

CAPÍTULO 6

BALANCE HÍDRICO DE DIFERENTES ESCENARIOS EN LA CUENCA EL MORRO, SAN LUIS.

Saenz, C. A.; Rusoci, N.E. y Colazo, J. C.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA San Luis. Argentina

1- INTRODUCCIÓN	95
2- BALANCE HÍDRICO DE CULTIVOS.....	99
3- BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA	102
4- SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA	102
5- PROPUESTAS DE MEJORA.....	103
6- CONSIDERACIONES FINALES	106
7- BIBLIOGRAFÍA	106

1- INTRODUCCIÓN

La distribución de las precipitaciones en la Provincia sigue un régimen monzónico, la mayoría de las precipitaciones se producen durante el verano, con un marcado descenso de lluvias de este a oeste. Las zonas de mayor nivel de lluvia están asociadas con las Sierras de San Luis y Sierras de Comechingones (Ivkovic et al. 2000).

La cuenca sur del cerro El Morro se ubica en el sector noreste del departamento Pedernera en la provincia de San Luis y constituye una subcuenca del sistema hidrológico del río Quinto. La superficie de la cuenca es de 220.000 ha (Figura 6.1). Puede ser dividida en cuatro subcuencas: Zanjón del Cerro Negro, La Guardia, Río Nuevo y El Quebrachal. En la figura 6.2 se presenta la ubicación y superficie de cada una de ellas.

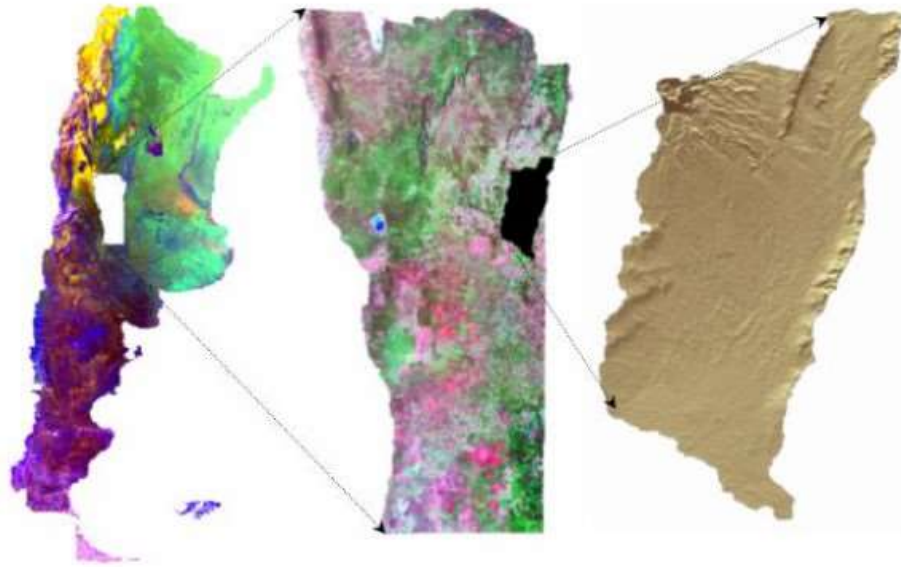


Figura 6.1: Localización de la cuenca El Morro (Galván et al. 2010).



Figura 6.2: Ubicación y superficie de las subcuencas. Adaptado de Galván et al. (2010).

Los suelos son aptos para ganadería con restricciones de uso para agricultura, debido a la susceptibilidad a erosión hídrica y eólica, por lo que requieren prácticas de manejo y conservación.

Estos suelos constituidos por arenas de origen eólico son muy permeables. Por ende, la recarga de agua hacia napas subterráneas es rápida y predominan los procesos relacionados al transporte de agua subterránea.

En la parte baja de la cuenca el agua subterránea se encuentra a menos de 5 m de profundidad, si bien en esta zona la napa aporta agua a los cultivos la misma tiene una conductividad eléctrica de 4 dS m^{-1} (deciSiemens por metro) por lo que su utilización es condicionada por la salinidad que presenta (Saenz 2008).

