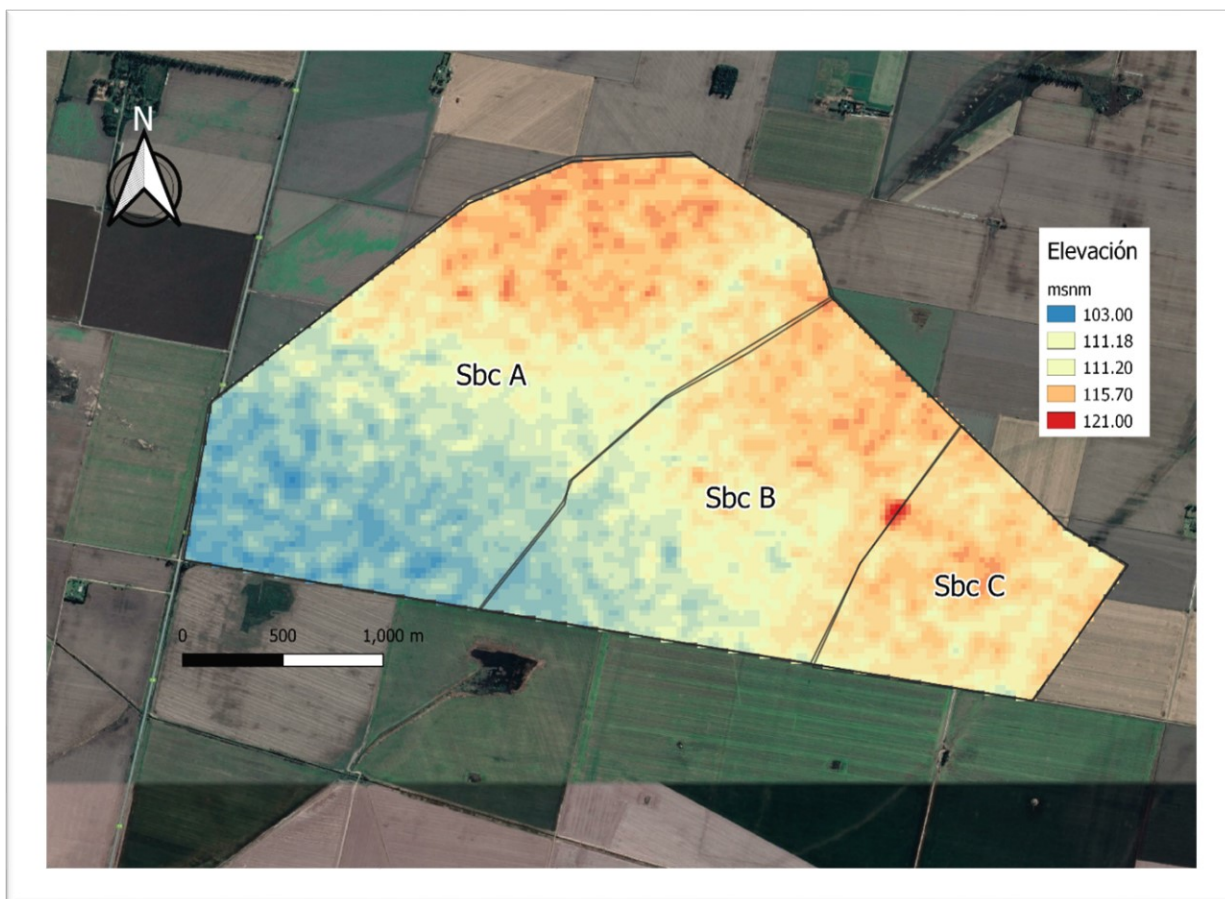


Figura 6. Modelo digital de elevación de la cuenca Brugnaro

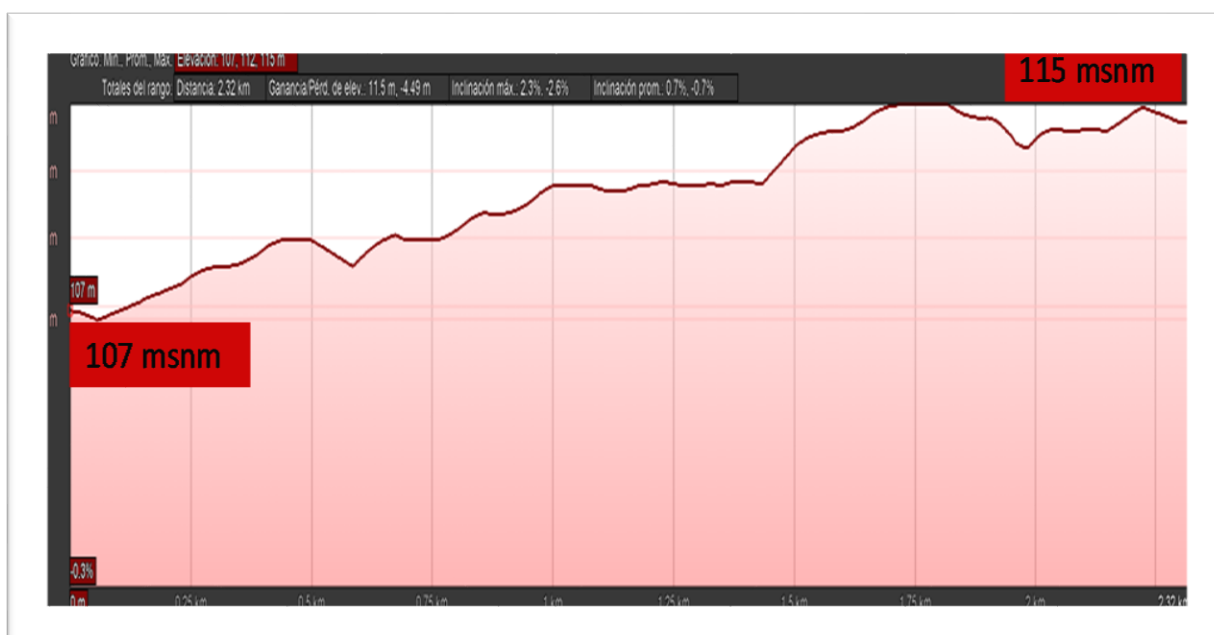


Figura 7. Perfil longitudinal de la cuenca Brugnaro

3.5. Hidrología

La cuenca Brugnaro no tiene afluentes asociado a su posición en el relieve el cual varía entre 107 y 115 m s.n.m. El nivel freático depende del balance hídrico y de la orografía de la cuenca. En la región que incluye a la cuenca en estudio, se ha registrado un ascenso freático de 10 metros en los últimos 50 años (1970-2020) según registros obtenidos en la estación agrometeorológica de la EEA INTA Marcos Juárez (Fig.8 y 9). La Subcuenca C cuenta con freatómetros que registran que la profundidad de la napa se ubica entre 2,25 y 2,90 m (medición asociada al día 03/08/2021). El día 03/08/2021 se realizó una visita a la zona en estudio y por observación directa en el canal existente en la sub cuenca A, se identificaron sectores en los que la napa se encontró a 0,80 m (Fotografía 3).

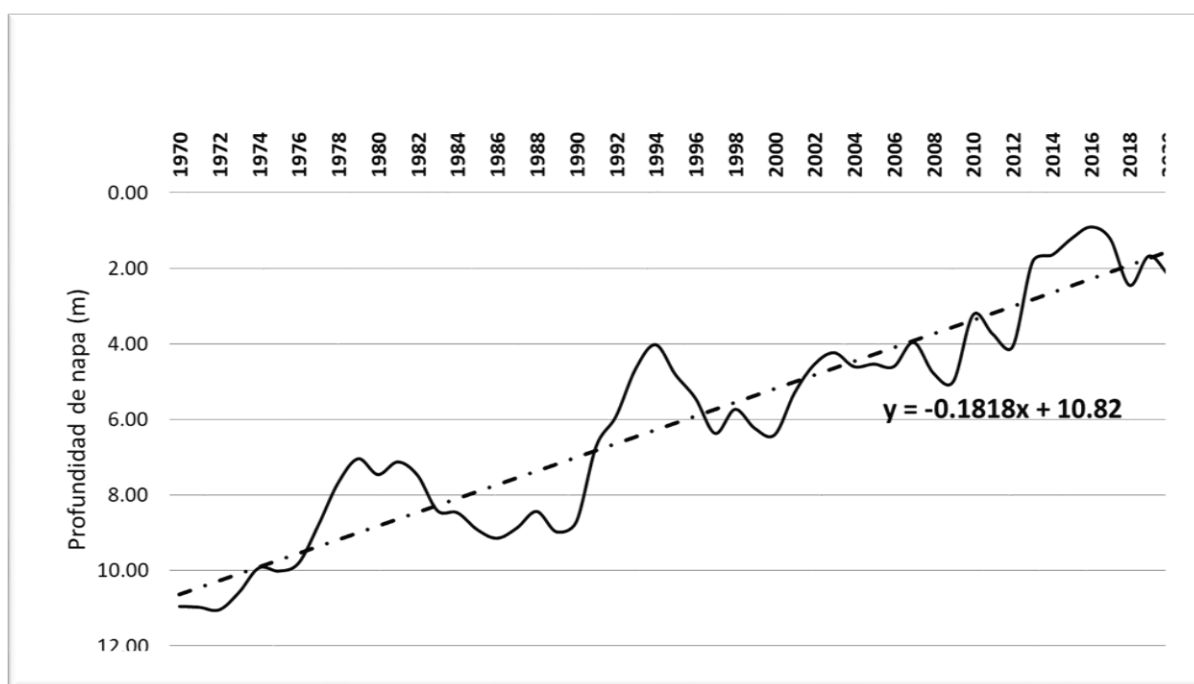


Figura 8. Profundidad de napa histórica en la estación agrometeorológica de la EEA INTA Marcos Juárez entre 1970-2020 (Andreucci et al., 2016)



Figura 9. Estación meteorológica de la EEA INTA Marcos Juárez de donde se obtienen los registros de ascenso freático usados en este trabajo



Fotografía 3. Freatímetro N° 1 ubicado en la subcuenca C de la cuenca Bruñaro

Precipitaciones de la región

Para poder comprender el fundamento del diagnóstico que se realiza de la cuenca Brugnaro es necesario analizar históricamente los ingresos de agua que, como ya se indicó, corresponden a las precipitaciones. El régimen de precipitaciones es de tipo monzónico con predominio de lluvias primavera-estival. En la Tabla 3 se presenta el milimetraje promedio por estación y su participación porcentual respecto del total, en base a promedios de registros históricos 1960 -2015 (Andreucci et al., 2016). Es decir, en forma general se puede ver que el 7% de las precipitaciones ocurren en invierno, cercano al 40% en verano, mientras que primavera y otoño registran proporciones similares.

Tabla 3. Distribución estacional de las precipitaciones del área que contiene a la cuenca Brugnaro (Andreucci et al., 2016)

Estación del año	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Milímetros de lluvia	226	62	250	349
Porcentaje del total anual	26%	7%	28%	39%

A continuación, se presentan los valores de lluvia anuales desde 1948 a 2015 (Fig. 10). La media resultó de 890 mm, y como puede verse no presenta los notables altibajos típicos de las regiones áridas, aunque en la serie hay claros casos de años muy lluviosos (1956; 1976; 1977; 1978; 1981; 1990; 1991; 1993; 2011; 2015) con precipitaciones superiores a los 1180 mm (1355mm año 1991) mm y años muy secos (1966; 1974; 2008) con precipitaciones por debajo de 600 mm (532mm año 2008).

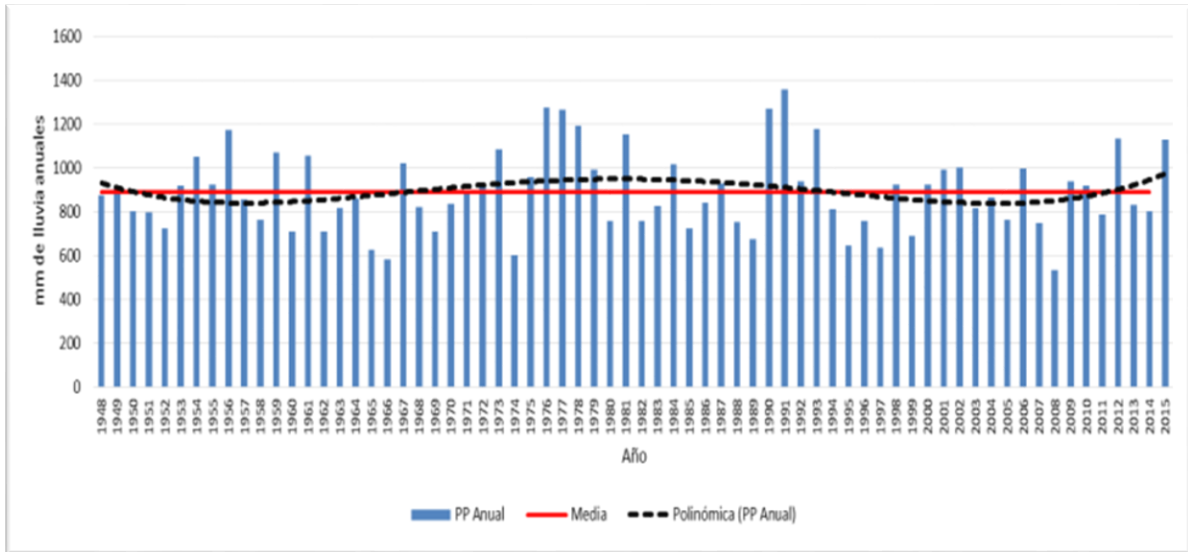


Figura 10. Registro de precipitaciones totales anuales periodo 1948-2015 (Fuente: Andreucci *et al.*, 2016)

Por otra parte, el histograma de milímetros de lluvia durante el periodo 1960-2015 (Fig. 11) muestra que el 67% de los años, los valores de precipitación se encontraron entre 700 y 1000 mm para la serie de 55 años comprendida en el periodo 1960-2015.

