

**Trabajo final de carrera**

**EL RIEGO COMPLEMENTARIO Y LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LOS  
ACUÍFEROS EN LA ZONA NORTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

**Nombre y Apellido del alumno: Guardo, Martin Ezequiel**

**Nº de Legajo: 26802/9**

**DNI: 36.932.856**

**Correo electrónico: martinguardo@gmail.com**

**Teléfono: (011) 15-6360-8920 y (011) 2104-4063**

**Director: Dr. Ing. Agr. Leopoldo Génova**

**Co-Director: Lic. Claudio Guardo**

**Fecha de entrega: 14-03-2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO .....	7
DESCRIPCION DEL AREA BAJO ESTUDIO .....	16
HIPÓTESIS .....	21
OBJETIVOS .....	21
1.1.Objetivo general .....	21
1.2.Objetivos específicos .....	21
MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
RESULTADOS .....	26
Balances hidrológicos atmosféricos y edáficos.....	27
Balance hídrico atmosférico promedio de los datos de Pergamino Y Junín.....	29
Estimación de la oferta hídrica total.....	35
a) Oferta hídrica superficial. ....	35
b) Oferta hídrica subterránea. ....	36
Variación de los niveles estáticos en los 8 establecimientos agrícolas.....	37
Proyección de los descensos del nivel estático. ....	37
Estimación de la demanda hídrica total. ....	38
CONCLUSIONES .....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Balance Hídrico del área Pergamino. Método de Thornthwaite .....	27
Tabla 2. Balance Hídrico del área Junín. Método de Thornthwaite .....	28
Tabla 3. Balance Hídrico Atmosférico medio de Pergamino y Junín. Período 1980-2010	30
Tabla 4. Balance Hídrico Atmosférico Estación Aero. Junín. Período 1980-2010 .....	31
Tabla 5. Balance Hídrico Atmosférico INTA Pergamino. Período 1980-2010.....	31
Tabla 6. Balance Hídrico del Suelo Serie Pergamino cultivado con maíz Período 1980-2010 .....	32
Tabla 7. Balance Hídrico del Suelo Serie Rojas cultivado con maíz Período 1980-2010	33
Tabla 8. Balance Hídrico del Suelo Serie Salto cultivado con maíz Período 1980-2010 .	34
Tabla 9. Láminas netas y láminas brutas .....	35
Tabla 10. Precipitación efectiva de Pergamino, de Junín y el promedio de ambas, en mm. ....	35

Tabla 11. Precipitación y precipitación efectiva expresada en mm y $\text{mm}^3.\text{ha}^{-1}$ .....	36
Tabla 12. Variación anual de los niveles estáticos del Acuífero Pampeano en los establecimientos agrícolas.....	37
Tabla 13. Proyección de descensos para el Acuífero Pampeano.....	37
Tabla 14. Evapotranspiración de referencia Eto ( $\text{mm}.\text{dia}^{-1}$ ).....	38
Tabla 15. Valores del coeficiente de los cultivos kc de maíz, soja y trigo. ....	38
Tabla 16. Evapotranspiración de los cultivos de maíz, trigo y soja media mensual Etc ( $\text{mm}.\text{mes}^{-1}$ ) Series 1980-2010.....	39
Tabla 17. Necesidades de riego de maíz, soja y trigo ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{mes}^{-1}$ ).....	39
Tabla 18. Volumen mensual neto ( $\text{m}^3.\text{mes}^{-1}$ ) .....	39
Tabla 19. Demanda hídrica total mensual volumétrica VMB, de caudal continuo Qc y dotación de riego Dot.....	39
Tabla 20. Evaluación de exceso hídrico con 5% de uso de las RG.....	40
Tabla 21. Evaluación de exceso hídrico con 10% de uso de las RG.....	40

## INDICE DE FIGURAS

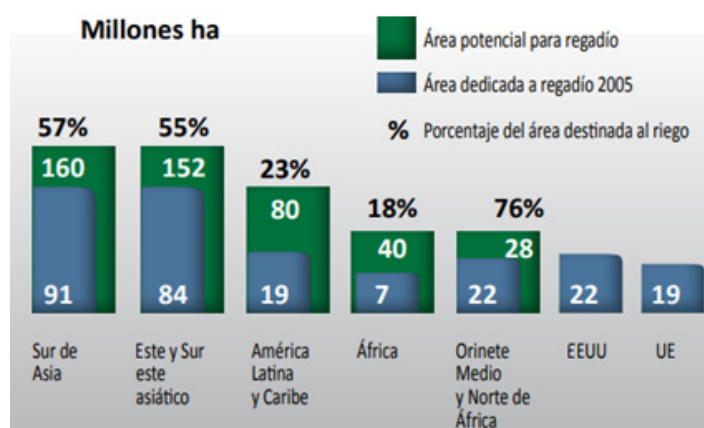
Figura 1. Superficie apta para regadío vs. Superficie efectivamente regada, a nivel mundial. Fuente: Aquastat FAO (2015).....	4
Figura 2. Crecimiento de la superficie cultivada en Argentina. Fuente: Aquastat FAO (2015). ....	5
Figura 3. Crecimiento de la superficie cultivada vs. superficie irrigada. Fuente: Aquastat FAO (2015).....	5
Figura 4. Superficie regada con subterránea y superficial. Fuente: Aquastat FAO (2015). 6	
Figura 5. Aumento de la superficie irrigada.....	7
Figura 6. Área de estudio. Google Earth.....	16
Figura 7. Precipitaciones, evapotranspiración potencial y real de Pergamino .....	28
Figura 8. Precipitaciones, evapotranspiración potencial y real.....	29
Figura 9. Balance Hídrico Atmosférico promedio de Pergamino y Junín. Período 1980-2010 .....	30

## 1 INTRODUCCIÓN

2 El agua es el compuesto químico más frecuente en la Tierra, recubre aproximadamente  
3 el 71 % de la superficie de su corteza, solamente el 2,5 % del total es dulce, el resto es  
4 agua salada. Las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales)  
5 representan solo el 0,3 % del agua dulce del planeta. Se estima que alrededor del 70 %  
6 del agua para consumo humano se destina a la agricultura, según datos de la FAO  
7 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), mientras  
8 que el 20 % lo utiliza la industria y el 10% corresponde al uso doméstico.

9 A nivel mundial, las únicas dos regiones con posibilidades de ampliación de su área  
10 cultivada y también de riego de manera sostenible son África Sub-Sahariana y América  
11 Latina, en la cual se riega sólo un 23% de su superficie potencialmente irrigable.

12 (Figura 1).



13  
14 Figura 1. Superficie apta para riego vs. Superficie efectivamente regada, a nivel mundial. Fuente: Aquastat FAO (2015).

15 En cuanto a la Argentina, es importante señalar que su superficie total cultivada presenta,  
16 en los últimos veinte años (1992-2012), un crecimiento sostenido (de 27,80 millones de  
17 ha en 1992 a 39,04 millones de ha en 2012), con un impulso particular desde 2.002  
18 (Figura 2).

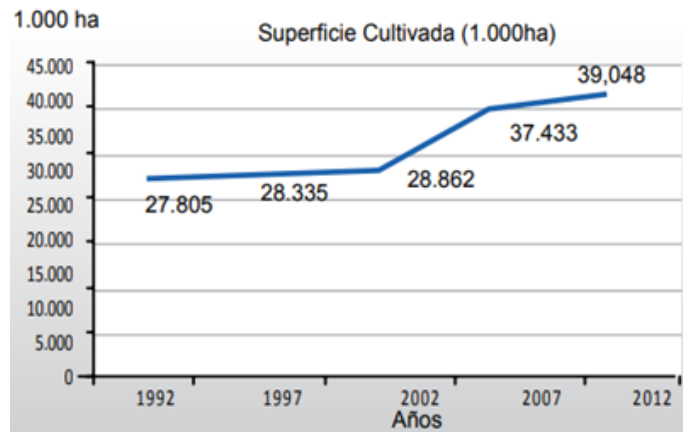


Figura 2. Crecimiento de la superficie cultivada en Argentina. Fuente: Aquastat FAO (2015).

19  
20  
21  
22  
23  
24  
25

La superficie irrigada del país, no ha acompañado la misma tasa de crecimiento, encontrándose que solamente 2,1 millones de ha se encuentran irrigadas, lo que significa un 5% de la superficie actualmente cultivada (39 millones de ha), lo que representa una tasa de crecimiento inferior a las tendencias de otras regiones y de otros países de América Latina. (Figura 3).

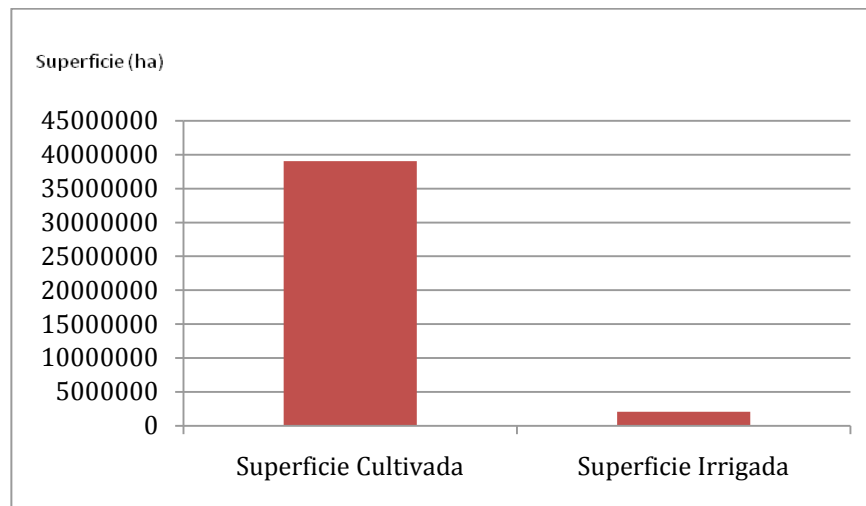


Figura 3. Crecimiento de la superficie cultivada vs. superficie irrigada. Fuente: Aquastat FAO (2015).