En la Figura 3 se representa la cuenca con sus principales procesos hidrológicos, la alta permeabilidad de sus sedimentos determina que el agua subterránea sea muy importante en el funcionamiento hídrico de la misma. Aproximadamente a 700 msnm, se produce la aparición de nuevos cursos de agua que involucran procesos de cambio en el transporte de agua, suelos, sedimentos y sales que tienen distintas velocidades de ocurrencia y que se vinculan entre sí (Consejo Federal de Ciencia, Técnica, Desarrollo e Innovación 2015).

Estos cursos generan diversos daños sobre el sistema productivo e infraestructura presentes en la cuenca. Se producen impactos puntuales por erosión o sedimentación producto del escurrimiento superficial. Pero la elevación del nivel freático genera daños difusos por anegamiento y salinización muy severos en una amplia superficie.

Entre las causas que generan este proceso podemos mencionar la acumulación de excedentes hídricos producto de un incremento en las precipitaciones, a razón de 2 mm año^{-1} durante el último siglo; una predisposición geológica y un cambio en el uso de la tierra (Consejo Federal de Ciencia, Técnica, Desarrollo e Innovación, 2015). Este cambio de uso de la tierra representó un avance de la frontera agrícola y el incremento de especies anuales en la rotación de cultivos, principalmente motivada por cambios tecnológicos ocurridos durante la década del 90 mediante la adopción del sistema de siembra directa en la zona.

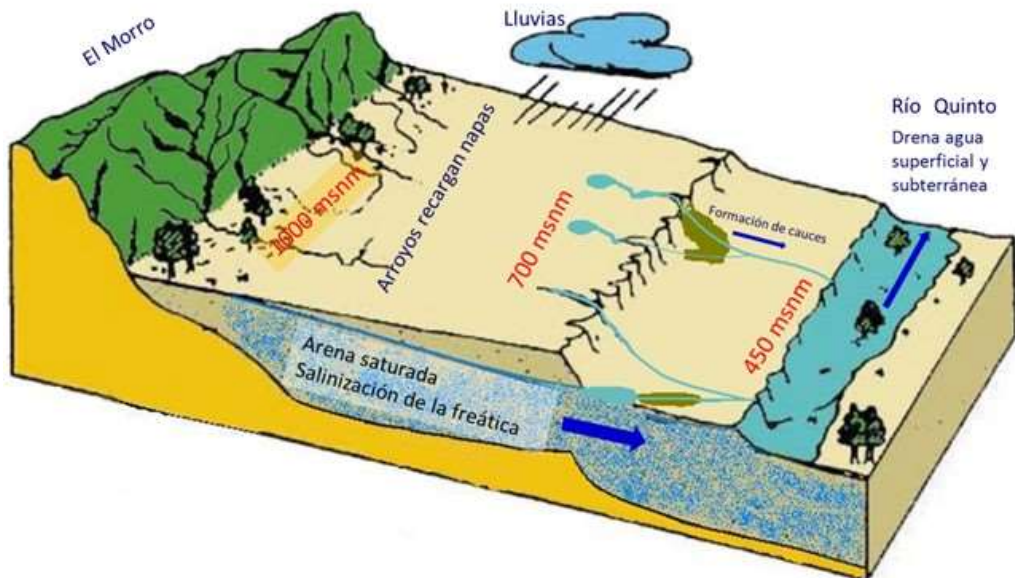


Figura 6.3: Representación de la Cuenca El Morro.

Actualmente en esta área el 77 % de la superficie es agrícola, el 21 % es compuesto por zonas de bosque, salinizadas o afectadas por los cursos de agua y 2 % de pasturas en base a alfalfa que se encuentran principalmente en la parte baja de la cuenca.

Tanto las causas de la problemática de la cuenca como las medidas de mitigación son múltiples. Para atenuar los excesos hídricos, una de las principales herramientas que podemos utilizar es el bio-drenaje, es decir el aumento del consumo de agua por parte de la vegetación, en toda la cuenca y durante todo el año.