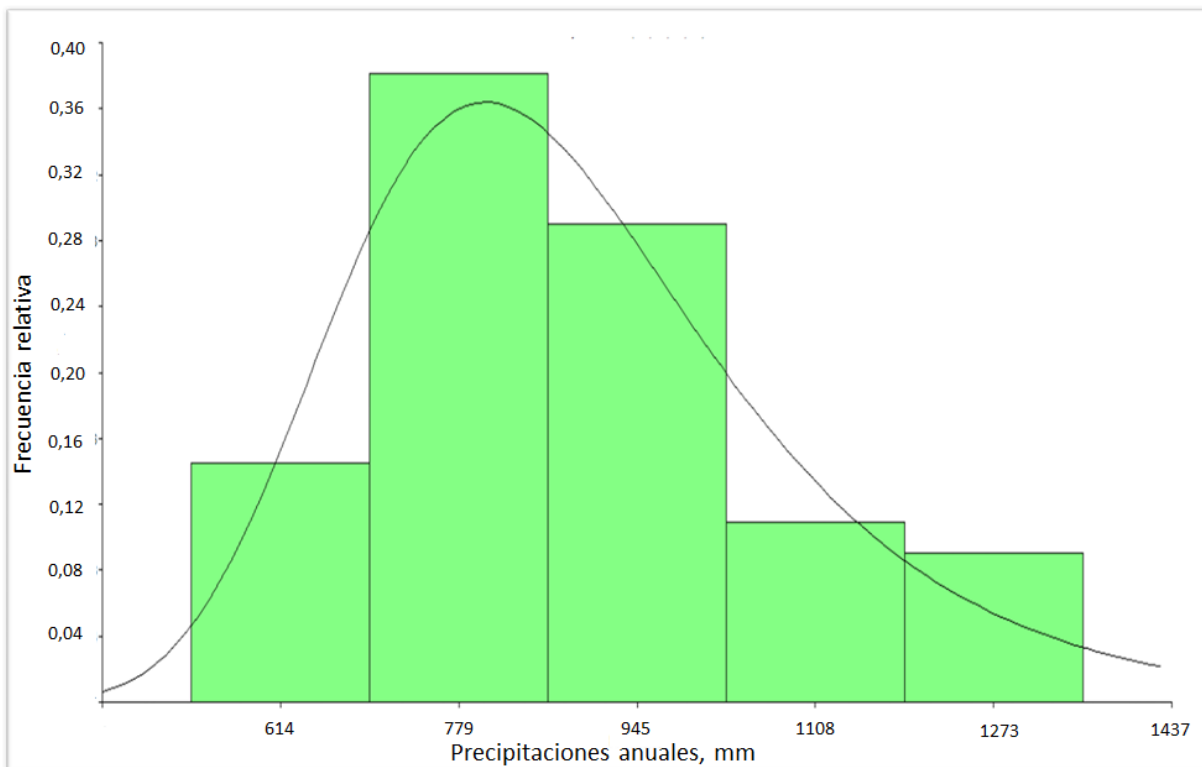


Figura 11. Frecuencia de lluvias totales anuales (1960-2015)

Información climática adicional de la región

En la Tabla 4 se presentan datos mensuales climáticos básicos de la región, extraídos de la Carta de Suelos de la República Argentina, para la región de Marcos Juárez (INTA, 1978). Estos datos comprenden: temperatura, presión atmosférica, humedad, velocidad y dirección del viento, precipitación y frecuencia de precipitación, entre otras.

Tabla 4. Datos climáticos básicos de la serie Marcos Juárez (Fuente: Carta de Suelos de la República Argentina, INTA 1978)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Anual
Temperatura media, °C	24.5	23.4	21.2	15.7	13.7	10.2	10.0	10.9	13.6	16.8	20.4	22.6	16.9
Temperatura max. media, °C	31.8	30.8	28.1	22.5	20.3	16.2	16.8	18.9	21.4	23.8	27.7	30.0	24.0
Temperatura min. media, °C	17.0	16.5	15.0	9.7	8.1	5.4	4.9	5.2	6.9	10.1	13.4	15.2	10.6
Temperatura max. abs., °C	42.0	39.1	39.5	31.5	32.6	30.5	30.2	31.6	34.6	35.5	39.1	39.9	42.0
Temperatura min. abs., °C	3.2	7.4	5.0	0.1	-6.0	-4.6	-8.0	-6.5	-3.6	-1.0	2.1	4.5	-8.0
Presión atmosférica media, mb	996.1	997.8	998.9	1002.3	1002.7	1003.9	1003.8	1003.7	1002.7	1001.7	999.4	997.5	1000.1
Presión de vapor media, mb	19.5	18.8	18.4	13.9	12.3	10.5	10.3	10.3	10.9	14.1	16.7	17.7	14.4
Humedad relativa media, %	66	68	75	78	78	82	80	75	71	74	72	74	74
Nubosidad media 0-8	3.5	3.1	3.2	3.9	3.8	5.0	3.8	4.0	3.6	4.4	4.9	3.7	3.9
Velocidad media del viento. Km/h	8	10	9	8	9	8	10	12	12	12	11	11	10
Precipitación media, mm	145	99	122	87	39	36	22	26	35	92	113	78	894
Desviación desde la normal, mm	46	12	17	14	4	15	5	2	21	8	24	17	57
Frecuencia media de días con....													
<i>precipitaciones</i>	8	7	7	7	4	5	3	4	5	8	8	9	75
<i>heladas</i>					3	5	7	5	2	0.5			22.5
<i>cielo despejado (2/8)</i>	12	11	11	9	9	7	11	9	9	8	9	6	111
<i>cielo cubierto (6/8)</i>	10	6	9	9	8	11	9	10	8	11	8	7	106
<i>niebla</i>			1	2	3	7	6	2			2	1	24
<i>tormentas eléctricas</i>	5	4	3	2	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	3	5	5	31
<i>granizo</i>								0,2	0,4	0,3	0,2		1,1

3.6. Suelos

Los suelos de la cuenca Brugnaro según el sistema de clasificación Soil Taxonomy (USDA, 2009) han sido clasificados como Argiudol típico, limosa fina, mixta, térmica, Serie Marcos Juárez. Se trata de un tipo de suelo oscuro, profundo y bien drenado de las lomas casi planas (altos planos del primer escalón), desarrollado sobre un sedimento loésico de textura franco limosa, con una amplia aptitud para cultivos, forrajes y pasturas, aunque presentan una ligera limitación climática. La capa superficial hasta una profundidad de 20 o 23 cm (horizonte A) es de color pardo grisáceo muy oscuro, de textura franco limosa y con una estructura en bloques y granular. En la base de este horizonte es muy común en la zona, la presencia de un piso de arado (densificación). Hacia abajo, pasa gradualmente a otro horizonte más arcilloso (horizonte Bt) que se extiende aproximadamente desde 26 a 30 cm hasta más o menos los 66 cm. Su color es pardo a pardo oscuro, su estructura prismática y presenta abundantes barnices en las caras de los agregados. La transición entre el Bt y el loess del substrato (horizonte C) es muy gradual. Este último se encuentra a una profundidad promedio de 95 cm a 1 m; es un material franco limoso, suelto y con material calcáreo tanto diseminado en la masa como en concreciones a partir de 140 a 150 cm. Los suelos de esta serie son fértiles y productivos. Presentan buena capacidad de retención de humedad y una ligera limitación climática. El espesor del suelo superficial puede variar debido al estado de erosión del suelo (sobre las pendientes hacia el río Carcarañá y arroyo Tortugas).

Índice de Productividad: 90

Capacidad de Uso: I

Descripción del perfil típico: Un perfil típico de esta serie se describe a continuación y fue extraído a 13,5 km al norte de Marcos Juárez, departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba.

Ap 0-19 cm; color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); color en seco pardo grisáceo (10YR5/2); franco limoso; estructura en bloques subangulares medios moderados y granular; friable en húmedo; límite inferior abrupto, suave.

BA 19-26 cm; color en húmedo pardo oscuro (10YR3/3); franco arcillo limoso a franco limoso; estructura en bloques subangulares medios moderados; friable en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; barnices "Clay Skins" escasos finos; límite inferior claro, suave.

Bt 26-47 cm; color en húmedo pardo oscuro (7,5YR3/2); franco arcillo limoso; estructura en prismas irregulares medios moderados rompen a bloques subangulares; friable en húmedo; plástico; adhesivo; barnices "Clay Skins" abundantes medios; límite inferior claro, suave.

Bt2 47-66 cm; color en húmedo pardo a pardo oscuro (7,5YR4/2); franco arcillo limoso; estructura en prismas irregulares medios moderados rompen a bloques subangulares; friable en húmedo; plástico; adhesivo; barnices "Clay Skins" comunes medios; límite inferior gradual, suave.

BC 66-94 cm; color en húmedo pardo a pardo oscuro (7,5YR4/4); franco limoso; estructura en bloques subangulares medios y gruesos moderados; friable en húmedo; barnices "Clay Skins" escasos y muy finos; límite inferior difuso.

C 94-138 cm; color en húmedo pardo a pardo oscuro (7,5YR4/4); franco limoso; masivo; muy friable en húmedo; escasos durinódulos; límite inferior abrupto.

Ck: 138 cm a +; color en húmedo pardo (7,5YR5/4); franco limoso; masivo; muy friable en húmedo; abundante cantidad de concreciones calcáreas y carbonatos libres en la masa

En la Tabla 5 se muestran los datos del Perfil modal y las coordenadas de su descripción.

Tabla 5. Datos analíticos de los suelos de la Serie Marcos Juárez (Fuente: Carta de Suelos de la República Argentina INTA, 1978)

Datos analíticos Serie MARCOS JUÁREZ
Situación: Latitud: 32°34'35"S Longitud: 62°05'37"O Altitud: 107 m.s.n.m.

Horizonte	A_p	BA	B_t	B_{t2}	BC	C	C_k
Profundidad de la muestra (cm)	0-19	19-26	26-47	47-66	66-94	94-138	138 a +
Materia Orgánica (%)	3,28	2,24	1,21	0,69	0,34	0,28	0,10
Carbono Orgánico (%)	1,90	1,30	0,70	0,40	0,20	0,16	0,06
Nitrógeno total (%)	0,18	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	
Relación C/N	10,6	10,8	7,8	5,7	4,0	4,0	
Arcilla, <2 μ (%)	25,1	27,1	34,5	32,1	25,2	19,3	16,3
Limo, 2-50 μ (%)	68,9	60,3	58,4	62,7	63,1	71,2	66,4
Arena muy fina, 50-100 μ (%)	5,4	12,0	6,4	4,7	11,1	8,7	11,3
Arena fina, 100-250 μ (%)	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,8	1,1
Arena media, 250-500 μ (%)							
Arena gruesa, 500-1000 μ (%)							
Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)							
Arena total (%)	6,0	12,6	7,1	5,2	11,7	9,5	12,4
Carbonatos, CaCO ₃ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
Equivalente de humedad (%)	28,1	29,1	30,3	29,8	25,6	25,6	23,7
pH en pasta	6,0	6,4	6,5	6,5	7,0	7,0	7,8
pH en agua (1:2,5)	6,4	7,0	6,9	7,1	7,7	7,7	8,3
Cationes de intercambio, cmol/kg:	Ca ⁺⁺	10,4	11,6	14,0	15,3	13,1	13,1
	Mg ⁺⁺	4,3	4,4	5,2	5,4	5,2	5,2
	Na ⁺	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
	K ⁺	2,6	2,1	2,1	2,3	2,5	2,5
H ⁺ de cambio (cmol/kg)	6,9	6,2	5,8	5,0	2,7	2,7	
Sodio de intercambio, % (PSI)	1,0	1,5	1,2	1,2	1,9	1,9	1,8
Suma de bases, cmol/kg (S)	17,5	18,4	21,6	23,3	21,2	21,2	
Capacidad de intercambio catiónico, cmol/kg (T)	19,3	20,4	24,4	24,7	21,4	21,4	16,5
Saturación con bases, % (S/T)	90,7	90,2	88,5	94,3	99,1	99,1	

En la Fig. 12 se presenta la distribución en el área de estudio de los suelos de la Serie Marcos Juárez (MJ) y las fases identificadas (MJ1 y MJ3).

Características de las fases MJ1 y MJ3 de la Serie Marcos Juárez

MJ1 Asociación de Series MARCOS JUÁREZ en fase moderadamente bien drenada 80% y NAMUNCURÁ 20%.