26  
27  
28  
29  
30  
31

En la actualidad, la superficie en producción bajo riego señalada anteriormente representa un consumo anual cercano a 44,213 hm<sup>3</sup>. El área con riego representa un 5% de la superficie total cultivada en el país. El 65 % de los 2,1 millones de ha, se riega a partir de fuentes superficiales, y el 35 % restante con agua subterránea. (Figura 4).

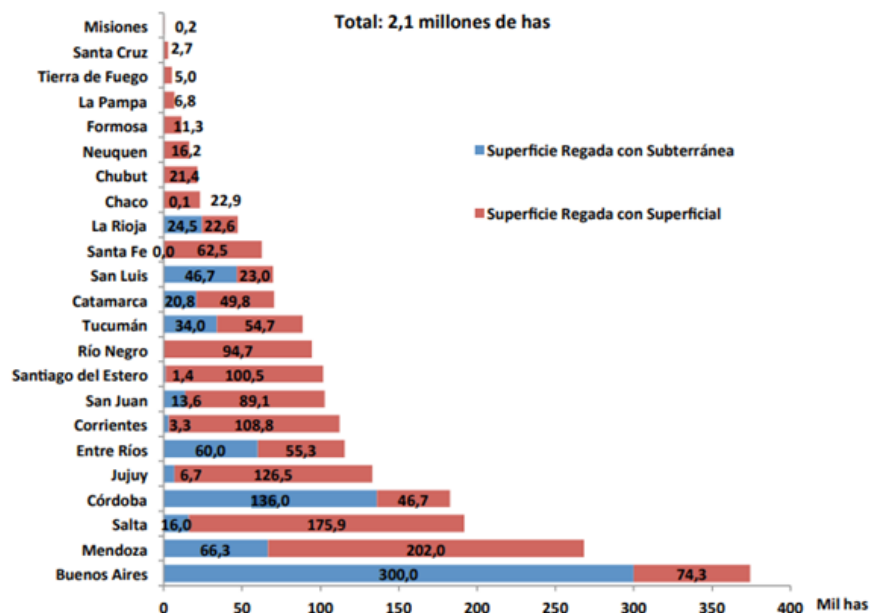


Figura 4. Superficie regada con subterránea y superficial. Fuente: Aquastat FAO (2015).

32

33

34 En 1986 se regaban a nivel nacional 1.539.188 ha, de las cuales 253.510 ha  
 35 correspondían a la zona húmeda, (INDEC, 2002). En 1995, según datos aportados por el  
 36 PROSAP (1995), el área total regada habría decrecido, como consecuencia de las  
 37 problemáticas de las economías regionales. La mayor reducción se produjo en las zonas  
 38 áridas y semiáridas, en tanto que la zona húmeda tuvo un comportamiento opuesto,  
 39 debido principalmente a la expansión de los cultivos de arroz en Entre Ríos y de cereales  
 40 y oleaginosas con riego complementario en Buenos Aires y en el sur de Córdoba y Santa  
 41 Fe (Figura 5).

42

43

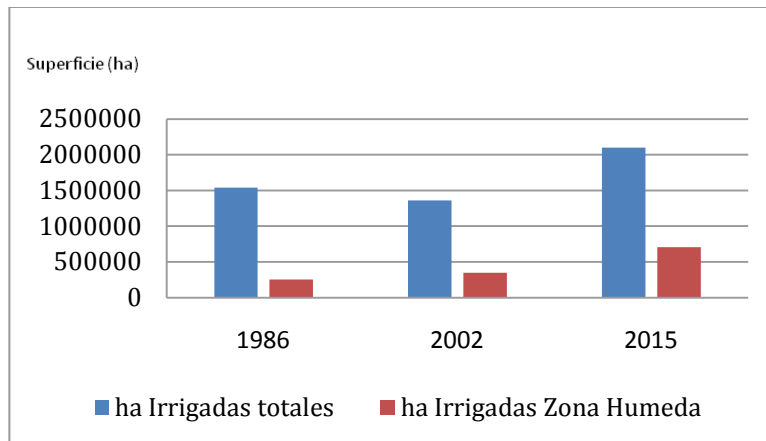
44 El Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2002) arrojó un total de 1.360.000 ha regadas  
 45 frente a las 278 millones de ha que constituyen el total del territorio argentino. Luego de  
 46 la provincia de Mendoza, Buenos Aires, con una superficie de 166.000 ha, ocupaba el  
 47 segundo lugar del área regada (PROSAP, 2005). La interpretación global entre estas  
 48 cifras, indica que en el país se riega proporcionalmente una superficie escasa, del orden  
 49 del 0,49%.

48

49

50 Comparando estos datos con los del Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2002), se  
 repite este mismo comportamiento mostrando un descenso respecto del año 1986 en el  
 total nacional del 12%, pero con un aumento del área regada en la zona húmeda

51 aproximadamente del 40% en 15 años, alcanzando las 346.133 ha, para las provincias  
52 de Buenos Aires, Entre Ríos, Corrientes, Chaco y Formosa.



53

54

Figura 5. Aumento de la superficie irrigada.

55 Estudios realizados por la FAO (Estudio del potencial de ampliación del riego en  
56 Argentina, 2015.) en Argentina, dan resultados que muestran un gran potencial de  
57 ampliación del riego, del orden de 6,2 millones de hectáreas, lo cual representa  
58 aproximadamente tres veces el área actualmente irrigada.

59 Para lograr sustentabilidad en los sistemas agroproductivos es necesario estudiar los  
60 impactos negativos que genera el riego, tanto en el suelo como en los acuíferos, para  
61 poder implementar medidas preventivas y correctivas de las degradaciones ambientales.  
62 Cuando los caudales de extracción de un acuífero superan su recarga, ocurre una  
63 sobreexplotación que generalmente produce su salinización, ya que ingresan aguas  
64 subterráneas más profundas que típicamente son de mayor concentración salina que el  
65 acuífero sobreexplotado.

## 66 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

67 El agua es un recurso indispensable para la producción agropecuaria, su disponibilidad  
68 puede regularse a través del riego. La cantidad de agua que llega al suelo en forma  
69 natural a través de las precipitaciones, es variable, tanto en el tiempo como en el  
70 espacio. Por consiguiente, con la práctica del riego se puede regularizar el régimen de  
71 humedad del suelo para evitar o disminuir el riesgo de pérdida total o parcial del producto

72 cosechable y se acrecienta el nivel de rendimiento de los cultivos, logrando sostener  
73 altos rindes en el tiempo. (Génova et al., 1998).

74 El riego se define como la aplicación artificial de agua al suelo con el fin de suministrar a  
75 las especies vegetales, la humedad necesaria para su óptimo crecimiento y desarrollo.  
76 Implica el mantenimiento de la humedad edáfica, en la zona de mayor actividad de  
77 extracción de agua por parte de las raíces, dentro de un rango que maximiza el  
78 rendimiento fisiológico de los cultivos.

79 Israelsen y Hansen (1979), a mediados del siglo XX, expresaron que la presión  
80 demográfica y las necesidades de cantidades adicionales de alimento, imponen el  
81 desarrollo rápido del regadío en todo el mundo, que si bien reviste capital interés para las  
82 regiones áridas, desempeña un papel cada vez más importante en las regiones  
83 húmedas.

84 Estas afirmaciones se han cumplido y la superficie bajo riego en el mundo creció más del  
85 30% en los últimos 50 años. Es por ello que en Argentina se han distinguido dos tipos de  
86 riego: El riego integral es aquel que se suministra a los cultivos durante todo su ciclo,  
87 debido a la insuficiencia hídrica, se practica en los oasis de las zonas áridas y  
88 semiáridas. El riego complementario se ha difundido en las provincias de Buenos Aires,  
89 Córdoba, Chaco, Entre Ríos, Formosa, Salta, Santa Fe y Tucumán, siendo notable el  
90 incremento del área regada en la Pampa Húmeda, el Sur y Sudeste bonaerenses,  
91 ubicando a Buenos Aires en la segunda provincia más regada del país, detrás de  
92 Mendoza. (Génova et al, 1994a).

93 La principal característica del riego complementario es que las aplicaciones de agua al  
94 cultivo se realizan cuando la humedad del suelo se aleja del rango considerado óptimo,  
95 resultado de la dinámica hídrica generada principalmente por la recarga por lluvias y la  
96 descarga por consumo evapotranspirativo, durante las etapas fenológicas en que los  
97 cultivos presentan elevada sensibilidad al déficit hídrico. Esto permite alcanzar  
98 respuestas productivas máximas, cercanas al potencial genético de las plantas, aunque  
99 la cantidad total de agua regada no supere generalmente los 300 mm por campaña



100 agrícola (Génova et al, 1998). Por lo tanto, el riego complementario difiere del riego  
101 integral, en el número de riegos y fundamentalmente en el volumen total de agua  
102 aplicada, ya que las láminas totales regadas oscilan entre 600 y 1200 mm.

103 El riego abarca la problemática de regularizar el régimen de humedad del suelo,  
104 previniendo y controlando los déficit, tendiendo a mantener un rango óptimo de humedad  
105 edáfica, compatibilizando la demanda evapotranspirativa de los cultivos con la oferta de  
106 agua superficial y subterránea, coincidiendo en tiempo, espacio y cantidad, maximizando  
107 los rendimientos fisiológicos y económicos, utilizando los recursos agua y suelo con  
108 criterios conservacionistas.