Esto implica la aplicación de coberturas verdes intercaladas entre los cultivos de verano, un incremento de la superficie destinada a praderas perennes, y la estabilización de los cursos de agua y las vaguadas mediante pasturas y forestación.

Los cultivos de cobertura (CC) invernal como alternativa a los barbechos largos de invierno son una herramienta de mejora al balance hídrico regional. En la región se pueden utilizar cereales de invierno, de ellos el centeno es el que mejor se adapta. Los cultivos de cobertura tienen múltiples beneficios. Consumen agua del perfil durante el invierno, permiten anclar los rastrojos de los cultivos de verano reduciendo los riesgos de erosión eólica y realizan un aporte importante de carbono al suelo, principalmente a través de sus raíces.

Los cultivos de cobertura tienen una influencia significativa sobre la población de malezas, lo cual permitiría un menor uso de herbicidas (frecuencia de aplicaciones y/o dosis).

Las praderas de alfalfa puras o consociadas constituyen un recurso muy importante para consumir agua, ante la presencia de napa freática cercana a la profundidad de sus raíces, logran consumos de agua y rendimientos a niveles cercanos a los potenciales (Salgado 2011).

El drenaje profundo bajo pasturas de alfalfa tendría un comportamiento similar al de los bosques semiáridos, por lo que representan una alternativa de uso de la tierra en rotación con cultivos anuales (Santoni 2012).

Otra alternativa para estabilizar la cuenca es la inclusión de especies forestales que aportan un importante uso de agua de lluvia y freática, colaborando con la estabilización del suelo.

2- BALANCE HÍDRICO DE CULTIVOS

Se realizó el balance hídrico por subcuenca utilizando como modelo de simulación la planilla de balance hídrico para riego desarrollada por INTA Manfredi (Martellotto et al. 2004).

Con esta herramienta se utilizaron los datos meteorológicos históricos de INTA San Luis, con los que se calculó el año meteorológico típico (Domínguez et al. 2015).

Para determinar el consumo de agua de cada cultivo en relación a la evapotranspiración potencial se utilizaron los valores de k_c (factor de corrección por cultivo) de cultivo propuestos por FAO, 2002 (tabla 6.1).

Se modelaron los balances hídricos para los dos cultivos agrícolas principales que se realizan en la cuenca, soja y maíz, para cuatro fechas de siembra posibles. Los resultados de estos balances se promediaron para cada cultivo.

Tabla 6.1: Valores de Kc de cultivos en distintas etapas fenológicas (FAO, 2002).

Cultivo	Estados de desarrollo del cultivo (kc)					Kc medio
	Inicial	Estado vegetativo	Media estación	Etapas avanzadas	Hacia cosecha	
Alfalfa	0,3-0,4				1,05-1,2	0,85-1,05
Maíz	0,3-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	0,8-0,95	0,5-0,6	0,75-0,9
Soja			1,15		0,5	
Trigo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,2-0,25	0,8-0,9

En años promedio, al finalizar los cultivos de verano se generan excedentes hídricos durante el otoño que producen la recarga de las napas freáticas, por lo que se sugiere el uso de cultivos de cobertura invernal para utilizar estos excedentes. Para el cálculo de consumo de agua por los cultivos de cobertura invernal se utilizaron los valores para trigo, cotejándolos con datos de campo obtenidos localmente en ensayos de cultivos de cobertura.

Estos excedentes hídricos de otoño, sumados a las precipitaciones durante el invierno no alcanzan a cubrir la demanda potencial de los cultivos de cobertura por lo que sufren déficit hídrico y alcanzan un consumo medio de 133 mm, aunque su capacidad potencial de consumo es de 336 mm. Esta situación nos permitiría afrontar excesos hídricos en inviernos húmedos mejorando la cobertura, las condiciones de piso a cosecha y aportando carbono al suelo.

A los efectos de iniciar el balance, para los cultivos agrícolas se consideraron 80 mm de agua útil disponibles en el perfil al momento de la siembra y en el caso de cultivos de cobertura 16 mm.