Símbolo: MJ1

Capacidad de Uso: I

Índice de Productividad: 78

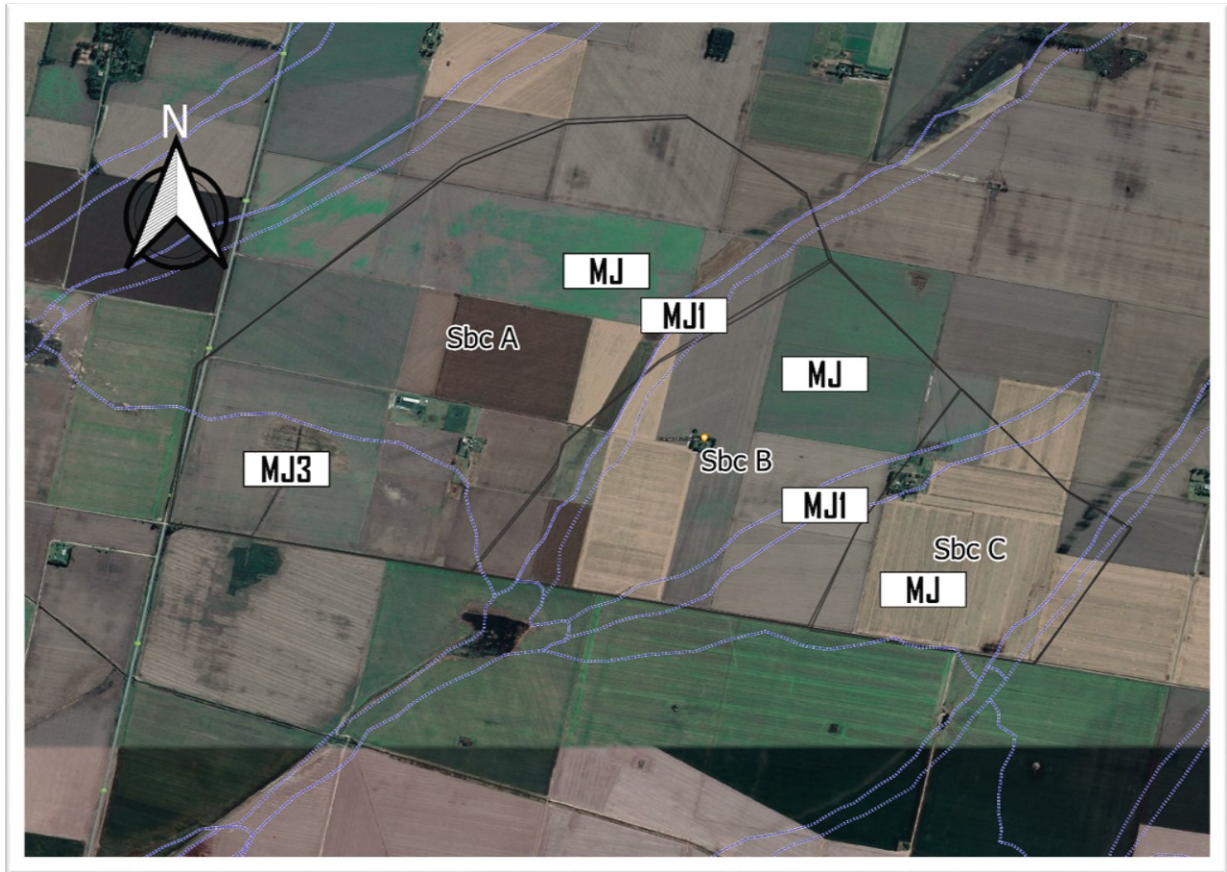


Figura 12. Suelos descritos en la Serie Brugnaro. Serie Marcos Juárez (MJ) y sus fases MJ1 y MJ3.

La unidad MJ1 ha sido cartografiada representando los ejes o cauces que, con dirección sudoeste-noreste, cruzan el sector al este del arroyo Tortugas, disertando los grandes ambientes alomados predominantes. Se trata de delineaciones elongadas, cuyo ancho no supera los 500 m, ocupadas en forma dominante por perfiles de la serie Marcos Juárez fase moderadamente bien drenada (fd3) a la que se asocia la serie NAMUNCURÁ, que se distribuye en el centro del eje. La limitante que puede señalarse como principal es el exceso de agua en épocas lluviosas, sin que llegue a constituir un impedimento que restrinja su uso significativamente.

MJ3 Complejo de Series MARCOS JUÁREZ en fase moderadamente bien drenada 85% y EL CHAJÁ 15%.

Símbolo: MJ3

Capacidad de Uso: I

Índice de Productividad: 80

Esta unidad presenta un relieve plano y ligeramente deprimido con pendientes de 0 a 0,5%. Los suelos reconocidos tienen evidencias ligeras de hidromorfismo y degradación por lavado. El uso a que están dedicados es predominantemente agrícola.

3.7. Uso del suelo

Se analizó el uso de suelo en la cuenca en estudio, con apoyo de imágenes satelitales y el producto del índice NDVI durante los años 2017 a 2020. Específicamente, se utilizaron imágenes del satélite Sentinel 2 TOA (disponible en Earth observing system company. www.EOS.COM). El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) se utiliza mundialmente para vigilar sequías, predecir la producción agrícola, ayudar a predecir zonas de incendios y áreas en proceso de desertización. En aplicaciones agrícolas, proporcionar precisión en la aplicación de fertilizantes y en el riego, entre otras actividades de tratamiento de campos, en etapas de crecimiento específicas. El NDVI se calcula con la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$$

Donde:

NDVI (sigla en inglés correspondiente a) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado; NIR: espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano, RED espectroscopía de reflectancia en el rojo visible.

La metodología aplicada en cada imagen satelital fue la identificación de las parcelas que cuentan con un índice verde correspondiente con un cultivo invernal y se calcularon las respectivas áreas y porcentajes de ocupación de los últimos 4 años. A modo de ilustración se muestra la siguiente imagen satelital con el índice NDVI del invierno de 2019 (Fig.13).

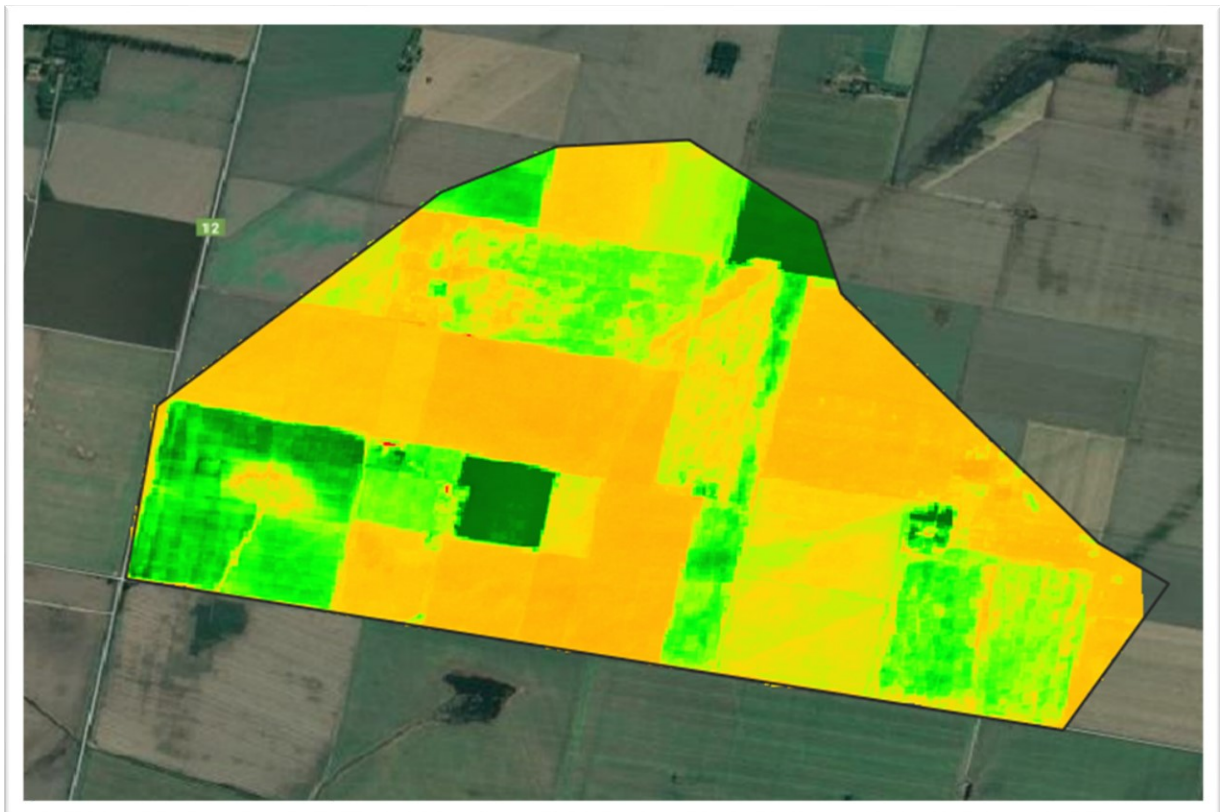


Figura 13. Imagen de Sentinel 2 TOA con índice NDVI del invierno 2019 (Verde Oscuro = Trigo, Verde Claro = Avena de cobertura y Amarillo = Sin cultivo).

En la Tabla 6, se indica el área y los porcentajes del área de la cuenca con cultivos invernales, observándose un máximo en el año 2019 con 29,5% y un mínimo de 11,5% en el año 2020. Los cultivos invernales predominantes son trigo y avena. Esta práctica es variable de año a año, en función de los precios del trigo, oferta hídrica, problemas de malezas y anegamientos.

Tabla 6. Estado de ocupación del suelo con cultivos invernales para el periodo 2017- 2020 en la cuenca Brugnaro.

Año	Hectáreas	Uso del suelo invernacional
2017	228	25.4%
2018	189	21.0%
2019	265	29.5%
2020	103	11.5%

4. DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA BRUGNARO

En el área comprendida por la cuenca Brugnaro, actualmente se identifican signos de deterioro de los suelos por escurrimientos superficiales de agua que derivan en erosión hídrica. La Fotografía 4 muestra una situación de anegamiento que recurrentemente se manifiesta en el paisaje, y si bien no es estrictamente de la cuenca Brugnaro es un claro ejemplo de las situaciones que se presentan en la cuenca objeto de este trabajo. Estos anegamientos temporarios se encadenan con procesos de salinización y sodificación en estratos más profundos de suelo (40 a 100cm) con porcentajes de sodio intercambiable en el complejo de intercambio que alcanzan valores de 30%.



Fotografía 4. Vista aérea de situación de anegamiento temporal (4 de enero de 2016)

También se detectan pérdidas de la fertilidad física y química. En el caso del deterioro físico se verifica en compactaciones de los primeros 14 a 18 cm de suelo (Fotografía

5). En el caso de la fertilidad química, se observan valores por debajo de las 10 ppm de fósforo disponible en los análisis de muestras de suelo extraídas de 0 a 20 cm.

Desde hace alrededor de 30 años, concretamente en la década de los 90, han ocurrido importantes cambios en la actividad agrícola, asociado a aspectos técnicos, económicos y políticos. Los resultados asociados, correspondieron a cambios en la proporción de cultivos anuales y pasturas. Se adicionaron otros aspectos asociados con la modalidad de control de malezas y la secuencia de cultivos o rotación, o su ausencia.



Fotografía 5. Evaluación a campo de condiciones de compactación

El cambio de uso del suelo ha colaborado en el ahorro de agua. Este menor consumo de agua se generó concretamente por el reemplazo de pasturas principalmente perennes como alfalfa y sus consociaciones por un solo cultivo al año y solo un 10 a 15% de la superficie con doble cultivo anual (Trigo/Soja 2°). Esta alteración contribuyó

a la mayor percolación de agua, incremento de los niveles freáticos (Fig. 14) hasta incluso llegar a la superficie generando anegamientos.

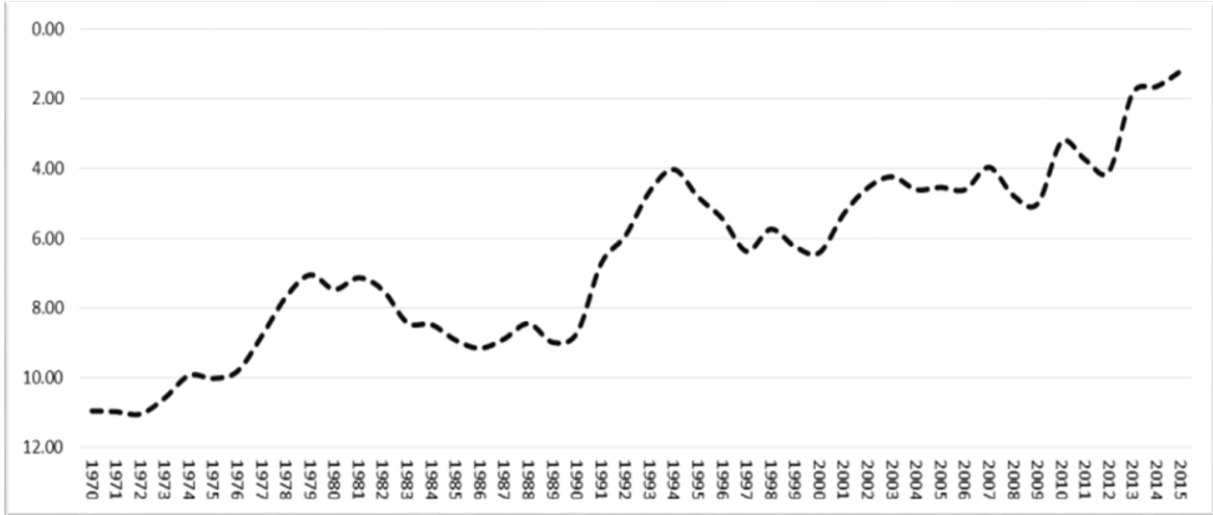


Figura 14. Profundidad de napa en INTA Marcos Juárez (Fuente: Andreucci et al., 2016)

En las próximas figuras se mostrarán diversos aspectos estadísticos de las precipitaciones de la región publicado por Andreucci et al. (2016) que brindan una robusta información sobre la cual elaborar un diagnóstico certero y propuesta de solución exitosa. Como podrá observarse la región cuenta con más de una fuente de información que permite cubrir un amplio lapso de tiempo. Más allá de la mayor o menor certidumbre, este tipo de información es muy valiosa cuando se analizan problemáticas ambientales y se busca proponer soluciones de largo plazo.