109 La economía del agua es vital para el sostén de la actividad humana. En las regiones  
110 húmedas, el aprovechamiento de recursos hídricos en riego complementario contribuye a  
111 minimizar el riesgo de pérdida parcial o total de cosechas e incrementar y estabilizar los  
112 rendimientos fisiológicos y económicos de los cultivos. Aquí, primero debe incorporarse  
113 toda la tecnología de cultivo disponible y, posteriormente, incorporar la práctica del riego.  
114 (Génova 1995a).

115 El recurso subterráneo resulta la primordial fuente de agua para riego complementario en  
116 la región pampeana, siendo las unidades hidrogeológicas más aprovechadas para riego,  
117 el acuífero Pampeano y el acuífero Puelche.

118 Se disponen registros de perfiles litológicos y datos de los parámetros hidrogeológicos  
119 fundamentales de los acuíferos explotables para riego en la zona de estudio. En el  
120 Partido de Rojas existe una perforación en la Plaza Carrasco de dicha ciudad, que data  
121 de los años 30 aproximadamente, ejecutada por la Dirección de Minería de la Nación  
122 (Pflüger J.C., 2007).

123 El perfil geológico obtenido marca la presencia de la Formación Pampeano entre el nivel  
124 de terreno y los 92,5 metros de profundidad. Se halla formado por sedimentos  
125 continentales cuaternarios, con alternancia de loess (limo, arcillas y arena subordinada)  
126 con bancos y nódulos de carbonato de calcio. Entre los 92.5 metros y los 120 metros de

127 profundidad ocurren las arenas Puelches, de edad plio-pleistocenas. Corresponden a  
128 arenas fluviales que en la base presentan restos de conchillas. En la base presentan una  
129 coloración blanquecina y en el tope de las mismas se presentan de tonalidad gris claras.

130 Entre los 120 metros y los 197 metros de profundidad, la litología corresponde a una  
131 limolita arcillosa muy rica en conchillas y fósiles marinos que corresponde al Mioceno  
132 Verde o Formación Paraná, de origen marino conteniendo gran cantidad de sales y edad  
133 neógena. A partir de los 197 metros de profundidad y hasta los 420 metros donde se  
134 suspendió la perforación sin encontrarse el piso de la unidad, se encuentra el Mioceno  
135 Rojo o Formación Olivos, que corresponde a una sucesión de arenas fluviales de  
136 diferente granulometría pobres en carbonatos de calcio y de color rojo, también  
137 neógenas.

138 El Puelches es muy delgado, de sólo 27,5 metros lo que lo hace muy vulnerable y las  
139 perforaciones en el Pampeano muy profundas que extraigan grandes caudales favorecen  
140 el ascenso de agua salada del verde al Puelches.

141 Respecto de los parámetros hidrogeológicos fundamentales, la transmisividad, que  
142 corresponde al volumen de agua por sección unitaria que se moviliza en el acuífero,  
143 alcanza un valor de  $350 \text{ m}^2.\text{día}^{-1}$ , la conductividad hidráulica presenta un rango de  
144 valores comprendidos entre 5 y 10  $\text{metros.día}^{-1}$ , una velocidad efectiva del flujo de agua  
145 que varía entre  $12 \text{ cm.d}^{-1}$  y  $30 \text{ cm.d}^{-1}$ , fluctuando, según el gradiente y la permeabilidad.

146 Para el Partido de Pergamino, Ruiz et al. (2016) manifestaron que los sedimentos que  
147 integran la columna estratigráfica se reconocen a través de un conjunto de perforaciones  
148 realizadas en la ciudad de Pergamino, por la Dirección de Obras y Servicios Sanitarios, y  
149 en las localidades de Acevedo y Guerrico y por la Dirección de Minas de la Provincia de  
150 Buenos Aires. Estudios de Bertol de Santos (1987 y 1988), permiten identificar materiales  
151 de edad terciaria y cuaternaria, integrados de base a techo por las siguientes  
152 formaciones:

153 Sedimentos Pampeanos: Integrado por limo con fracciones subordinadas de arena y  
154 arcilla, de tonalidad castaño amarillento y castaño rojizo, e intercalaciones calcáreas en  
155 forma de nódulos o bancos continuos (tosca). Se extiende hasta una profundidad de  
156 aproximadamente -21,5 m en el ejido urbano, donde presenta un espesor variable que  
157 alcanza máximos de 95 m.

158 Arenas Puelches: Arenas cuarzosas, medianas y finas de color amarillento y  
159 blanquecino, con espesores entre 10 m y 25 m, que se ubican a una profundidad de - 25  
160 msnm.

161 Formación Paraná o Mioceno Verde: Secuencia marina de arcillitas, arenas arcillosas y  
162 arenas con grava, de coloración verde azulada, con niveles calcáreos y yesíferos.  
163 Presenta un espesor variable de 70 m que se dispone a partir de - 30 msnm.

164 Formación Olivos o Mioceno Rojo: Areniscas arcillosas y arcillas arenosas rojizas de  
165 origen continental, con participación eólica y fluvial, que se disponen a una profundidad  
166 mayor a - 100 msnm (reconocido en la perforación hasta - 110 msnm).

167 Teniendo en cuenta la potencia del acuífero Pampeano, con un rango comprendido entre  
168 50 y 55 metros, y en función de información antecedente de ensayos de Bombeo  
169 (Hidroprospec SRL, comunicación personal), practicados con caudales que oscilan entre  
170 28 y 125 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> se han observado depresiones del orden de los 7 y 20 metros de  
171 depresión, lo que implica caudales específicos del orden de los 4 a 7 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>. (metros  
172 cúbicos / hora por metro de depresión).

173 El uso del agua subterránea produjo grandes cambios en la utilización del recurso,  
174 permitiendo la introducción y aplicación de métodos de riego modernos, pero por otro  
175 lado, la disponibilidad de recursos hídricos está cada vez más comprometida, debido a la  
176 disminución de la oferta por contaminación y al aumento de la demanda por la  
177 competencia en sus usos alternativos (humano, agrícola, ganadero, industrial, recreativo,  
178 generación de energía). Por ende, se hace indispensable manejar el aprovechamiento de

179 los recursos hídricos, con razonamientos que afirmen la sostenibilidad de los sistemas  
180 productivos.

181 El recurso hídrico subterráneo constituye una fuente muy importante en el país, cuyo  
182 empleo para fines de riego ocurre en la mayoría de las zonas regadas, siendo a veces la  
183 única posibilidad de aprovechamiento de recursos hídricos.

184 Los acuíferos subterráneos son formaciones sedimentarias saturadas de agua, cuyo  
185 estudio corresponde a la rama de la geología denominada hidrogeología, que comprende  
186 su prospección, exploración y explotación, basado en el conocimiento de su estática y  
187 dinámica.

188 Los acuíferos, según su posición en el suelo y subsuelo, pueden ser someros o  
189 subsuperficiales o profundos. El acuífero somero se denomina acuífero freático, capa  
190 freática o manto freático y se trata de un acuífero libre. Su cercanía a la superficie  
191 determina que esté bajo la influencia de la presión atmosférica. Participa activamente en  
192 los flujos verticales de entrada y salida de agua desde y hacia la atmósfera. Su  
193 explotación es función de la transmisividad, que involucra el espesor o potencia del  
194 cuerpo geológico. Aquellas zonas con mayor espesor permitirían alumbrar caudales  
195 continuos como fuente de agua para riego, aunque en general ocurre infrecuentemente.

196 Por otro lado, muchos acuíferos profundos permiten la extracción de caudales  
197 compatibles con las necesidades de riego de los establecimientos agropecuarios y  
198 forestales, incluso a nivel zonal o regional, para abastecer grandes superficies bajo riego.

199 De acuerdo con la condición piezométrica, estos cuerpos portadores de agua, pueden  
200 clasificarse como libres, semiconfinados y confinados. Los acuíferos libres sufren la  
201 influencia de las acciones atmosféricas por la proximidad con la superficie topográfica. En  
202 todos los casos, la saturación de los espacios porosos del sedimento ocurre por la  
203 presencia de un piso o hidroapoyo. Éste corresponde a un cuerpo sedimentario de menor  
204 conductividad hidráulica que el estrato superior, donde se ubica el acuífero propiamente  
205 dicho, mientras que los acuíferos confinados poseen un tope, proporcionado por un

206 cuerpo sedimentario, con características similares al situado en la base del mismo. Los  
207 acuíferos semiconfinados presentan una mayor conductividad hidráulica, pero mantienen  
208 una restricción hidrolítica, que evita la incidencia de la presión atmosférica.

209 La obra más común de captación de agua subterránea es la perforación, que cuando  
210 alcanza los estratos del acuífero, permite la medición del nivel de agua. En el caso de la  
211 capa freática, el nivel del agua en el pozo estará equilibrado con la presión atmosférica,  
212 mientras que, en los acuíferos semiconfinados y confinados, ascenderá dentro del pozo  
213 hasta equilibrarse con la presión atmosférica y generalmente al mismo nivel de la  
214 freática. El ascenso del nivel de agua en estos acuíferos está relacionado con la presión  
215 hidrostática. A esa condición se le asigna el nombre de nivel piezométrico.

216 El nivel superior de agua en un pozo sin extracción de agua, se denomina nivel hidráulico  
217 estático (NE), mientras que para cada caudal de abastecimiento, si se mantiene  
218 invariable, existirá un nivel inferior de agua en el pozo, denominado nivel hidráulico  
219 dinámico (ND), equilibrado con cada caudal de extracción. La diferencia entre los niveles  
220 estático y dinámico, se denomina depresión o descenso (s) de pozo, que resulta ser la  
221 diferencia algebraica entre dichos niveles hidráulicos, expresada en unidad de longitud.