En el balance hídrico de praderas en base a alfalfa se considera que el consumo de agua es similar a la del monte nativo o forestación, con la salvedad que las especies forestales tienen la posibilidad de extraer agua de la napa desde mayor profundidad. En el caso de praderas en base a alfalfa la limitante es la temperatura invernal debido a que la alfalfa consume agua durante todo el año, mientras que los bosques nativos son perennifolios y su estrato arbóreo no consume agua durante el invierno.

Las pasturas de alfalfa se pueden consociar con especies de invierno de modo de incrementar su consumo de agua. No se tuvo en cuenta el agua útil presente en el perfil al momento de la siembra por tratarse de pasturas perennes. Se puede

considerar que el balance corresponde al 2 año por lo que se estimó el consumo a partir de septiembre.

La alfalfa tiene un kc medio de 0,95 y sus raíces exploran el perfil hasta 3,5 m de profundidad. Dentro de la cuenca las zonas con la freática a menos de 5 m de profundidad contienen agua salina por lo que restringen la producción de forraje y el consumo de agua freática por parte de la pastura aproximadamente en un 50 %.

A los fines de realizar el balance hídrico de la pastura de alfalfa se considera que tiene potencial de evapotranspirar el total de la lluvia media anual de 804 mm. A este consumo de agua se le suma el uso de agua desde la napa, considerando que por ser salina representa 258 mm año⁻¹. Se considera que el consumo anual de un cultivo de alfalfa en la cuenca es de 1062 mm.

En la tabla 6.2 se presenta el resultado de los diferentes balances hídricos simulados. La evapotranspiración del cultivo (Etc), representa el consumo hídrico de cada cultivo.

Tabla 6.2: Balance hídrico para los principales cultivos de la cuenca. Agua útil a la siembra (AUs), evapotranspiración del cultivo (Etc), precipitaciones durante el ciclo (PPc), precipitaciones anuales (PPa) y Balance hídrico anual (BHa). Todos los datos están expresados en mm.

Cultivo	Fecha de siembra	AUs	Etc	PPc	PPa	BHa
Soja	15-Oct	80	644	564	804	160
	01-Nov	80	574	494	804	230
	15-Nov	80	527	447	804	277
	01-Dic	80	580	500	804	224
Maíz	15-Oct	80	522	442	804	282
	01-Nov	80	517	437	804	287
	15-Nov	80	527	447	804	277
	01-Dic	80	580	500	804	224
Alfalfa	01-Sep	0	1062	804	804	-258
Cultivo de cobertura	01-Abr	16	149	133	0	0

3- BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA

Para mitigar la problemática de la cuenca, se deben tener en cuenta las condiciones meteorológicas medias y tomar medidas que favorezcan el consumo regional de agua. El impacto de estas medidas se debe evaluar a escala de cuenca. Mientras que la sumatoria de las decisiones de manejo predial contribuirá al consumo total de agua.

Se evaluaron diferentes combinaciones de uso de la tierra bajo distintos escenarios a nivel de cuenca. Se convirtió el resultado del balance hídrico por cultivo, llevándolo a volumen de agua consumido por hectárea ($\text{hm}^3 \text{ha}^{-1}$). En el caso de los cultivos de soja y maíz se promedió el balance hídrico de las diferentes fechas de siembra analizadas. En la tabla 6.3 se presenta el consumo hídrico en $\text{hm}^3 \text{ha}^{-1}$ para los diferentes tipos de cultivo.

Tabla 6.3: Consumo hídrico para los principales cultivos de la cuenca.

Cultivo	Consumo de agua ($\text{hm}^3 \text{ha}^{-1}$)
Soja	0,00566
Maíz	0,00536
Alfalfa	0,01062
Cultivo de cobertura	0,00133

4- SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA

En la tabla 6.4 se presenta la superficie total de cada subcuenca y la proporción y superficie no agrícola estimada de acuerdo a imágenes satelitales actuales de Google Earth y Landsat Viewer. Se entiende como superficie no agrícola el bosque natural, zona de bajos con vegetación natural y superficie de pasturas implantadas. La superficie con pastura en base a alfalfa se estimó por separado.