La Fig. 15 ya fue presentada en la caracterización climática del área. Ahora se concentrará la atención en los ciclos que se dan en la serie alrededor de la media y descriptos por una ecuación polinómica (línea punteada azul). Las oscilaciones por encima y por debajo de la media va dando cuenta de la ocurrencia de ciclos de mayor o menor precipitación respecto a la media. Andreucci et al. (2016) agruparon tales

ciclos en periodos más húmedos (1968-1993) y más secos (1950-1967) y (1994-2011) según lo estadísticamente esperado para la zona.



Fotografía 6. Freatímetro N° 2 ubicado en la cuenca Brugnaro

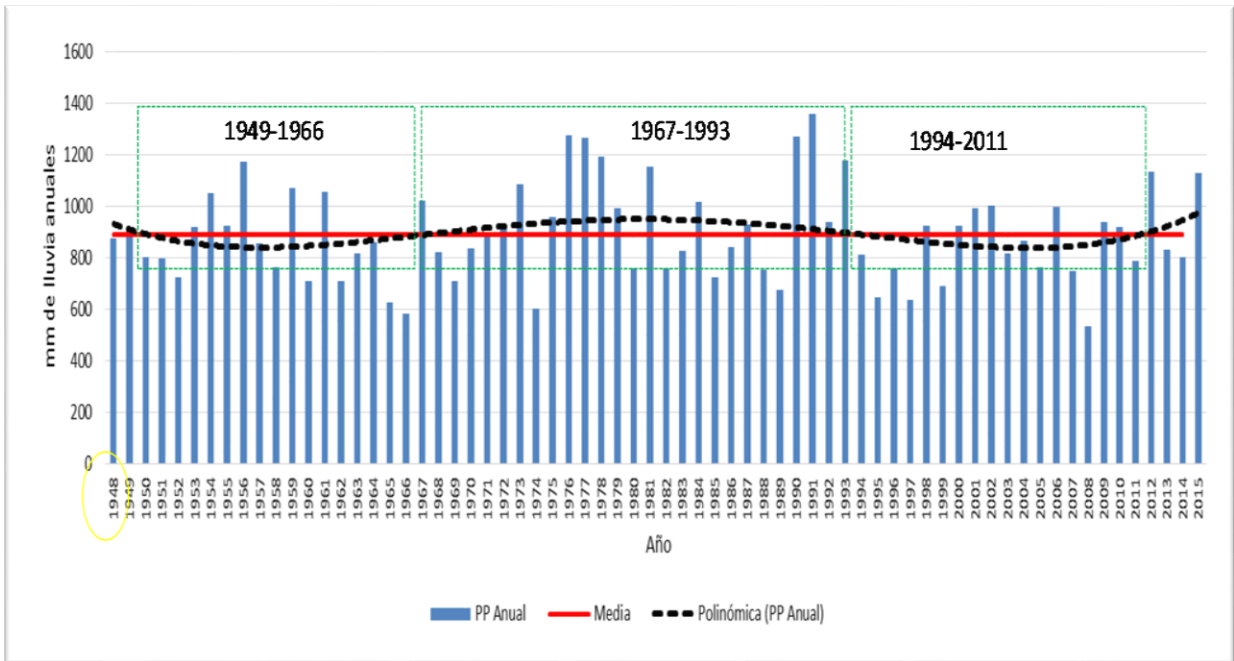


Figura 15. Registro de precipitaciones totales anuales periodo 1948-2015 (Fuente: Andreucci et al., 2016)

Un análisis equivalente fue realizado por estos autores del citado trabajo, pero ahora observaron la cantidad de días con precipitaciones (Fig. 16). En este caso los autores señalaron que ocurrieron cambios en las características de las precipitaciones.

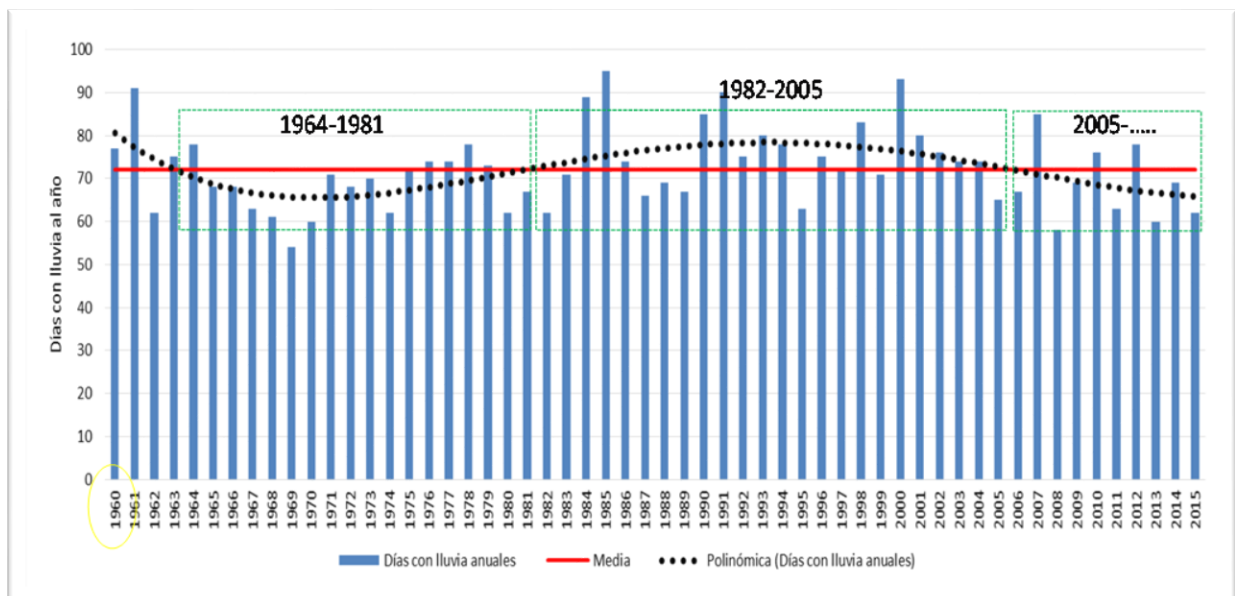


Figura 16. Registro de días con lluvia anual para el periodo 1960-2015 (Fuente: Andreucci et al., 2016).

Al menos, considerando la variable *número de días con lluvia por año*, que en base al registro 1960-2015 da un valor medio de días con lluvias al año de 72 días con un coeficiente de variación de 12,8%, y valores máximos y mínimos de 95 días y 54 días, respectivamente. Ellos destacan que el ciclo de años con un número de días con lluvia mayor a la media no se solapó con el ciclo “húmedo” ($pp >$ a la media) y en base al análisis media/polinómica se extendió (33 vs 26 años).

A continuación, se presenta el balance hídrico estimado en el periodo 1970-2014 junto con la profundidad de la napa freática (Fig. 17). Como puede verse, en 1970 la profundidad estaba alrededor de los 12 m y a 2012 ya estaba alrededor de los 2 m de profundidad. Si bien fue oscilante el ascenso, en todo el periodo siempre fue acercándose a la superficie del suelo. Al realizar una correlación entre las variables balance hídrico y profundidad del nivel freático se obtuvo una relación positiva y alta ($R^2=0,8228$) (Fig. 18) (Bollatti et al., 2016; Bollatti, 2017a).

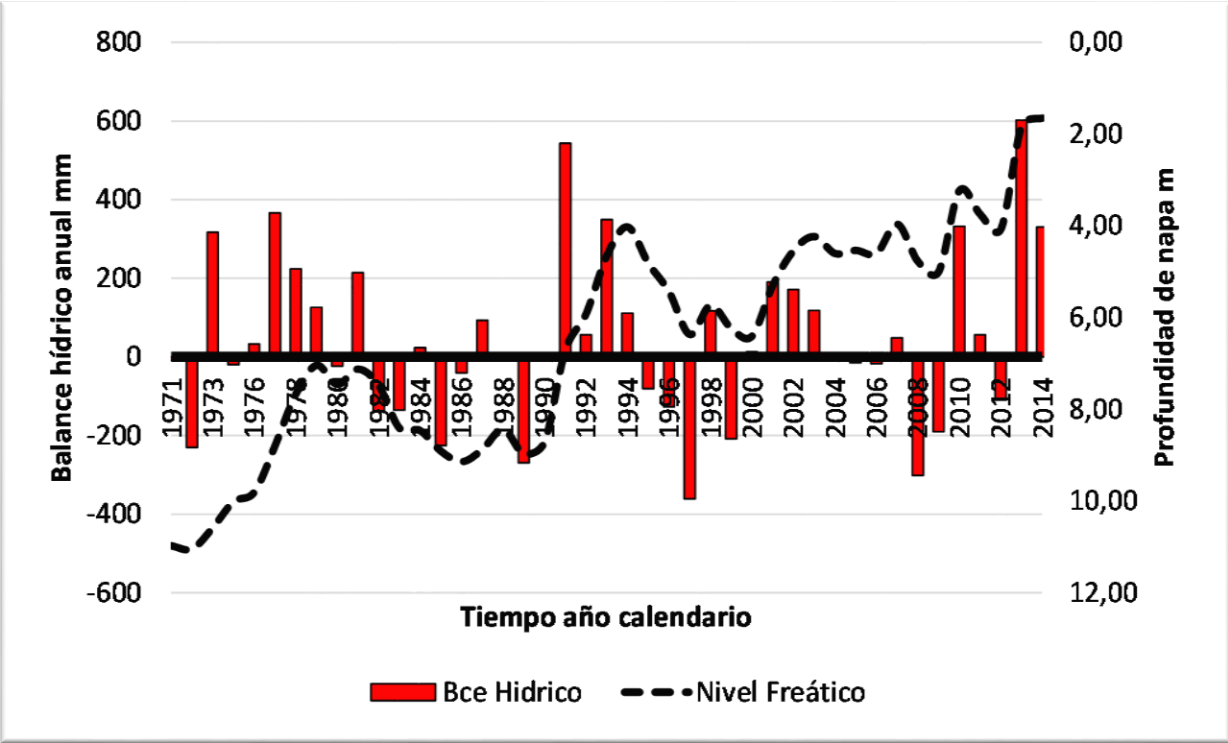


Figura 17. Evolución del NF en función al Balance Hídrico Histórico Estimado

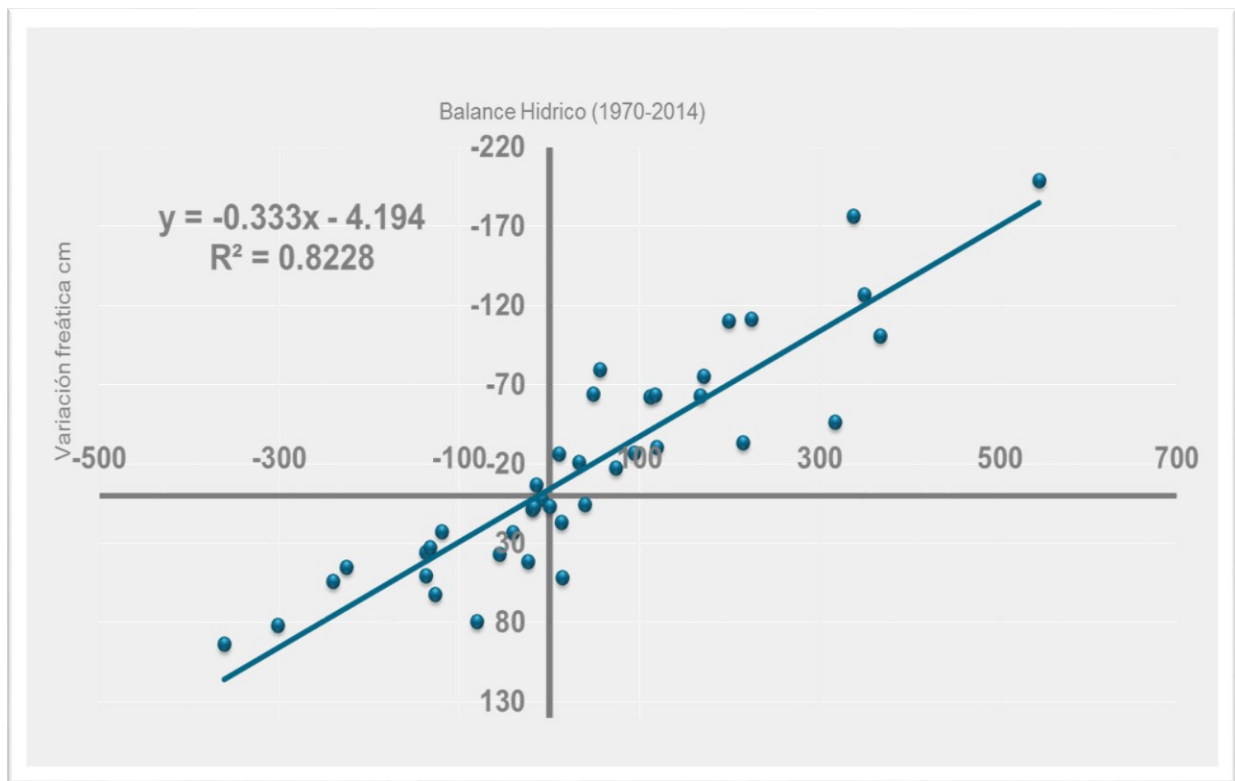


Figura 18. Regresión entre la variación de la napa y el balance hídrico anual

Un aspecto que se ha notado como posible factor desencadenante de los problemas de ascenso de la napa es el tipo de cultivos que se implantaban años atrás y la modificación ocurrida en las tres últimas décadas debido a modificaciones en las relaciones de precio grano/carne, la implementación de la siembra directa como opción al control de la erosión hídrica, políticas productivas desacertadas que llevaron al monocultivo de soja y ausencia de cultivos en invierno. En la Fig. 19 se muestra como evolucionó la participación de cultivos perenes y anuales desde 1970. Claramente desde el inicio del siglo 21 la participación de los cultivos perennes tendió a cero.