222 Una de las metodologías más frecuentes y efectivas para estudiar las características de  
223 los acuíferos son los ensayos de bombeo. Éstos dan dos tipos de respuestas, por un  
224 lado, el conocimiento de las características hidráulicas del acuífero, independientemente  
225 del tipo de pozo y su equipamiento, que surgen de efectuar mediciones de caudales y  
226 niveles piezométricos de un pozo, relacionándolos con los niveles piezométricos de una  
227 serie de pozos de observación ubicados, geoméricamente, en relación al de bombeo. Si  
228 se extienden espacialmente, estos estudios tienen alcance de carácter regional,  
229 permitiendo construir y validar balances hídricos. Por el otro, el conocimiento del  
230 rendimiento y la depresión de un pozo de estudio, permite definir la obra de un pozo de  
231 explotación y el tipo de equipamiento adecuado para las condiciones óptimas de  
232 alumbramiento. Los alcances de estos ensayos o test de bombeos son locales y permiten  
233 diseñar y operar pozos de acuerdo con la oferta y demanda de agua. Desde el punto de

234 vista técnico, consiste en bombear un pozo instalado en un acuífero, cuyo espesor o  
235 potencia es conocida, generando distintos caudales, para lo cual es necesario contar con  
236 un motor que permita variar las revoluciones por minuto de la bomba. Para cada caudal  
237 estabilizado, se mide el abatimiento o depresión en el pozo, el que crecerá con caudales  
238 mayores.

239 Para saber si las captaciones de agua subterránea se desarrollan bajo una gestión  
240 responsable, es necesario determinar el distanciamiento óptimo que debe respetarse  
241 entre los pozos de explotación.

242 Los procedimientos hidrogeológicos para caracterizar la dinámica de los acuíferos  
243 requieren de información sobre ciertas variables, como los niveles estáticos y dinámicos,  
244 el coeficiente de almacenamiento y la porosidad eficaz.

245 Las reservas regulatrices o reguladoras (RR) corresponden al volumen de agua  
246 fluctuante dentro del acuífero por efecto de la recarga natural del mismo. Se refiere al  
247 volumen almacenado entre las máximas y mínimas variaciones del nivel estático a lo  
248 largo de un año hidrológico o si se dispone de datos estadísticos en mayor lapso de  
249 tiempo. Se calculan mediante la ecuación 1.

250 
$$RR = A \cdot \Delta h \cdot I_e \text{ (ec. 1) donde:}$$

251 RR= reserva regulatriz, en  $m^3$

252 A= área comprometida, en  $m^2$

253  $\Delta h$ = variación del nivel estático, en m.

254  $I_e$ = infiltración eficaz, adimensional.

255

256 Las reservas geológicas, profundas o seculares (RG) corresponden al volumen de agua  
257 contenida entre el nivel estático más bajo y el piso impermeable de la capa. Se calculan  
258 mediante la ecuación 2.

259 
$$RG = A \cdot E \cdot I_e \text{ (ec. 2) donde:}$$

260 RG= reserva geológica profunda, en  $m^3$

261 A= área comprometida, en  $m^2$

262 E= espesor, en m.

263 La variación del nivel estático en un acuífero se puede calcular con la ecuación 3 de  
264 Blarasin, M. *et al.* 2002.

265 
$$I_e = \pm S \cdot \Delta h \text{ (ec.3) donde:}$$

266  $I_e$ = infiltración eficaz, adimensional

267 S= coeficiente de almacenamiento del acuífero, adimensional.

268  $\Delta h$ = variación del nivel estático en m.

269 La infiltración eficaz se puede estimar mediante el método de Thornthwaite (1948) quien  
270 propuso que el 50% del excedente de agua de un mes se escurre hacia los ríos durante  
271 el mes en cuestión y el resto se infiltra hacia las capas profundas. El coeficiente de  
272 almacenamiento corresponde al valor de la porosidad efectiva. La variación del nivel  
273 estático se calcula como el cociente entre  $I_e$  y S.

274 Para diagnosticar la situación de un territorio respecto de los recursos hídricos  
275 disponibles y aprovechables, es esencial caracterizar la oferta y demanda hídricas.

276 La oferta hídrica está integrada por tres grandes formas de presentación en la naturaleza:  
277 la atmosférica, la superficial y la subterránea.

278 La demanda hídrica integra los requerimientos de agua por parte de los sistemas  
279 productivos vegetales, no sólo las necesidades hídricas de las plantas, sino las pérdidas  
280 de agua en los sistemas de captación, almacenamiento, conducción y aplicación y otros  
281 requerimientos de manejo, como en el caso de satisfacer los requisitos de lixiviación.

282 La disponibilidad del recurso agua para riego está integrada por tres características  
283 fundamentales, la oportunidad en que se disponga, que debe ser coincidente con el  
284 período de requerimiento, la cantidad, expresada en volumen y/o caudal y la calidad o  
285 aptitud de uso para riego, ya que para establecer la posibilidad de utilización de las  
286 cantidades deseadas, no alcanza con definir el volumen de agua en función de su  
287 probabilidad de existencia y su accesibilidad, en términos de viabilidad económica de su  
288 captación, sino que esté acompañada de una aptitud determinada, sujeta a manejo

289 agronómico que asegure la sostenibilidad de los agroecosistemas. No sólo interesa la  
290 factibilidad de uso actual del recurso hídrico, sino evaluar el impacto ambiental que dicho  
291 uso implique.

292 En términos agroecológicos, es necesario conocer, estimar, prevenir y controlar las  
293 posibles degradaciones del medio, principalmente el suelo agrícola y los cuerpos de agua  
294 superficiales y subterráneos, de tal manera de mantener la productividad, la confiabilidad,  
295 la equidad, la adaptabilidad, la estabilidad y la resiliencia de los agroecosistemas.  
296 (Herrick, J. & M. Wander. 1998).

### 297 **DESCRIPCION DEL AREA BAJO ESTUDIO**

298 El área bajo estudio está situada en los partidos de Pergamino, Rojas y Salto, al norte de  
299 la provincia de Buenos Aires, que integra parcialmente la Zona Núcleo Maicera (ZNM).  
300 En dicha área se ubican los 8 establecimientos agrícolas donde se realizó el trabajo, de  
301 superficie variable, entre 130 a 3.843 ha, de los cuales dos se sitúan en Pergamino, tres  
302 en Rojas y tres en Salto, totalizando 6.052 ha, de las cuales 1.576 ha son irrigadas  
303 anualmente, a consecuencia del éxito logrado por la adopción del riego complementario,  
304 utilizando principalmente aguas subterráneas del acuífero pampeano, que se aplican  
305 mediante sistemas de riego mecanizado, prevaleciendo el pivote central, siendo los  
306 principales cultivos regados el trigo, el maíz y la soja. (Figura 6).

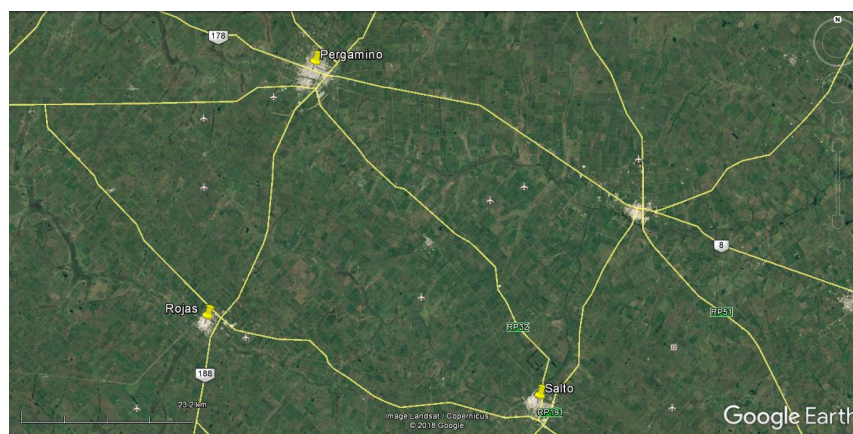


Figura 6. Área de estudio. Google Earth.

307  
308

309 Los modelos de manejo agronómicos bajo riego preponderantes son la producción de  
310 semilla de maíz, de grano de maíz, de soja de primera y segunda siembras y de trigo,



311 manteniendo vigentes otros modelos productivos de secano, cereales, oleaginosas y  
312 pasturas puras y consociadas de leguminosas, en rotación agrícola-ganadera,  
313 fundamentalmente con el propósito de mantener la sustentabilidad en el tiempo de los  
314 modelos agroproductivos.

315 El clima es templado, con temperaturas que varían entre los 4,2 °C y los 31,9 °C, la  
316 precipitación media anual es de 1023,2 mm.año<sup>-1</sup>, según datos obtenidos y promediados  
317 entre la EEA INTA Pergamino y el Aeródromo de Junín correspondientes a un rango  
318 comprendido de treinta años, entre 1980 y 2010, con invierno como estación seca, en  
319 tanto que el mayor déficit hídrico ocurre en los meses de verano.

320 Las perforaciones están equipadas con una bomba centrífuga de eje vertical y un motor  
321 Diesel, vinculados por una transmisión cardánica en cabezal. Los cuerpos de bomba  
322 constan de 7 impulsores, que extraen caudales que oscilan entre 100 y 115 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> con el  
323 objetivo de complementar la precipitación durante el ciclo del maíz destinado a la  
324 producción de semilla básica. Los caudales erogados se conducen mediante tubería  
325 subterránea desde las bombas hasta los centros de los pivotes.

326 La mayor participación en el área cultivable y regable de los establecimientos cuenta con  
327 suelos clasificados taxonómicamente como del Orden Molisoles, Suborden Udoles, Gran  
328 Grupo Argiudoles, Subgrupo Argiudol vértico y Argiudol típico. Familia fina mixta y  
329 térmica. La textura de los mismos es franco arcillo limosa, con horizontes Bt fuertemente  
330 texturados, con elevados contenidos argílicos. Son suelos oscuros, pesados y muy  
331 profundos, que ocupan lomas planas extendidas, son moderadamente bien drenados, de  
332 excelente aptitud agrícola, ya que categorizan como de Clases I 1 y I 2, e índices de  
333 productividad IP = 85-95, de los más altos entre los suelo argentinos. Estos ocupan áreas  
334 homogéneas en lomas planas y extendidas a lo largo del litoral bonaerense, el paisaje es  
335 suavemente ondulado, con pendientes ligeras, entre 0 y 1 %.