Actualmente en la cuenca existe un 77 % de agricultura, los dos cultivos agrícolas principales, soja y maíz representan 60 % y 40 % respectivamente de la superficie agrícola. Del resto, 21 % es área no agrícola y completan la situación 2 % de pasturas en base a alfalfa que se encuentran principalmente en la parte baja de la cuenca.

Tabla 6.4: Superficie total y no agrícola por subcuenca.

Subcuenca	Superficie (ha)	No agrícola (%)	No agrícola (ha)
Zanjón del Cerro Negro	67821	9,5	6104
La Guardia	46161	23,5	10155
Río Nuevo	56125	27,5	11225
El Quebrachal - Villa Mercedes	43229	37,5	15130
Total	213336	23,0	42614

El resultado del balance hídrico de la cuenca se expone como volumen medio de agua excedente, actualmente es de 284 hm³ lo que representa un caudal excedente de 9 m³ s⁻¹ que escurren hacia el río Quinto generando la problemática actual (Figura 6.4).

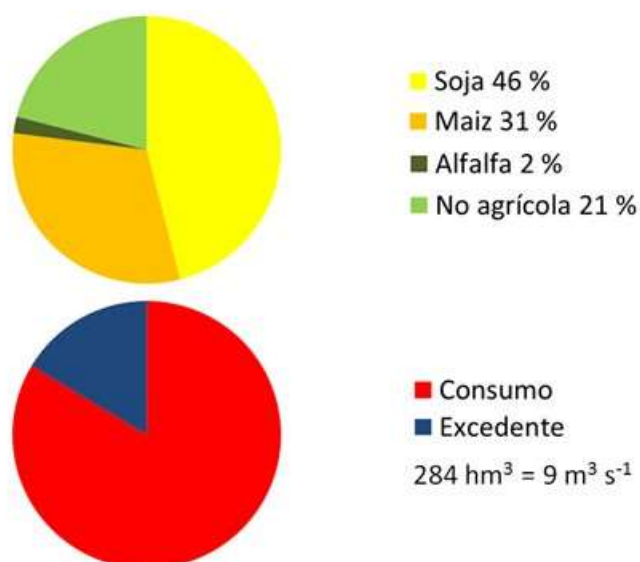


Figura 6.4: Porcentaje de uso del suelo en el gráfico superior y balance hídrico de la situación actual de la Cuenca El Morro en función del aporte de las precipitaciones medias.

5- PROPUESTAS DE MEJORA

Escenario 1: Esta propuesta considera modificaciones al uso actual del suelo, la incorporación de forestación en el 5 % de la superficie de la cuenca y la incorporación de cultivo de cobertura como sucesor de la totalidad del cultivo de soja que se realiza anualmente.

A los efectos de generar el balance hídrico de la situación propuesta se considera que la forestación tiene un consumo de agua similar a una pastura de alfalfa, en el caso de especies perennifolias como por ejemplo el género Eucaliptus, pero esto variará en función de la especie forestal. Se considera que la superficie forestal se implantará 3 % sobre superficie no agrícola y 2 % sobre superficie agrícola, por ende la superficie no agrícola se incrementará 2%. Esta propuesta permitiría reducir 52 % los excedentes hídricos de la cuenca, como se muestra en la figura 6.5, donde el caudal excedente será de $4,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esto demuestra que la inclusión de cultivos de cobertura en una superficie importante de la cuenca regula los excedentes hídricos ya que evitan que entre 100 y 200 $\text{mm} \text{ año}^{-1}$ recarguen las napas (Quiroga 2016). Si bien esto concuerda con los trabajos que afirman que utilizando cultivos anuales no es suficiente para revertir completamente los excesos hídricos (Bertram y Chiachera 2016), la utilización de los mismos tiene la ventaja de producir efectos en el corto plazo.