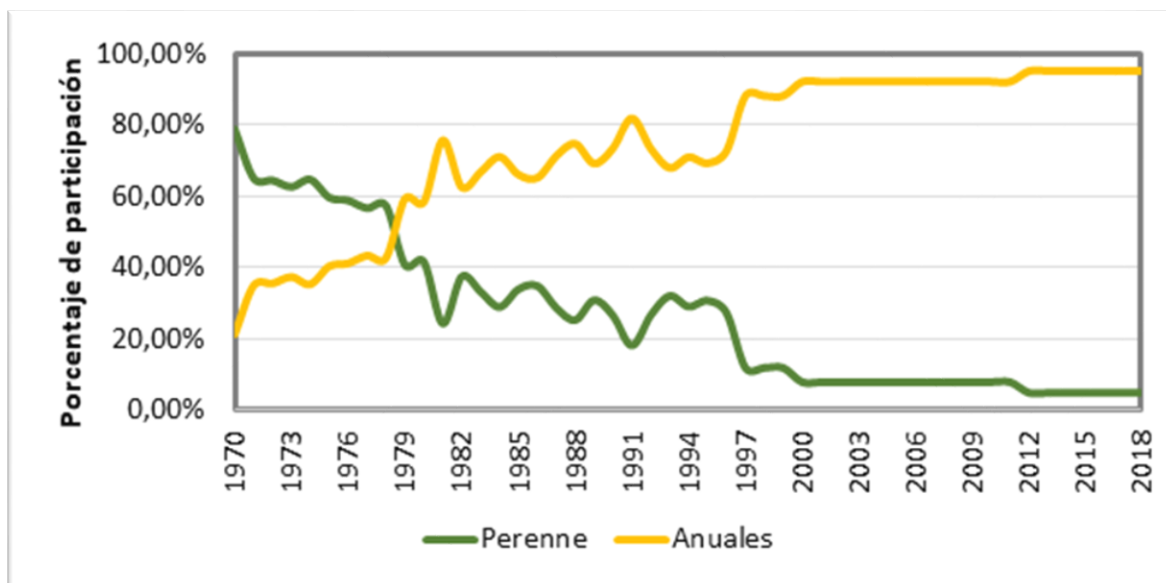


Figura 19. Participación de los cultivos anuales y perennes en el departamento Marcos Juárez dentro de la cual se encuentra la cuenca Brugnaro. Elaborado con datos de Estimaciones agrícolas MAGYP

En simplificado pero ilustrativo análisis de los cambios del balance hídrico anual (Fig. 20) donde solo se muestran cuatro años (2017-2018-2019-2020), es posible observar el rol clave de la transpiración de las plantas en el proceso del ciclo del agua. En estos 4 años, y tomando como indicador la evapotranspiración total (EVT) anual, se puede observar mínimas variaciones en la cantidad de agua evapotranspirada calculado en base al porcentaje de ocupación de cada cultivo o sistema de cultivos, por su rendimiento y por su eficiencia de uso del agua. Por otra parte, las fluctuaciones interanuales de las precipitaciones dan lugar a balances hídricos positivos de diferente magnitud (270,5 mm/año-86 mm/año). La variable precipitaciones es la que generó diferentes resultados ya que el uso del suelo se mantuvo prácticamente constante. Del conjunto de datos obtenidos, referencias, y evidencias de campo surge que es posible afirmar que el 82% de la variación del nivel freático anual es en respuesta al balance hídrico. De aquí se desprenden las dos variables intervinientes (precipitaciones y evapotranspiración) de las cuales solo podemos influir o decidir

sobre esta última, incrementando los días de ocupación del suelo en el año con vegetales evapotranspirando agua.

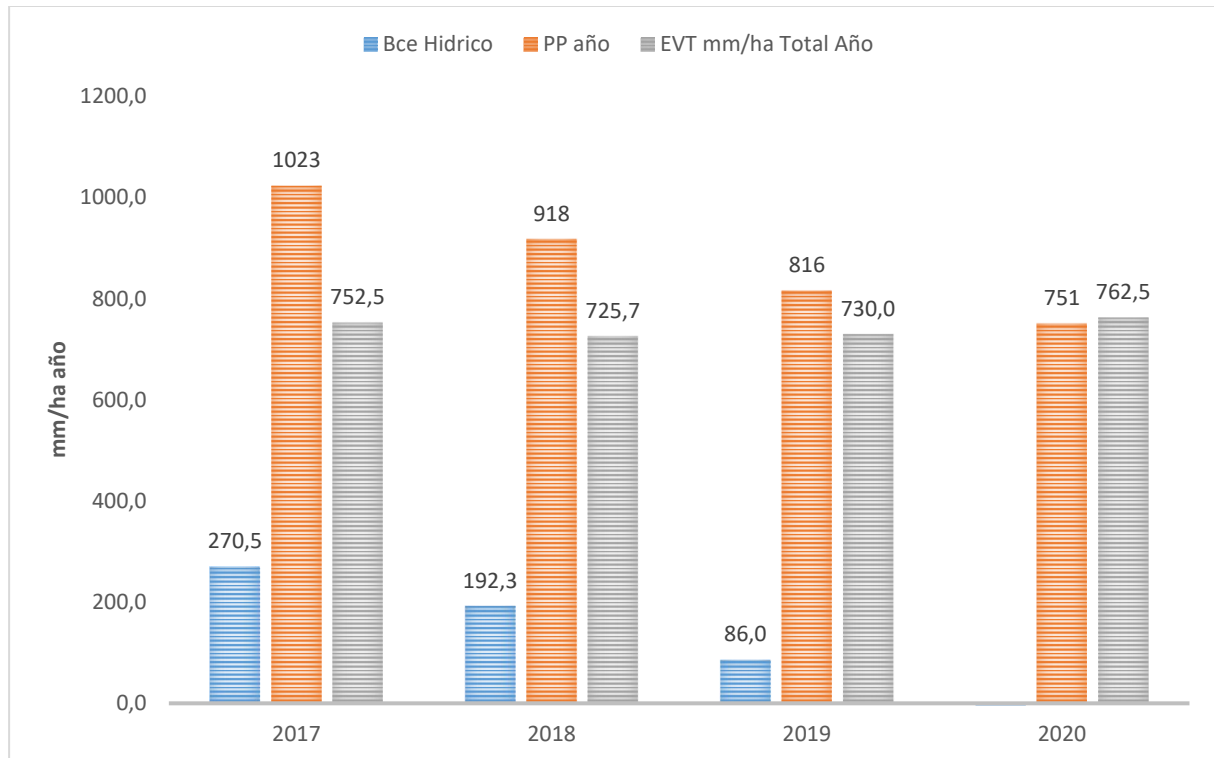


Figura 20. Balance hídrico anual de la cuenca Brugnaro.

Las herramientas disponibles para reducir los excedentes hídricos para regiones agrícolas las podemos agrupar como prácticas agronómicas y prácticas ingenieriles. La propuesta de gestión de mitigación que se presentará se apoyará en ambos tipos de prácticas. No obstante, antes de pasar a la propuesta, se presentarán resultados de la modelación de la situación actual y un posible escenario mejorado, en base a la inclusión de la construcción de terrazas.

A través del software HEC-HMS versión 3.3, se realizó una modelación de los escurrimientos superficiales de la cuenca Brugnaro que llegan al Camino Brugnaro (Sink-1) (Fig. 21). Para esta tarea se utilizaron los datos recopilados de pendiente, clima, vegetación, sistema de siembra. Para la modelación se ingresaron los datos de

precipitación de 43,7 mm, un tiempo de recurrencia de, y se seleccionó como curva número (CN) 78 para un escenario sin sistematizar y 66 para sistematizado.

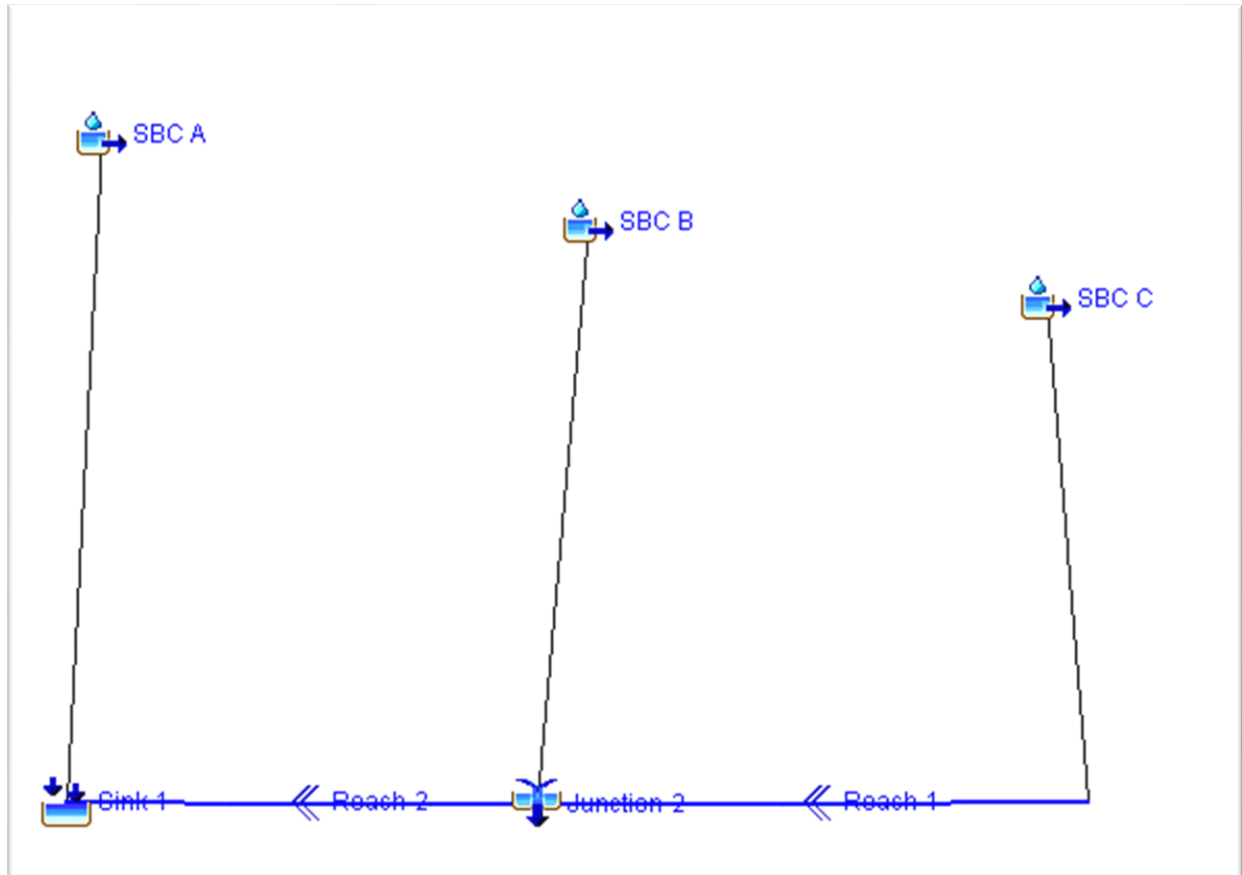


Figura 21. Diseño del plano del modelo en HEC-RAS. SBC A, SBC B; SBC C: sub cuencas.

En la Tabla 7 y en la Fig. 22 se presentan los resultados de la modelación en base a la situación actual en cuanto a uso del suelo, características de la cuenca. En la Tabla 8 y Fig. 23 considerando la inclusión de terrazas.