336 Para la localidad de Pergamino, el perfil típico del Argiudol vértico de la Serie Ramallo,  
337 tiene un contenido hídrico a capacidad de campo Wc, promedio ponderado de los

338 primeros cinco horizontes (A11-A12-B1-B21t-B22t), del 33 %, marchitez permanente  
339  $W_m = 17\%$ , agua útil  $AU = 16\%$  y una densidad aparente  $D_{ap} = 1,15 \text{ g.cm}^{-3}$ . Para la  
340 localidad de Rojas, el perfil típico del Argiudol típico de la Serie Rojas, presenta un  $W_c$ ,  
341 promedio ponderado de los primeros cuatro horizontes ( $A_p$ , A12, B1 y B21t), del 25 %,   
342  $W_m = 13\%$ ,  $AU = 12\%$  y  $D_{ap} = 1,18 \text{ g.cm}^{-3}$ . Por último, para la localidad de Salto, el perfil  
343 típico del Argiudol ácuico de la Serie Chacabuco, tiene una  $W_c = 28\%$ ,  $W_m = 14\%$ ,  $AU =$   
344  $14\%$  y  $D_{ap} = 1,2 \text{ g.cm}^{-3}$ , obtenido con valores medios de los horizontes  $A_p$  y B1.

345 Auge (2004) y González. (2004), han establecido una diferenciación de ambientes y  
346 regiones hidrogeológicas, en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires. Esta  
347 diferenciación se ha efectuado, teniendo en cuenta los factores de mayor incidencia en la  
348 formación y dinámica del agua subterránea, estos son la geología y la geomorfología de  
349 la región, ya que el clima y la biota poseen menor influencia, dada su mayor uniformidad.  
350 Auge (2004) y González. (2004).

351 El área de influencia del presente trabajo, comprende el sector norte de la Provincia de  
352 Buenos Aires, siendo sus límites, los siguientes: al NO la Provincia de Santa Fe; al NE y  
353 SE los ríos Paraná y de la Plata, respectivamente y al SO la divisoria entre las cuencas  
354 hidrográficas del Plata y del Salado. Es el ambiente más propicio de la provincia para el  
355 riego, pues a la abundancia de agua superficial dulce (ríos Paraná y de la Plata), se  
356 agregan la calidad y la disponibilidad de agua subterránea, la aptitud de los suelos y el  
357 clima, y la favorable condición geomorfológica, que facilita el drenaje superficial y por  
358 ende limita los anegamientos al Delta del Paraná y a las planicies de inundación de ríos  
359 importantes como Luján, Reconquista, Matanza, Paraná y de la Plata.

360 Según Auge (2004) existe un notorio predominio del escurrimiento superficial hacia el NE  
361 (Cuenca del Plata) en relación al SO (Cuenca del Río Salado).

362 Las condiciones geomorfológicas, con pendientes bajas (del orden de  $10^{-3}$ ) y las  
363 características edafológicas y geológicas, favorecen el proceso de infiltración y por ende  
364 la recarga.

365 Respecto las características geológicas, se describen resumidamente las distintas  
366 unidades geológicas reconocidas en el área, a través de perforaciones de estudio,  
367 efectuadas hasta distintas profundidades, por diversos organismos públicos tanto  
368 provinciales como nacionales. Dichas unidades son: basamento cristalino y las  
369 formaciones Olivos, Paraná, Puelches y Pampeano.

370 El Basamento Cristalino conforma la unidad más antigua reconocida, alcanzada por la  
371 Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires en la localidad de Hudson, con  
372 cota de -359.7 m.b.n.m. y con variaciones desde -330 m.b.n.m. en el puente Pueyrredón  
373 hasta - 450 m.b.n.m. en Lomás de Zamora. Este basamento, que aflora a pocos km en la  
374 isla Martín García (Río de la Plata) y en la República Oriental del Uruguay, se profundiza  
375 hacia la cuenca del río Salado en la provincia de Buenos Aires, y vuelve a aparecer en  
376 superficie formando el sistema Serrano de Tandilia. Está compuesto por gneises  
377 graníticos de edad precámbrica.

378 La Formación Olivos fue originada por el depósito sobre el basamento, de sedimentos  
379 reconocidos como areniscas y arcillas de color castaño a rojizo, con intercalaciones  
380 calcáreas, conglomerádicas y abundante yeso y anhidrita de origen continental.

381 Luego del depósito de la Formación Olivos, un extenso mar cubrió, en el Mioceno, gran  
382 parte de la Llanura Chaco-Pampeana cuya dinámica dejó como evidencia geológica el  
383 depósito denominado Formación Paraná, de gran espesor, con arcillas verde azuladas e  
384 intercalaciones de areniscas, niveles calcáreos compactos y restos de fósiles marinos.

385 La Formación Puelches se originó con el retiro del mar parariano hacia el sudeste, que  
386 creó las condiciones para la conformación de un gran sistema fluvial desarrollado, sobre  
387 los depósitos dejados por este mar y proveniente en última instancia del área cratónica  
388 brasileña. Conforme se originaba el retroceso del mismo, se producía el avance de  
389 extensos canales, en algunos casos de gran profundidad, que transportaban y  
390 depositaban cuerpos sedimentarios que se interdigitaron, en forma lateral, dando origen  
391 a un depósito, excepcionalmente, continuo reconocido en gran parte de las provincias de  
392 Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires y franja oriental de Chaco y Formosa. Es muy factible

393 que los mismos se correspondan con sedimentos aflorantes y enterrados en la provincia  
394 de Entre Ríos y Corrientes como es el caso de la Formación Ituzaingó. Conforman una  
395 secuencia de arenas cuarzosas, castaño amarillentas a blanquecinas de gran selección  
396 granulométrica y composicional con intercalaciones arcillosas de variado espesor. De  
397 aquel sistema fluvial se preserva hoy el río Paraná, que al llegar a la llanura deposita su  
398 carga de arena que transporta desde la alta cuenca. La edad de esta formación es Plio-  
399 Pleistoceno inferior.

400 Por último, los sedimentos del Pampeano agrupan a las Formaciones Ensenada y  
401 Buenos Aires, o Ensenadense y Bonaerense creadas por Ameghino en 1889, siendo las  
402 dos unidades muy similares y en algunos casos de difícil separación. Por lo tanto,  
403 actualmente a este conjunto se lo agrupa en general como “sedimentos pampeanos”.  
404 Abarcan gran parte de la llanura Chaco-Pampeana y son depósitos medianos a finos,  
405 limos y arcillas con intercalaciones calcáreas concrecionales o tipo mantiformes (tosca).  
406 El color es castaño con tonalidades amarillentas a rojizas. En gran medida, corresponden  
407 a sedimentos transportados por el viento desde la cordillera, ya emergida para esa  
408 época, desde los llanos secos y con escasa vegetación que se formaron hacia el este de  
409 la misma. Inmensas nubes de polvos y trizas vítreas de los volcanes cordilleranos  
410 alcanzaron a depositarse hasta el Atlántico, dando origen al conocido loess pampeano,  
411 que fue retrabajado por ríos, arroyos y pequeños cursos de agua, redepositándolos en  
412 cauces y planicies costeras, hasta la actualidad.

413 En la base de esta unidad se suele encontrar arcillas limosas de coloraciones grises a  
414 verdosas, de espesores generalmente entre 1 y 5 m, que constituyen la base del Grupo,  
415 en contacto con el techo de la Formación Puelches.

416 El acuífero Pampeano se extiende en las provincias hidrogeológicas de la Llanura  
417 Chaco-Pampeana Árida (650.000 km<sup>2</sup>) y Llanura Chaco-Pampeana Húmeda (350.000  
418 km<sup>2</sup>) que, en conjunto, ocupan el 37% del área continental argentina. El acuífero  
419 Puelches sólo se presenta en una parte de la Llanura Chaco-Pampeana Húmeda. En  
420 ambas llanuras, prevalecen en el subsuelo sedimentos limoarenosos de color castaño y

421 origen eólico, denominado Loess pampeano (Frenguelli, 1950, citado por Auge, 2004).  
422 Su gran extensión geográfica es interrumpida por otros tipos litológicos, como los  
423 depósitos arenosos formadores de médanos, los lacustres, en general pelíticos y los  
424 aluviales, en las cercanías a los cauces.

## 425 **HIPÓTESIS**

426 En el área bajo estudio, los caudales de agua subterránea captados para la utilización en  
427 riego complementario de los cultivos de trigo, maíz y soja, no alteran el balance hídrico  
428 de los acuíferos, debido a que el volumen de la recarga compensa el caudal de  
429 extracción de los mismos.

## 430 **OBJETIVOS**

### 431 **1.1. Objetivo general**

432 Estimar la oferta y demanda hídricas de los cultivos de trigo, maíz y soja, para establecer  
433 el balance hídrico regional.

### 434 **1.2. Objetivos específicos**

435 Estimar la oferta hídrica superficial (precipitaciones).

436 Estimar la oferta hídrica subterránea (acuífero pampeano).

437 Evaluar la dinámica del nivel estático en perforaciones bajo explotación para riego  
438 complementario.

439 Estimar la demanda hídrica total volumétrica, de caudales continuos y de dotación de  
440 riego de los cultivos de trigo, maíz y soja.