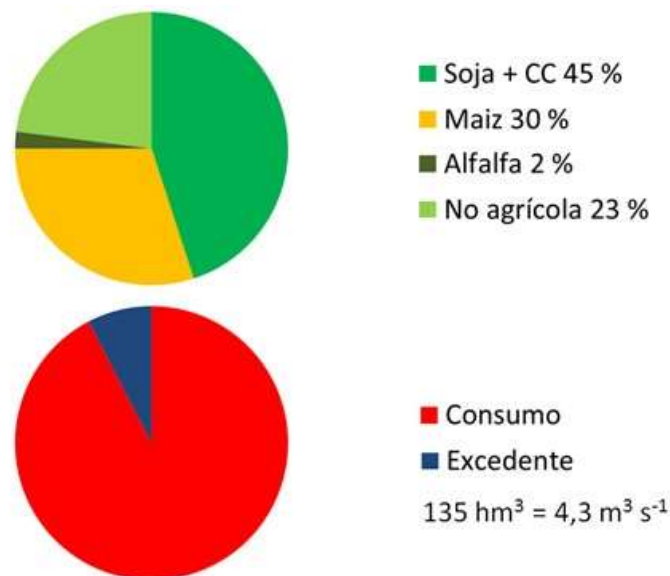


Figura 6.5: Porcentaje de uso del suelo en el gráfico superior y balance hídrico del Escenario 1 en función del aporte de las precipitaciones medias.

Escenario 2: La segunda alternativa de mejora evaluada, es utilizar cultivos de cobertura como cultivo sucesor en el 70 % de la superficie sembrada con soja. Mantener el 5 % de la superficie forestada, principalmente con el objetivo de estabilizar los sedimentos dentro de los cauces, e incrementar la superficie destinada a pasturas perennes en base a alfalfa hasta un 20 % de la superficie de la cuenca. En zonas con

la freática a 1,5 - 3 m de profundidad puede utilizarse alfalfa pura, donde la freática este a menor profundidad se puede consociar alfalfa con agropiro o festuca para incrementar el consumo de agua y favorecer el balance salino en la superficie del suelo.

El balance hídrico de la combinación planteada para este escenario permite eliminar los excedentes hídricos, logrando un balance hídrico neutro (Figura 6.6). La comparación de sitios bajo pasturas perennes con sistemas basados en cultivos anuales en regiones sub-húmedas muestra que los primeros poseen una mayor evapotranspiración, una mayor profundidad del nivel freático y menor riesgo a inundaciones (Nosetto et al. 2015). Este tipo de pasturas en base a alfalfa permitirían incrementar en poco tiempo la evapotranspiración mitigando la problemática actual, alcanzando dentro del año su potencial de consumo de agua. Son utilizadas actualmente en los sistemas productivos de la región, principalmente destinadas a ganadería. Para llevar a la práctica un incremento en la superficie de pasturas es necesario contar con políticas públicas que favorezcan la actividad ganadera. O en su defecto la incorporación de agroindustria local que utilice alfalfa como insumo, esto generaría una mayor demanda local que sería favorable para incrementar su uso.

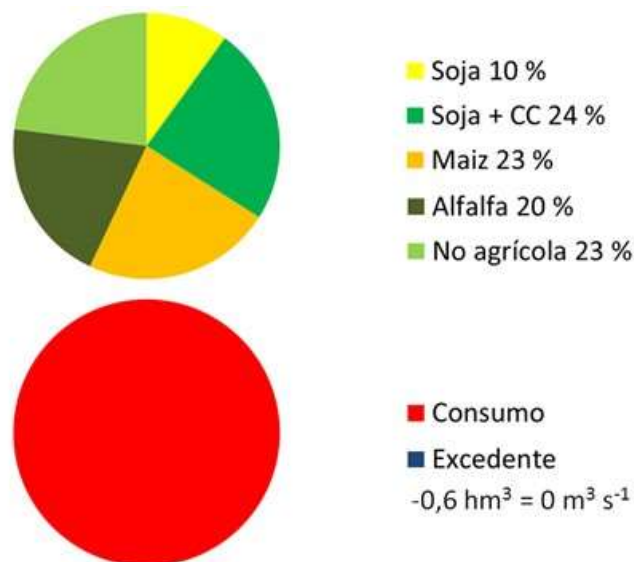


Figura 6.6: Porcentaje de uso del suelo en el gráfico superior y balance hídrico del Escenario 2 en función del aporte de las precipitaciones medias.