Tabla 7. Salida del modelo hidrológico HEC-RAS en base a ingreso de información de condiciones actuales.

Subcuenca	Área (km ²)	Caudal pico (m ³ /s)
SBC A	4,74	9,7
SBC B	2,56	6,5
SBC C	1,21	0,4
Salida	8,51	13,2

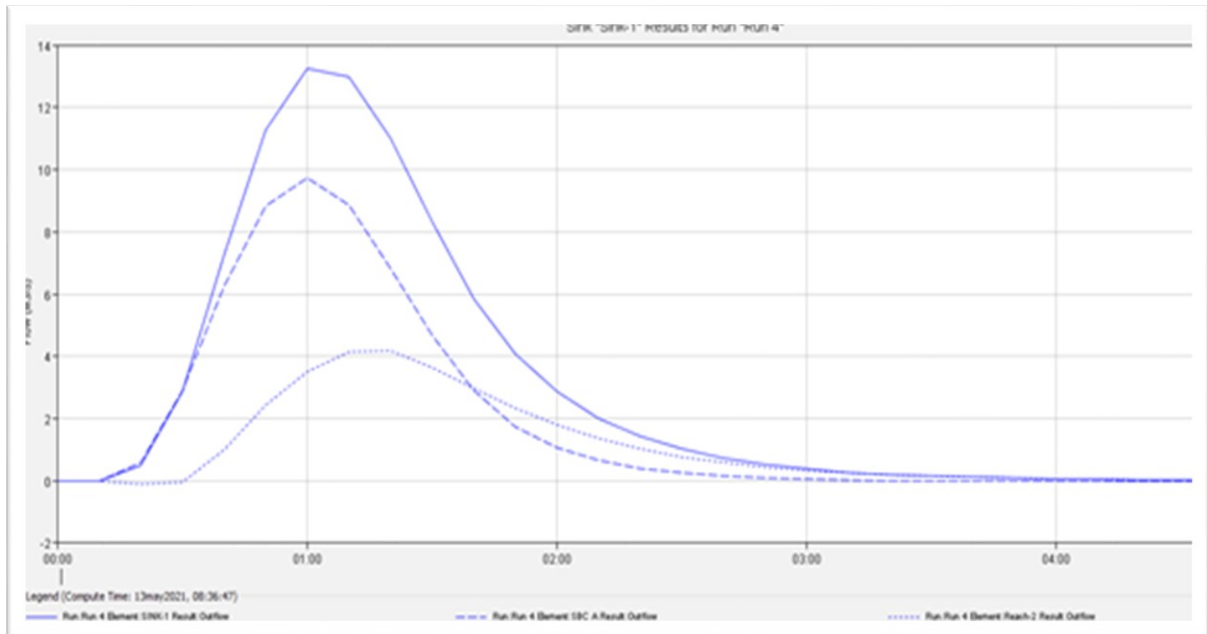


Figura 22. Hidrograma de salida del escenario actual

Según el modelo hidrológico, en la situación actual, llegan a la sección de salida del modelo (Sink-1) sobre el camino Brugnaro unos 13,2 m³/s asociado a un tiempo al pico es de 1 hora. Este caudal de aporte anega el camino y ocasiona la intransitabilidad de mismo por varios días y su consecuente deterioro, verificando lo que actualmente se registra.

Un segundo escenario de modelación, incluye la práctica de terrazas en la cuenca Brugnaro. Los resultados para este escenario, arrojaron caudales menores (31% de disminución) respecto al escenario anterior y un retardo del tiempo al pico de 10 minutos.

Tabla 8. Salida del modelo hidrológico HEC-RAS en base a ingreso de información considerando la presencia de terrazas en la cuenca Brugnaro.

Subcuenca	Área (km ²)	Caudal pico (m ³ /s)
SBC A	4,74	3,01
SBC B	2,56	2,02
SBC C	1,21	0
Salida	8,51	4,2

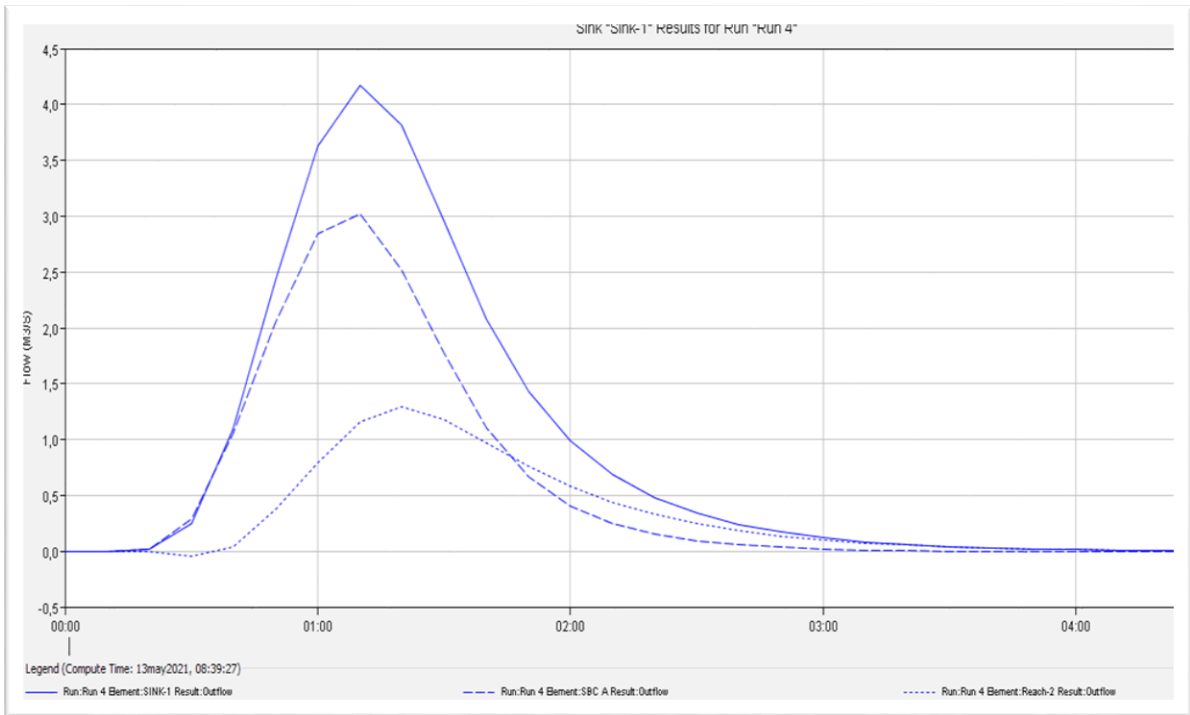


Figura 23. Hidrograma de salida del escenario con terrazas

En resumen, la propuesta de mejora implementando un sistema de terrazas de base ancha, la modelación resultante indica que llegan al camino $4,17 \text{ m}^3/\text{segundo}$ con un tiempo al pico de 1 hora 10 minutos. Esta propuesta reduce a un 31% el agua de la situación actual al momento del pico, atrasando el tiempo al pico en 10 minutos.

5. PROPUESTA DE GESTION DE LA CUENCA BRUGNARO

En síntesis, el área de estudio ha pasado de una oferta hídrica dada por las precipitaciones más el agua almacenada en la porción insaturada del suelo, a una oferta hídrica dada por el aporte que hacen las precipitaciones sumadas al agua acumulada en la porción saturada (napa) e insaturada del suelo.

Las pérdidas por anegamientos están relacionadas principalmente por una imposibilidad del suelo de infiltrar el agua precipitada en un corto periodo de tiempo. Esto puede deberse a factores físicos como compactación, napa muy cercana (tanque lleno) o a precipitaciones de alta intensidad.

Propuesta de mitigación de los excedentes hídricos en base a tres pilares de gestión

La propuesta de gestión para la cuenca Brugnaro se apoya en tres pilares (Fig. 24) considerados clave y complementarios para mitigar los problemas de excedentes hídricos, basados en la identificación de los problemas que han llevado a la acumulación de agua y elevación de la napa freática, a las posibilidades de los productores, y a las herramientas y/o técnicas disponibles en la actualidad.

Estos tres pilares los denominamos Pila Verde, Pilar Azul y Pilar Gris. A continuación, se analizará que se espera de cada uno de estos pilares, y se explicará porqué se considera que esta propuesta integral es válida y por encima de todo, factible. En este tipo de situaciones, la pertinencia de un plan de solución, es tan importante como su posibilidad de ser llevada a cabo.

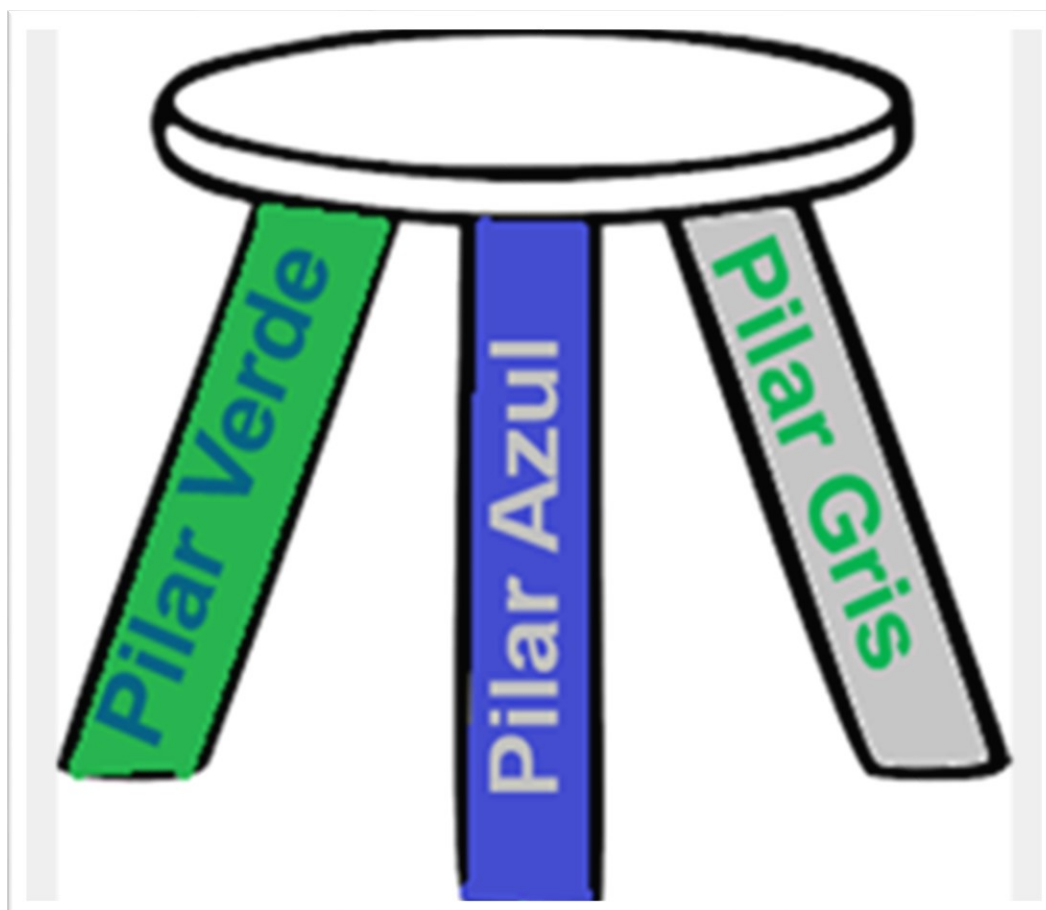


Figura 24. Pilares claves para mitigar los problemas hídricos de la cuenca Brugnaro. Pilar Verde: Ajuste de la rotación según oferta hídrica. Pilar Azul: Obras hídricas. Pilar Gris: Prácticas agronómicas

La propuesta está basada en la mirada integral e interdisciplinaria, en la que las obras hidráulicas son uno de los pilares de la solución (PILAR AZUL), que de manera simultánea debe estar acompañado de un ajuste del consumo de agua por el sistema productivo (PILAR VERDE).

PILAR VERDE

Se basa en realizar el ajuste de la rotación según disponibilidad hídrica (Bollatti,2016; 2019). Esta concepción inteligente del uso de los recursos tiene un conjunto de aristas que implican adecuar las acciones según como se presentan las condiciones

ambientales, en el contexto económico y de posibilidades de los productores. A continuación, se exponen estas premisas:

- Manejo y uso del suelo. Se basa en la implementación de cultivos de renta o de servicio en los momentos libres del año. Compite con los barbechos o periodos libres de cultivos (Fotografía 6).
- La estrategia de seleccionar el cultivo tiene como objetivo que se consuma anualmente, más o igual cantidad de milímetros de agua, según las condiciones imperantes.
- Esta estrategia tiene un efecto colateral sumamente valioso en la protección del suelo dado que al incrementar la velocidad de ingreso del agua dentro del perfil de suelo evita el deterioro de la estructura a causa de la compactación y regenera los macroporos.
- El incremento de cultivos creciendo incrementa el secuestro de carbono, impactando positivamente en las condiciones ambientales dado que contribuye a la captación de CO₂, que es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) además del efecto directo de incrementar la dotación de carbono orgánico en el suelo, lo cual es un componente clave en la condición de buena salud del suelo.
- Puede utilizarse para incrementar el consumo de agua de las rotaciones en años que así lo requiera y liberar espacio en el suelo para cuando ocurra una precipitación de alta intensidad (Efecto vaciado de tanque).
- Al haber cultivos creciendo existe competencia natural con malezas, y esto implica reducción en el uso de fitosanitarios, que además de implicar menos costos, es altamente deseable en una propuesta de producción sustentable.