## 441 **MATERIALES Y MÉTODOS**

442 Se procedió a la caracterización climática de la región, mediante el empleo de la  
443 metodología descriptiva de Köppen (1918) y el balance hidrológico mediante el Método  
444 de Thornthwaite (1948). Las variables meteorológicas utilizadas corresponden a la

445 Estación Meteorológica INTA Pergamino, situada en las coordenadas geográficas de  
446 Latitud: S 33° 56', Longitud: W 60° 33' y altitud de 65 m.s.n.m. y la Estación  
447 Meteorológica del Aeródromo de Junín, situada en coordenadas geográficas de Latitud: S  
448 34° 33', Longitud: W 60° 55' y altitud de 81 m.s.n.m. Para ambas estaciones se han  
449 considerado la estadística climática correspondiente al periodo 1980-2010.

450 Para la estimación de la oferta hídrica superficial, se recopiló información utilizando los  
451 registros climáticos de 30 años de las estaciones meteorológicas mencionadas,  
452 obteniéndose las precipitaciones mensuales medias, que mediante el método del Soil  
453 Conservation Service SCS (USA), se transformaron en precipitación efectiva, manejando  
454 el programa CropWat FAO versión 8.0 para Windows.

455 Para la estimación de la oferta hídrica subterránea se utilizó bibliografía regional  
456 específica y mediciones propias, en distintos puntos del área bajo estudio.  
457 Hidrogeológicamente, implica evaluar las reservas del recurso subterráneo existente en  
458 dicha zona. A tal efecto, se aplicaron los diferentes conceptos utilizados para el cálculo  
459 de las reservas y sus disponibilidades.

460 En 8 establecimientos agrícolas se procedió a la medición de los niveles estáticos y  
461 niveles dinámicos, utilizando una sonda piezométrica, que cuenta con un sistema de  
462 sensor auditivo-lumínico que permite determinar el nivel en el momento que la señal se  
463 activa. Se consideraron para el cálculo de estas reservas, dos sectores: área de secano y  
464 área de riego complementario.

465 El valor adoptado para la porosidad efectiva correspondiente a los sedimentos del  
466 Pampeano, fue del 10 %.

467 La variación del nivel estático del acuífero Pampeano fue obtenida a partir de la ecuación  
468 de Blarasin, M. *et. al.*, 2002. En este caso la infiltración eficaz empleada fue obtenida  
469 mediante el método de Thornthwaite (1948).

470 Se procedió a proyectar los descensos del nivel estático de dicho acuífero a través del  
471 tiempo y a distancias variables del pozo de bombeo, mediante la utilización de software  
472 Aquifer Test (2017) empleando el Método de Theis (1935).

473 A tal efecto, se utilizó, por un lado, un caudal de extracción promedio de  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,  
474 según los datos generados en áreas de influencia de los campos considerados y por el  
475 otro, valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento máximos y mínimos  
476 característicos del Acuífero Pampeano en el Partido de Rojas, obtenidos de información  
477 antecedente (Pflüger J.C., 2007). Los valores de transmisividad se encuentran  
478 comprendidos entre  $200$  y  $350 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ , mientras que para el coeficiente de  
479 almacenamiento se emplearon valores de  $0,01$  y  $0,001$ . Cabe aclarar, que los parámetros  
480 hidrogeológicos utilizados son más conservativos que los empleados para el cálculo de la  
481 variación del nivel estático, producto de la infiltración eficaz, por lo cual las proyecciones  
482 de descensos obtenidas generan escenarios con un margen de seguridad respetable, en  
483 términos de explotación del recurso del Acuífero considerado.

484 A tal efecto, este cálculo fue efectuado, teniendo en cuenta:

- 485 1) distancia existente entre el pozo de bombeo y un punto de observación hipotético y,
- 486 2) tiempo de bombeo.

487 Las distancias a las cuales se ha proyectado la medición de descensos corresponden a  
488  $70$ ,  $140$ ,  $210$ ,  $280$ ,  $350$  y  $450$  m. En tanto que, los tiempos de bombeo empleados para la  
489 proyección referida son  $1.440$ ,  $7.200$  y  $43.200$  minutos.

490 Cabe aclarar que los pozos de los lotes de riego, están situados a una distancia mínima  
491 entre sí aproximada de  $500$  m.

492 Para la estimación de la demanda hídrica de los cultivos se calcularon mensualmente las  
493 evapotranspiraciones de referencia  $E_{to}$  ( $\text{mm} \cdot \text{día}^{-1}$ ), a través del método de Penman-  
494 Monteith, operado por el Programa Cropwat 8.0, que requiere de datos de temperaturas  
495 máximas y mínimas, velocidad del viento, radiación y humedad relativa, que fueron

496 aportados por la misma estadística climática utilizada anteriormente. Luego se calcularon  
497 las evapotranspiraciones de cada cultivo aplicando la ecuación 4

498 
$$Etc = kc \cdot Eto \quad (\text{ec. 4}) \text{ donde:}$$

499 Etc= evaporación del cultivo, en mm.día<sup>-1</sup>

500 kc= coeficiente de cultivo, adimensional

501 Los Kc del maíz, la soja y el trigo, se establecieron utilizando el método FAO (2006),  
502 información de la EEA INTA Pergamino y de Génova et al. (1998).

503 Para la estimación de las láminas netas de reposición de cada cultivo regado se utilizó la  
504 ecuación 5:

505 
$$dn = (Wc - Wm) \cdot \delta_{ap} \cdot P_r \cdot U_c \quad (\text{ec. 5}) \text{ donde:}$$

506 dn = lámina neta de reposición, mm.

507 Wc = capacidad de campo, % en peso.

508 Wm = marchitez permanente, % en peso.

509 P<sub>r</sub> = profundidad efectiva de raíces, en dm.

510 U<sub>c</sub> = umbral crítico de riego, en fracción decimal.

511 Las necesidades de riego Nr (mm) se calcularon como la diferencia entre la Etc de cada  
512 cultivo y la Pe. El volumen neto de las Nr se calculó con la ecuación 6

513 
$$VN = Etc \cdot c \cdot A \cdot d \quad (\text{ec. 6}) \text{ donde:}$$

514

515 VN= volumen neto, en m<sup>3</sup>.mes<sup>-1</sup>

516 Etc= evapotranspiración del cultivo, en mm.día<sup>-1</sup>

517 c= coefic. 10 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>

518 A= superficie ocupada por el cultivo, en ha.

519 d= número de días del mes

520 Las demandas de riego se expresaron en términos de caudales requeridos,  
521 confrontándose los datos de Pp y de caudales extraídos utilizando un 5 % y un 10% de



522 las RG en las perforaciones evaluadas con los niveles estáticos para considerar el  
523 impacto de dicha extracción en el acuífero.

524 El balance atmosférico y edáfico consiste en una metodología de cálculo de entradas  
525 (precipitaciones) y salidas (evapotranspiración) de agua de un sistema disperso, como el  
526 suelo, es decir un balance de entradas y salidas, que determina déficit y excesos hídricos  
527 mensualmente. Lo que permite determinar la lámina de agua que se necesita reponer del  
528 consumo evapotranspirativo del cultivo, denominada lámina neta de reposición (Ln).

529 El balance hídrico se calculó mediante el método de Thornthwaite y Mather (1955). Para  
530 el mismo es imprescindible el valor de la demanda atmosférica (evapotranspiración  
531 potencial), la precipitación media mensual y la capacidad de campo. Se consideran mes  
532 a mes los siguientes parámetros (mm): precipitación media mensual (PP),  
533 evapotranspiración potencial mensual media (ETP), diferencia entre los parámetros  
534 anteriormente mencionados (P-ET), almacenamiento (Alm), variación del  
535 almacenamiento ( $\Delta$  Alm), evapotranspiración real (ETR:), déficit (D) y exceso (E). Como  
536 el suelo y la vegetación que lo cubre no siempre ceden a la atmósfera toda el agua que  
537 les es demandada, se define el concepto de evapotranspiración real (ER), que es lo que  
538 realmente se evapotranspira en cada situación. Cuando la PP supera a la EP el suelo  
539 comienza a recargarse hasta llegar a la capacidad de campo, a partir de ese momento el  
540 exceso de agua se pierde por escorrentía y percolación.

541 La ecuación 4 relaciona los elementos del balance es la siguiente:

$$542 \quad P - ER - \Delta \text{ Alm} - E = 0 \text{ (ec. 7)}$$

543 Para el cálculo de los resultados, primero se obtiene el déficit, definido como la diferencia  
544 entre la precipitación y la evapotranspiración potencial. Si el déficit es positivo, se  
545 considera que toda el agua precipitada ingresa al suelo, en tanto que si es negativo, la  
546 misma egresa del sistema. A continuación, se resuelve el almacenamiento. Si es  
547 negativo indica que el suelo sufre una pérdida hídrica por la evapotranspiración. En  
548 cambio, cuando la variación del almacenamiento es positiva indica que el suelo se está

549 recargando. En estos casos la ER va a ser igual a la EP debido a que el suelo tiene  
550 suficiente agua para evapotranspirar lo que la atmósfera demanda y, lo que resta, se  
551 almacena en el suelo. Cuando la ER es menor que la EP se considera que las plantas  
552 comienzan a sufrir un estrés hídrico, por lo tanto se calcula el déficit como:  $D = EP - ER$ .

553 Los balances hídricos del perfil del suelo de los diferentes Partidos fueron realizados con  
554 el cultivo de maíz, para una profundidad del perfil ocupado por la mayoría de las raíces  
555 activas del cultivo de 60 cm. Se caracterizaron las relaciones agua-suelo de la rizósfera  
556 siguiendo la metodología de Richards (1954), determinando los contenidos hídricos a  $W_c$   
557 y  $W_m$ , dando como resultado las  $L_n$  y  $L_b$ .

## 558 **RESULTADOS**

559 Según el método de Thornwaite, la precipitación media anual alcanza el valor de 1002,2  
560  $\text{mm.día}^{-1}$ , la precipitación máxima se registra durante el mes de marzo, con 126 mm y la  
561 mínima en Julio, con 25,80 mm. La lluvia media invernal, correspondiente a los meses de  
562 junio, julio y agosto, del orden de los 80 mm y la lluvia media de verano, correspondiente  
563 a los meses de diciembre, enero y febrero, es de 340,60 mm.