6- CONSIDERACIONES FINALES

Este trabajo muestra una aproximación teórica al balance hídrico de la cuenca El Morro y simula el efecto de la incorporación de cultivos de cobertura y pasturas. Mediante diferentes combinaciones se reduciría el excedente hídrico en el corto y mediano plazo, proponiendo algunas alternativas para incentivar la adopción de estas tecnologías.

La orientación de los sistemas productivos de la cuenca hacia alguna de las propuestas planteadas deberá ir regulándose en función del monitoreo de los niveles freáticos, de modo de ir regulando en el tiempo el consumo de agua subterránea y el uso productivo de los excedentes hídricos.

7- BIBLIOGRAFÍA

Bertram, N. y Chiacchiera, S. 2016. Ascenso de napas en la Región Pampeana: ¿Consecuencia de los cambios en el uso de la tierra? Informe técnico. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_napas_mjz_13.pdf.

Consejo Federal de Ciencia, Técnica, Desarrollo e Innovación. 2015. Nuevos Cursos de agua en la cuenca de El Morro. Descripción del fenómeno y pautas para su gestión. Gobierno de la Provincia de San Luis, Conicet, Universidad Nacional de San Luis, INTA y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

Domínguez, A.; Martínez-Romero, A.; Garbero, M. y Saenz, C. 2015. El Riego Deficitario Controlado como una Estrategia para Incrementar la Eficiencia en el Uso del Agua y la Rentabilidad de los Cultivos Extensivos. En: Gestión del suelo y el agua en sistemas productivos de la provincia de San Luis. Ediciones INTA. ISBN 978-987-521-625-9.

FAO. 2002. Yield response to water. Part A of Irrigation and drainage paper N° 33. Disponible en: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/parta.stm>

Galván, M.J. y Collado, D.A. 2010. Escurrimientos Hídricos Superficiales en la Cuenca Hidrográfica de El Morro, Provincia de San Luis. Información Técnica N° 175. ISSN 0327-425X. INTA EEA San Luis.

Ivkovic, K.I.; Kingham, R.; Lawrence, C.; Chartres, C. J.; Mullen, I.; Johnston, R.; Please, P. y Pestov, I. 2000. Los Recursos Hidrológicos Subterráneos de la Provincia de San Luis, capítulo II, pp.17.

Martellotto, E.; Salas, P.; Salinas, A.; Giubergia, J.P.; Ligua, S. y Lobera, E. 2004. Planilla de Balance Hídrico para Riego. INTA Estación Experimental Manfredi.

Nosetto, M.D.; Paez, R.A.; Ballesteros, S.I. y Jobbágy, E.G. 2015. Higher water-table levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the Pampas. *Agric. Eco. & Environ.* 206:60-70.

Quiroga, A. 2016. Utilización de cultivos invernales para mitigar excedentes hídricos. Resúmenes del VIII Congreso Nacional de Trigo. Pergamino.

Saenz, C. 2008. Respuesta del cultivo de maíz y las características físico químicas del suelo al riego complementario con agua subterránea salina en la región semiárida pampeana. Tesis de posgrado de riego y drenaje presentada en la FCA. Universidad Nacional de Cuyo.

Salgado, R. 2011. Respuesta del cultivo de alfalfa a diferentes estados hídricos del suelo. Tesis de Maestría de Riego y Drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

Santoni, C.S. 2012. Circulación vertical del agua y su relación con la vegetación en zonas áridas y semiáridas. Tesis para optar por el título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires. Área Ciencias Agropecuarias.