Fotografía 7. Cultivo de cobertura de avena año 2019 en el área de estudio

En la Fig. 25 se muestran los resultados obtenidos de lectura de freatómetros ubicados en lotes con (Trigo) y sin cultivo (barbecho) (Fotografía 6). La variable respuesta analizada es el descenso freático en base al uso del suelo y el estadio del cultivo en pie. Dado que un cultivo en desarrollo (floración y llenado de granos) tiene alta demanda de consumo de agua, y esta demanda se traduce en intensidad transpiratoria, es decir, consumo de agua. Este alto consumo de agua se refleja en la velocidad a la cual desciende la freática, que, en el caso presentado, entre los meses de agosto a octubre en promedio es alrededor de 3 veces mayor que el descenso freático en condiciones de barbecho. Por otra parte, en las etapas de mayor demanda hídrica el cultivo de trigo logra un descenso 5,4 veces mayor que el barbecho.



Fotografía 8. Cultivo de cobertura de centeno año 2021 en el área de estudio

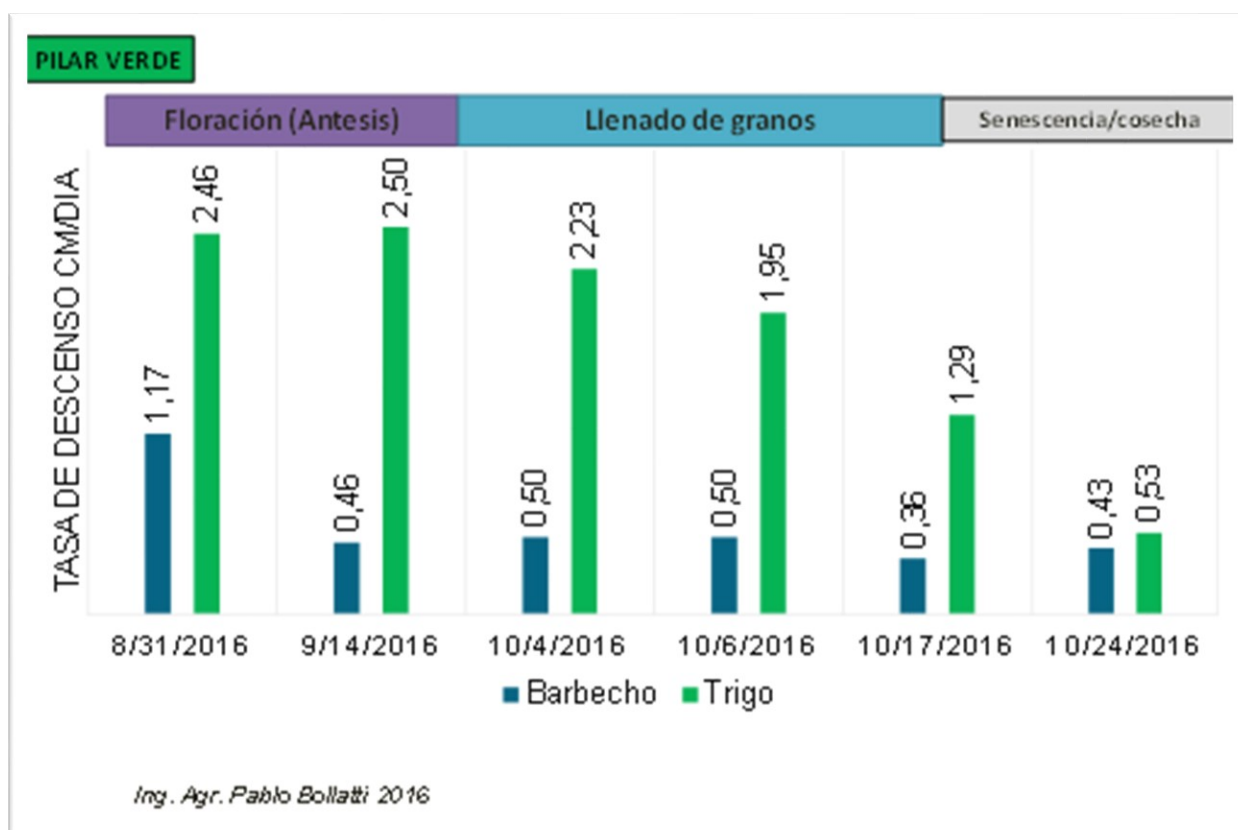


Figura 25. Tasa de descenso freático en función del uso del suelo: Barbecho y cultivo de trigo



Fotografía 9. Siembra (superior) y emergencia (inferior) de soja de primera sobre cultivo de servicio de centeno (2021)

PILAR AZUL

Se basa en la gestión de infraestructura a través de obras hidráulicas y de sistematización (Bollatti, 2017b). Los canales de mínima regulados por aforo específico, micro embalses, consiste de desalojar el agua de manera ordenada y regulada de los sectores anegados que por su condicione de paisaje no les permite a los cultivos funcionar como reguladores. Los terraceos reducen la velocidad de escurrimiento del agua, favorecen la infiltración, y al salir regulada minimizan riesgos de erosión hídrica, rotura de caminos y rutas recuperan suelos productivos (Fotografía 10).



Fotografía 10. Niveladora trabajando en la construcción de terrazas de base ancha en la cuenca Brugnaro

En este punto cabe hacer una consideración respecto a la importancia de tener en cuenta que se puede resolver con cada práctica. En el caso de los canales, su construcción permite resolver el anegamiento superficial (Fig. 26). En este ejemplo, que corresponde a la cuenca Namuncurá, se puede observar como la construcción de un canal mitigó el anegamiento.

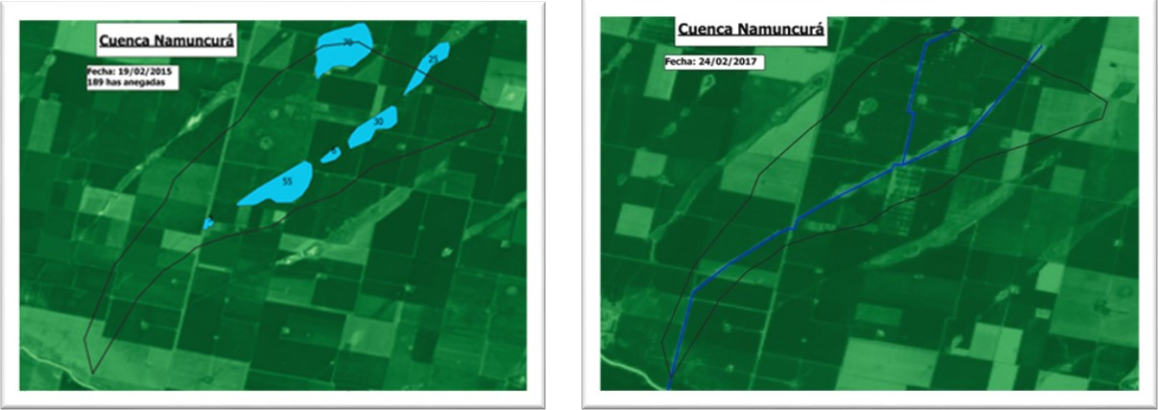


Figura 26. Ejemplo de cambios en la condición de una cuenca anegada (2015) y el impacto de la construcción de un canal para reducir el anegamiento (2017)

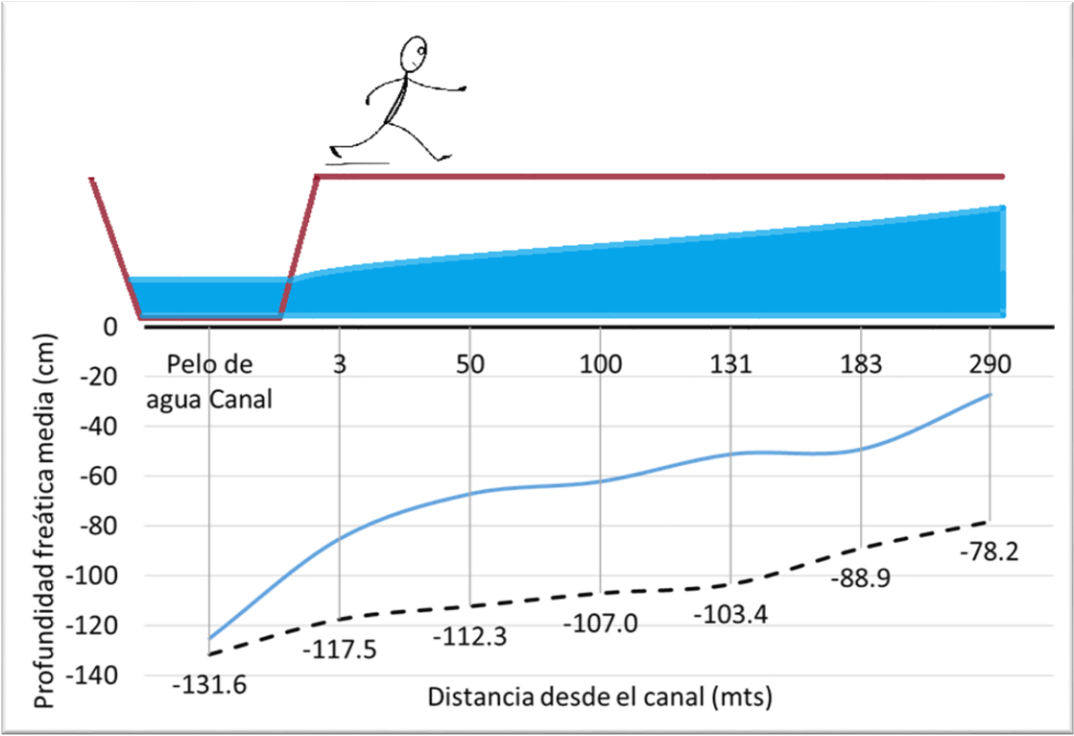


Figura 27. Esquema del efecto distancia al canal sobre la profundidad de napa

Sin embargo, como se esquematiza en la Fig. 27 el efecto del canal es ubicuo, y a medida que crece la distancia el agua subterránea deja de ser afectada por la presencia del canal, y eso se manifiesta en menor profundidad. A medida que nos alejamos del canal, el efecto depresor de napa se va diluyendo, por lo que no sería esperable lograr reducir los niveles freáticos mediante un canal en grandes superficies de tierra. Es decir, la vulnerabilidad a futuros anegamientos es elevada. Los canales regulares sin duda son un aporte a la solución, pero si no actuamos en el origen del problema, las obras por si solas no alcanzan.

Es decir, la solución es incompleta, y necesita ser complementada con otras acciones. La complementación viene dada por prácticas de sistematización. Recurrir a la construcción de terrazas es una forma de mejorar la infiltración. Estudios realizados por Fernández y Pizarro (2019) muestran que mediante el terraceo se puede incrementar un 65% la infiltración lo cual impacta en menor cantidad de agua en los caminos.



Fotografía 11. Canal para lograr mitigar el impacto de los excedentes hídricos sobre los caminos de la cuenca Garione (Consortio Canalero Marcos Juárez Gral. Roca)

PILAR GRIS

De lo expresado respecto a los pilares Verde y Azul se hace evidente que la solución no es única ni en el espacio ni en el tiempo. El criterio y oportunidad es tan importante como las herramientas. Es por eso que plantear un tercer pilar, el Pilar Gris, apunta precisamente a este concepto de oportunidad, conocimiento, posibilidad, en contexto de cuenca (Bollatti et al., 2017).

El Pilar Gris consiste en implementar las prácticas agronómicas que se adapten a la problemática de cada cuenca en particular (excedentes hídricos, erosión hídrica o eólica, problemas de malezas, compactación e infiltración del agua en el suelo, estabilización de rindes, etc.) de manera simultánea a la realización obras hidráulicas de regulación y ordenamiento de los escurrimientos hídricos a nivel de cuenca.

A continuación, se presenta una simulación de consumo de agua según la secuencia de rotación seleccionada (Tabla 9; Fig. 28).



Fotografía 12. Intercambiando conocimientos, opiniones y aprendiendo entre todos

Tabla 9. Análisis basado en evidencias de conocimientos empíricos de como diferentes rotaciones de cultivos afectan el consumo de agua.