564 Según Köppen, el clima se tipificó como Húmedo (B2), Templado Mesotermal (B'2), con  
565 nula o pequeña deficiencia de agua (r) y concentración térmica estival tipo a', con verano  
566 caluroso (Caf), donde la temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C. Este  
567 clima corresponde al templado pampeano y se da en las regiones más alejadas del mar  
568 que no reciben tantas precipitaciones, por lo que la estación menos lluviosa aquí es  
569 bastante seca. Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de  
570 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones  
571 exceden a la evaporación (C). El clima se presenta libre de estación seca (f). El verano  
572 es caluroso pues se superan los 22 °C de media en el mes más cálido y las temperaturas  
573 medias superan los 10 °C al menos cuatro meses al año (a).

574 **Balances hidrológicos atmosféricos y edáficos**

575 El balance hídrico atmosférico para la localidad de Pergamino se presenta en la Tabla 1.

576 Tabla 1. Balance Hídrico del área Pergamino. Método de Thornthwaite

	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
<b>Temp</b>	13,3	16,2	19,2	22,3	23,5	22,6	20,2	16,9	13,7	9,3	10,2	11,3	16,5
<b>i</b>	4,4	5,9	7,7	9,6	10,4	9,8	8,3	6,3	4,6	2,6	2,9	3,4	75,8
<b>ETP sin corr</b>	41,7	58,0	77,8	100,4	109,7	102,7	84,8	62,3	43,5	22,7	26,3	31,3	761,2
<b>Factor de aj. Latitudinal</b>	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,0	1,1	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	
<b>ETP corr.</b>	41,7	65,5	90,3	123,5	133,9	106,8	89,9	58,6	39,2	18,8	23,1	29,8	820,9
<b>P</b>	49,0	124,3	110,0	105,3	119,4	115,9	126,0	113,5	58,8	27,5	25,8	26,7	1002,2
<b>ETR</b>	41,7	65,5	90,3	123,5	133,9	106,8	89,9	58,6	39,2	18,8	23,1	29,8	820,9
<b>Déficit</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Reserva</b>	300,0	300,0	300,0	281,8	267,4	276,5	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	296,9	
<b>Excedentes</b>	7,3	58,8	19,7	0,0	0,0	0,0	12,6	54,9	19,6	8,7	2,7	0,0	184,3

577 En el cálculo del balance hídrico medio mensual a nivel del suelo, se utilizó el coeficiente  
 578 de retención de humedad por el suelo equivalente a 300 mm, que deriva en un exceso  
 579 medio de 184,30 mm.año<sup>-1</sup>. Esto surge de la diferencia entre precipitación media anual  
 580 (1002,2 mm.año<sup>-1</sup>) y evapotranspiración real media anual (820,9 mm.año<sup>-1</sup>).

581 Los meses de mayor exceso de agua son abril y octubre con 113,70 mm que representan  
 582 el 61,69% del total; los meses de marzo, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y  
 583 noviembre participan con 70,6 mm, siendo el 38,31% del total.

584 El verano es la estación más lluviosa (enero, febrero y marzo), pero se registra el menor  
 585 valor de exceso de agua debido a los elevados registros de evapotranspiración real.

586 Por lo tanto, de la comparación entre ambas variables (precipitación media anual y  
 587 evapotranspiración real media anual), se evidencia el predominio de los períodos donde  
 588 la lluvia supera a la evapotranspiración real, constituyendo épocas húmedas. En éstos, el  
 589 exceso hídrico debe repartirse entre el escurrimiento fluvial y la infiltración. Por lo tanto,  
 590 del exceso total correspondiente a 184,3 mm.año<sup>-1</sup>, 92,15 mm.año<sup>-1</sup> escurrirán  
 591 superficialmente y la misma cantidad de agua infiltrará a través del perfil de suelo hasta  
 592 alcanzar la capa freática.

593 En ningún mes existe déficit de agua, ya que en todos los casos la evapotranspiración  
 594 real coincide con la potencial (Figura 7).

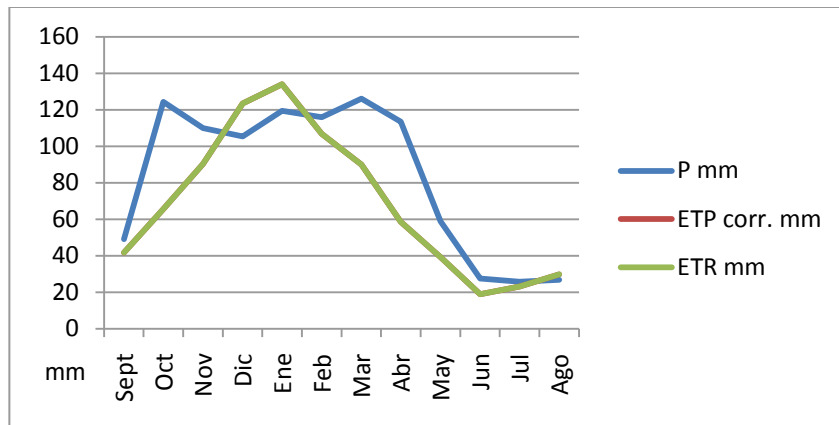


Figura 7. Precipitaciones, evapotranspiración potencial y real de Pergamino

595  
 596 Respecto del balance hídrico efectuado con datos de Estación Aeródromo Junín, para el  
 597 periodo 1980-2010 la precipitación media anual alcanza el valor de 1044,10 mm.año<sup>-1</sup>, la  
 598 máxima se registra durante el mes de marzo, con 133,20 mm.año<sup>-1</sup> y la mínima en Junio,  
 599 con 26,80 mm.año<sup>-1</sup>. La lluvia media invernal, correspondiente a los meses de junio, julio  
 600 y agosto, del orden de los 90,7 mm.año<sup>-1</sup> y la lluvia media de verano, correspondiente a  
 601 los meses de diciembre, enero y febrero, es de 307,93 mm.año<sup>-1</sup>.

602 El balance hídrico para la localidad de Junín se muestra en la (Tabla 2).

603 En el cálculo del balance hídrico medio mensual a nivel del suelo, se utilizó el coeficiente  
 604 de retención de humedad por el suelo equivalente a 300 mm, que deriva en un exceso  
 605 medio de 240,87 mm.año<sup>-1</sup>. Esto surge de la diferencia entre precipitación media anual  
 606 (1044,10 mm.año<sup>-1</sup>) y evapotranspiración real media anual (803,23 mm.año<sup>-1</sup>).  
 607

608 Tabla 2. Balance Hídrico del área Junín. Método de Thornthwaite

	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
Temp	12,90	16,30	19,40	22,00	23,00	21,70	19,70	15,80	12,40	9,30	8,60	10,70	15,98
i	4,20	5,98	7,79	9,42	10,08	9,23	7,97	5,71	3,96	2,56	2,27	3,16	72,33
ETP sin corr	41,34	60,68	80,74	99,24	106,75	97,03	82,80	57,66	38,74	24,17	21,25	30,42	740,83
N° días mes	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	28,25	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	
N° horas luz	11,90	13,10	13,80	14,40	14,20	13,40	12,40	11,40	10,40	9,90	10,20	11,00	
ETP corr.	40,99	68,45	92,85	123,06	130,53	102,03	88,41	54,77	34,70	19,94	18,67	28,81	803,23
P	55,30	122,80	110,70	110,00	132,30	118,80	133,20	109,10	61,20	26,80	31,50	32,40	1044,10
ETR	40,99	68,45	92,85	123,06	130,53	102,03	88,41	54,77	34,70	19,94	18,67	28,81	803,23
Déficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Reserva	300,00	300,00	300,00	286,94	288,70	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	
Excedentes	14,31	54,35	17,85	0,00	0,00	5,47	44,79	54,33	26,50	6,86	12,83	3,59	240,87

609 Los meses de mayor exceso de agua son abril y octubre con 108,68 mm.año<sup>-1</sup> que  
610 representan el 45,11 % del total; los meses de marzo, mayo, junio, julio, agosto,  
611 septiembre, noviembre y febrero participan con 132,2 mm.año<sup>-1</sup>, siendo el 54,88% del  
612 total.

613 El verano es la estación más lluviosa (enero, febrero y marzo), pero se registra el menor  
614 valor de excedentes de agua debido a los elevados registros de evapotranspiración real.

615 Por lo tanto, de la comparación entre ambas variables (precipitación media anual y  
616 evapotranspiración real media anual), se evidencia que predominan los períodos en  
617 donde la lluvia supera a la evapotranspiración real, constituyendo períodos húmedos. En  
618 éstos, el exceso hídrico debe repartirse entre el escurrimiento fluvial y la infiltración. Por  
619 lo tanto, del exceso total correspondiente a 240,87 mm.año<sup>-1</sup>, 120,43 mm.año<sup>-1</sup> escurrirán  
620 superficialmente y 120,43 mm.año<sup>-1</sup> infiltrarán a través del perfil de suelo hasta alcanzar  
621 la capa freática.

622 En ningún mes existe déficit de agua, ya que en todos los casos la evapotranspiración  
623 real coincide con la potencial (Figura 8).