	Soja 1°	Soja 2°	Maíz	Trigo	CC	Pastura	Barbecho Sin cultivo	Consumo
Rotaciones	% de participación en la rotación							mm/Ha/Año
Rotación 2016	69.0%	6.0%	16.0%	9.0%	5.0%	9.0%	77.00%	736
Est. 2017	41.0%	20.0%	30.0%	20.0%	5.0%	9.0%	66.00%	777
33% + 9%p	30.3%	30.3%	30.3%	30.3%	5.0%	9.0%	55.60%	793
33% + cc + 9%P	30.3%	30.3%	30.3%	30.3%	60.6%	9.0%	0.00%	859
33% + CC + 15%	28.0%	28.0%	28.0%	28.0%	56.6%	15.0%	0.00%	896
33% + CC + 30%P	23.1%	23.1%	23.1%	23.1%	46.2%	30.0%	0.00%	1002
33% + CC + 50%P	16.5%	16.5%	16.5%	16.5%	33.0%	50.0%	0.00%	1145
50% + 9%P	0.0%	45.5%	45.5%	45.5%	5.0%	9.0%	40.50%	845
50% + CC + 9%P	0.0%	45.5%	45.5%	45.5%	45.5%	9.0%	0.00%	893
50% + CC + 15% P	0.0%	42.5%	42.5%	42.5%	42.5%	15.0%	0.00%	933
50% + CC + 30%P	0.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	30.0%	0.00%	1033
50% + CC + 50%P	0.0%	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%	50.0%	0.00%	1167

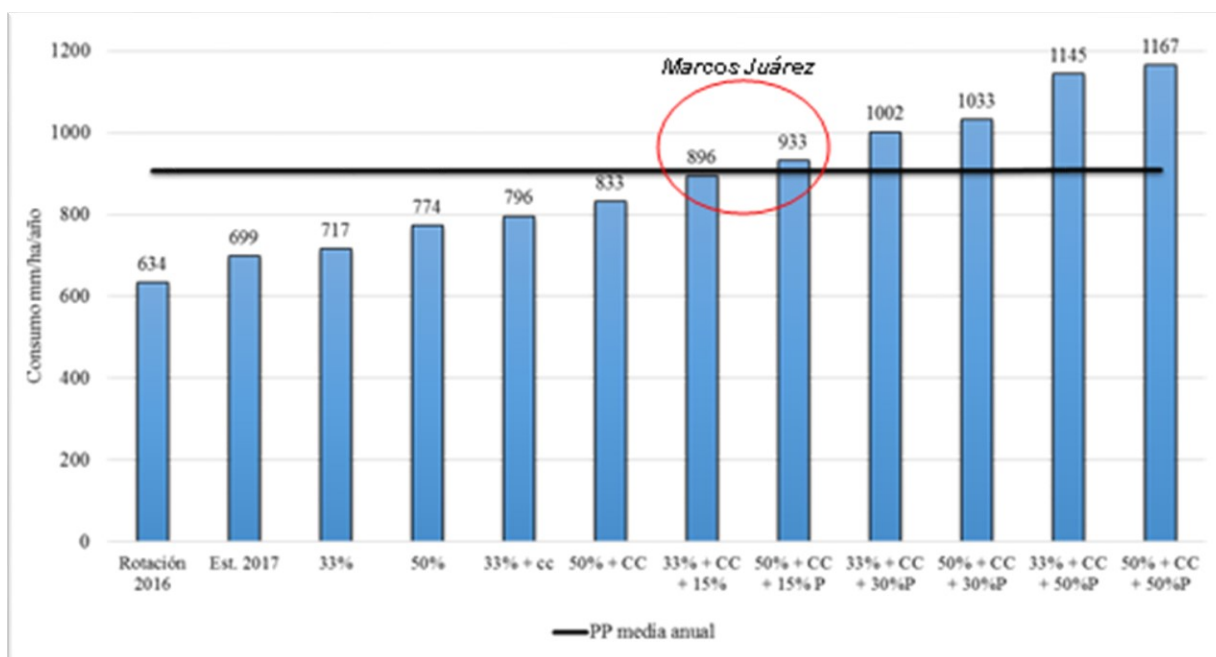


Figura 28. Consumo hídrico anual de las rotaciones agropecuarias para la cuenca Brugnaro en las condiciones de uso actual

Según estudios de Jobbagy et al. (2007) realizados en Vicuña Mackena la presencia de cultivo permitió que un descenso del nivel freático de 50 cm recuperara el nivel

inicial en el centro de un lote de 100 ha en 3 semanas, para una superficie de 5000ha en 3 meses, mientras que si se considera 160.000 ha lo hace al cabo de 1 año.

En la Fig. 29 se esquematiza lo expuesto, es decir, las plantas en el proceso de absorción de agua que les permite obtener nutrientes y desarrollarse, y que fisiológicamente se evalúa a través de su transpiración, está en forma indirecta bombeando y descendiendo el nivel freático, lo cual pone de relevancia el rol clave que tienen los cultivos en general y determinadas rotaciones en particular, para regular el exceso de agua en el perfil de suelo.

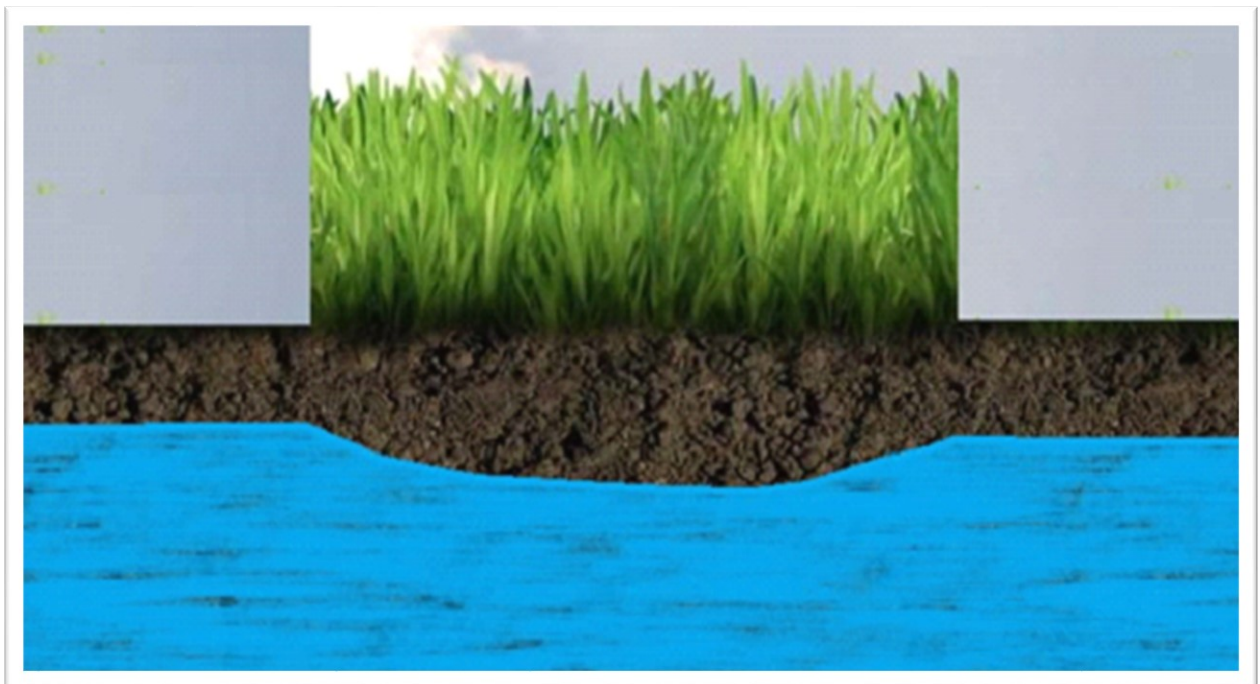


Figura 29. Representación esquemática del efecto del cultivo sobre la regulación del nivel freático

6. CONSIDERACIONES FINALES

La propuesta de gestión integral de la cuenca Brugnaro cuenta con dos ejes complementarios que son la gestión agronómica (Pilar Verde) y la gestión de infraestructura (Pilar Azul). Esta propuesta busca mitigar los daños causados por

excedentes hídricos asociados al cambio de uso del suelo que ha impactado en la profundidad de la napa, escurrimientos, áreas anegadas e intransitabilidad de caminos. Como los límites naturales a los que responde hidrológicamente una cuenca no son necesariamente los catastrales, claramente esta propuesta solo tendrá éxito si ambos ejes se aplican de forma consensuada entre todos los actores que participan en la cuenca en común. Estos actores pueden ser: productores propietarios y arrendatarios. Creemos que la cuenca Brugnaro es un ejemplo concreto, que por su breve extensión nos permite verificar en muy corto plazo, cómo el accionar antrópico en un sitio determinado genera un impacto aguas abajo en el camino que recibe sus excedentes. De ahí que la sustentabilidad es un problema global, que requiere un aporte colectivo. Esta propuesta busca eso que entre todos los involucrados trabajemos por el beneficio colectivo por encima del particular, entendiéndolo que ese bien integra dimensiones: ambientales, económicas y sociales.

Eje de Gestión agronómica “Pilar Verde”:

- Conciliación del uso del suelo en función de la disponibilidad hídrica, también llamado por el grupo de profesionales de inta como #Agroadaptativo.
- Promover la incorporación de cultivos de cobertura y renta invernales.

Eje de Gestión de infraestructura “Pilar Azul”:

- Promover prácticas estructurales como terrazas de base ancha.
- Siembras perpendiculares a la pendiente de terreno.
- Evitar que las cunetas de los caminos conduzcan agua de cuenca a cuenca vecina.

Eje de Gestión integral de cuenca “Pilar Gris”:

Este eje se basa en aplicar los conocimientos hídricos, el consenso entre vecinos para una solución colectiva dentro de los límites que determina la cuenca hidrográfica.

Está basado en un coordinador que ejerce las veces de punto de pivot entre profesionales actuantes, productores, arrendatarios, personas físicas, organismos gubernamentales, ONG, y organismos de ciencia y técnica. Este actor combina entre los diferentes condimentos tejiendo un saco a medida para cada cuenca.



Fotografía 13. Reunión entre técnicos y productores para analizar los trabajos de terraceo en la cuenca Brugnaro, subcuenca C

7. Bibliografía

- Andreucci A.; Conde, MB; Bollatti, P. 2016. Análisis del régimen de precipitaciones y nivel freático en la EEA INTA Marcos Juárez. Período 1948-2015 <https://inta.gob.ar/documentos/analisis-del-regimen-de-precipitaciones-y-nivel-freatico-en-la-eea-inta-marcos-juarez-periodo-1948-2015>.
- Bollatti P Andreucci, A., Escolá, F. 2016. Influencia de los excedentes hídricos en la recarga de los acuíferos libres del sudeste de la provincia de Córdoba. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mj_recarga_acuiferos_sudeste_enero_2016.pdf
- Bollatti P. 2016. DEPRIMIR NAPAS, UN GRAN OBJETIVO Boletín de Actualidad de TodoAgro.com.ar N° 539. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: <https://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/00-inundacion.htm>
- Bollatti P. 2017a. NAPA - Tasas de descenso freático diaria según uso del suelo - INTA Marcos Juárez - Campaña 2016. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/napa-tasas-de-descenso-freatico-diarial-segun-uso-del-suelo-inta-marcos-juarez-campana-2016>
- Bollatti P. 2017b. Influencia de la construcción de un canal en el nivel freático en la EEA Marcos Juárez. Disponible en: [Influencia de la construcción de un canal en el nivel freático en la EEA Marcos Juárez | WebAgro](http://www.webagro.com.ar/actualidad/influencia-de-la-construccion-de-un-canal-en-el-nivel-freatico-en-la-eea-marcos-juarez)
- Bollatti P. 2019. Informe de dinámica freática en los cultivos durante el periodo invernal. Año 2019. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/informe-de-dinamica-freatica-en-los-cultivos-durante-el-periodo-invernal-ano-2019>
- Bollatti P., Bodrero, M. Escolá, F. 2017. ¡Atención! Napas altas: el desafío de actuar en conjunto. <https://inta.gob.ar/documentos/%C2%A1atencion-napas-altas-el-desafio-de-actuar-en-conjunto>
- Bollatti, P. 2018. La importancia del nivel freático en períodos de escasez de precipitaciones Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_napa_precipitaciones_ago18mj.pdf
- Carta de Suelos de la República Argentina, INTA. 1978. Datos climáticos básicos de la serie Marcos Juárez. Datos analíticos de los suelos de la Serie Marcos Juárez. <http://suelos.cba.gov.ar/MARCOSJUAREZ/index.html>
- El agua de napa, una mediadora entre los cultivos y el clima. Suplemento la voz del campo, Viernes 29 de junio de 2007 Disponible en: http://archivo.lavoz.com.ar/nota.asp?nota_id=85615
- Fernandez E, Pizarro L. 2019. Estudio hidrológico cuenca de aporte camino Brugnaro análisis hidrológico y morfométrico de propuesta para ayudar a la mitigación y acción sistémica Informe confeccionado por la Dirección de Conservación de Suelos y Manejo de Aguas, 2019.
- Identificador catastral de IDECOR <https://gn-idecor.mapascordoba.gob.ar/maps/15/view>
- Jobbagy E., Szneider G., Nosetto M., Aragón R., Manga G., Forteza S. 2007. Dinámica de napas y riesgo de inundación: Influencias y efectos en la

variabilidad de los cultivos. Disponible en:

<https://studylib.es/doc/5859658/jobbagy-et-al-2007---mundo-agro>

Jobbágy, E; Nosetto, M; 2009, Napas freáticas: pautas para comprender y manejar su impacto en la producción. Congreso AAPRESID 2009.

USDA, 2009. United States Department of Agriculture (USDA). Soil Conservation Service (SCS). 1975. SOIL TAXONOMY. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbook N°436. 2º Edición 1999.

8. Sistema de Información Geográfica generado

Definición de área de trabajo (AOI) (archivos KMZ, SHP, Geotiff)

Datos vectoriales disponibles (archivos KMZ, SHP, Geotiff)

Datos raster y vectoriales generados (archivos KMZ, SHP, Geotiff)