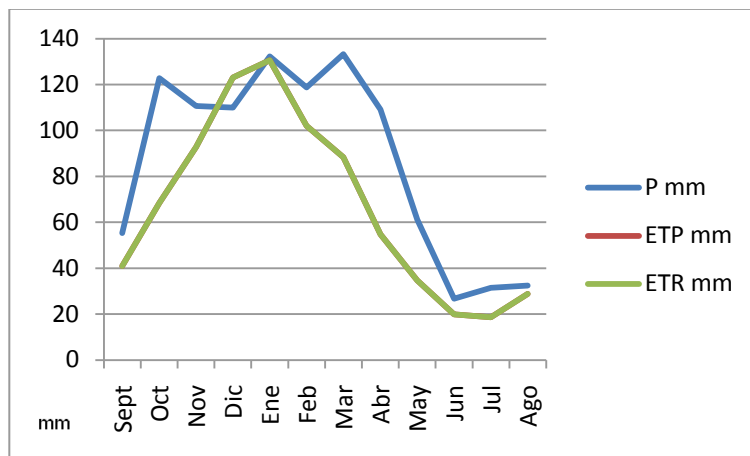


Figura 8. Precipitaciones, evapotranspiración potencial y real.

624  
625

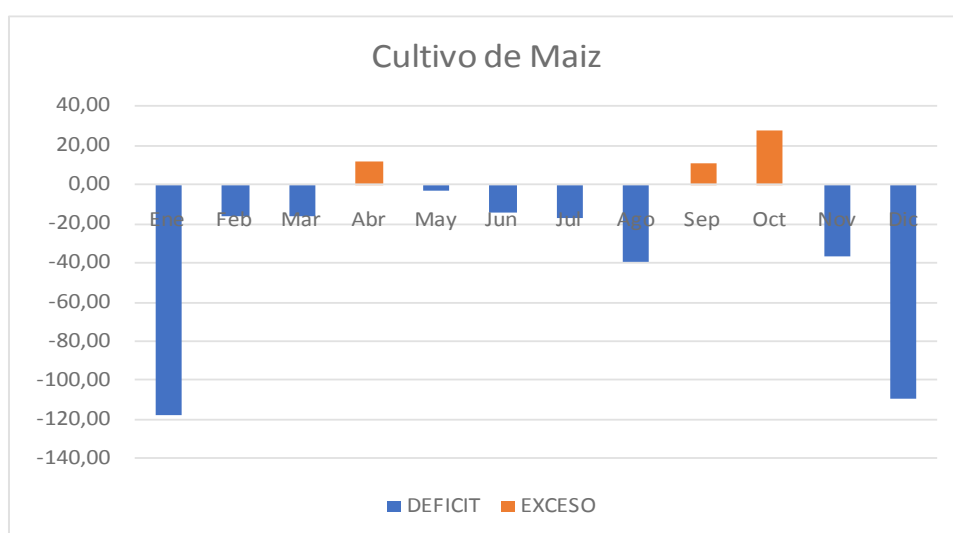
### 626 **Balance hídrico atmosférico promedio de los datos de Pergamino y Junín**

627 Considerando que los Partidos de Rojas y Salto equidistan con Junín y Pergamino,  
628 promediando los datos climáticos de las estaciones meteorológicas de las dos últimas

629 localidades mencionadas, se calcularon la precipitación efectiva mensual, la Eto mensual  
 630 y con valores de coeficiente de cultivo kc, se estimó la evapotranspiración del cultivo Etc  
 631 con mayor demanda hídrica (maíz)  $Et_{\text{maíz}}$  para todo su ciclo (septiembre a febrero). Se  
 632 confeccionó el balance hídrico atmosférico medio, presentado en la Tabla 3 y la Figura  
 633 9).

634 Tabla 3. Balance Hídrico Atmosférico medio de Pergamino y Junín. Período 1980-2010

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
<b>Precip. (mm)</b>	125,85	117,35	129,6	111,3	60	27,15	28,65	29,55	52,15	123,55	110,35	107,65	1023,15
<b>Pe (mm)</b>	100,45	95,3	102,7	91,5	54,25	26	27,35	28,15	47,8	99,15	90,9	89,1	852,65
<b>Eto (mm/d)</b>	5,87	4,97	3,83	2,67	1,86	1,34	1,45	2,18	3,12	3,86	5,01	5,82	
<b>Eto (mm)</b>	181,82	139,16	118,73	79,95	57,51	40,05	44,95	67,58	93,45	119,66	150,30	180,42	1273,57
<b>kc maíz</b>	1,20	0,80	0	0	0	0	0	0	0,40	0,60	0,85	1,10	
<b>Et real (mm)</b>	218,18	111,33	118,73	79,95	57,51	40,05	44,95	67,58	37,38	71,80	127,76	198,46	1173,66
<b>Balance</b>	-117,73	-16,03	-16,03	11,55	-3,26	-14,05	-17,60	-39,43	10,42	27,35	-36,86	-109,36	-321,01
<b>Déficit</b>	-117,73	-16,03	-16,03	0,00	-3,26	-14,05	-17,60	-39,43	0,00	0	-36,86	-109,36	-370,34
<b>Exceso</b>	0	0	0	11,55	0,00	0,00	0,00	0,00	10,42	27,35	0	0	49,32



635  
 636 Figura 9. Balance Hídrico Atmosférico promedio de Pergamino y Junín. Período 1980-2010

637 Para dar mayor consistencia a las estimaciones mensuales de Pe y evapotranspiración  
 638 real de suelos cultivados con maíz con las que se elaboraron los balances hídricos, se  
 639 presentan los valores medios y su balance para las mismas series climáticas.  
 640 Puede observarse en las Tablas 4 y 5 la similitud de los valores mensuales entre las dos  
 641 localidades, con mínimas diferencias y donde se muestran los valores del balance anual

642 medio, donde tanto los excesos como los déficit hídricos son muy similares para Junín y  
 643 Pergamino.

644 Tablas 4. Balance Hídrico Atmosférico Estación Aero. Junín. Período 1980-2010

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
<b>Pe (mm)</b>	104,3	96,2	104,8	90,1	55,2	25,7	29,9	30,7	50,4	98,7	91,1	90,6	867,7
<b>Etc (mm)</b>	212,0	107,5	118,1	78,6	56,4	41,1	46,8	70,7	37,7	74,2	130,8	198,1	1172,1
<b>Déficit</b>	-107,7	-11,3	-13,3	0,0	-1,2	-15,4	-16,9	-40,0	0,0	0,0	-39,7	-107,5	-353,1
<b>Exceso</b>	0,0	0,0	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	24,5	0,0	0,0	48,7

645 Tablas 5. Balance Hídrico Atmosférico INTA Pergamino. Período 1980-2010

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
<b>Pe (mm)</b>	96,6	94,4	100,6	92,9	53,3	26,3	24,8	25,6	45,2	99,6	90,7	87,6	837,6
<b>Etc (mm)</b>	224,3	115,1	119,4	81,3	58,6	39,0	43,1	64,5	37,1	69,4	124,7	198,8	1175,2
<b>Déficit</b>	-127,7	-20,7	-18,8	0,0	-5,3	-12,7	-18,3	-38,9	0,0	0,0	-34,0	-111,2	-387,6
<b>Exceso</b>	0,0	0,0	0,0	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	30,2	0,0	0,0	49,9

646

647

648 Tabla 6. Balance Hídrico del Suelo Serie Pergamino cultivado con maíz Período 1980-2010

<b>Textura</b>	<b>Franco limosa</b>		
Cap. de campo	Wc =	33	%
March. Perm.	Wm =	17	%
% Agua util	AU =	16	%
Dens. Aparente	Dap =	1,15	g.cm <sup>-3</sup>
% Agua útil vol.	Walm =	18,4	mm.dm <sup>-1</sup>
Humedad aprovechable total del perfil suelo (60 cm)		HAT (mm) =	110,4
Umbral de riego	Ur	Variable durante el ciclo del Cultivo (%)	

Ciclo del maíz	Unidad	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Ur		0,6	0,55	0,5	0,4	0,4	0,6
HAR	mm	44,2	49,7	55,2	66,2	66,2	44,2
HAC	mm	66,2	60,7	55,2	44,2	44,2	66,2
HAT=HAR+HA	mm	110,4	110,4	110,4	110,4	110,4	110,4

Parámetro	HA inicial	Pe	HA	Etc	HAR	HAC	Saldo	Saldo acum	Riego	LN	LB 70%	LB 75%	LB 80%
Unidad	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
AGO	55,0												
SET		47,8	102,8	37,4	44,2	66,2	65,4	65,4	NO	0,0	0,0	0,0	0,0
OCT		99,2	65,4	71,8	49,7	60,7	92,8	92,8	NO	0,0	0,0	0,0	0,0
NOV		90,9	92,8	127,8	55,2	55,2	56,0	-54,4	SI	54,4	77,8	72,6	68,0
DIC		89,1	110,4	198,5	66,2	44,2	1,0	-109,4	SI	109,4	156,2	145,8	136,7
ENE		100,5	110,4	214,5	66,2	44,2	-3,6	-114,0	SI	114,0	162,9	152,1	142,6
FEB		95,3	110,4	111,3	44,2	66,2	94,4	94,4	No	0,0	0,0	0,0	0,0
Totales		522,8		761,3						277,8	396,9	370,4	347,3



649 Tabla 7. Balance Hídrico del Suelo Serie Rojas cultivado con maíz Período 1980-2010

<b>Textura</b>	<b>Franco limosa</b>		
Cap. de campo	Wc =	25	%
March. Perm.	Wm =	13	%
% Agua util	AU =	12	%
Dens. Aparente	Dap =	1,18	g.cm <sup>-3</sup>
% Agua útil vol.	Walm =	14,16	mm.dm <sup>-1</sup>
Humedad aprovechable total del perfil suelo (60 cm)		HAT (mm) =	85,0
Umbral de riego	Ur	Variable durante el ciclo del Cultivo (%)	

Ciclo del maíz	Unidad	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Ur		0,6	0,55	0,5	0,4	0,4	0,6
HAR	mm	34,0	38,2	42,5	51,0	51,0	34,0
HAC	mm	51,0	46,7	42,5	34,0	34,0	51,0
HAT=HAR+HA	mm	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0

Parámetro	HA inicial	Pe	HA	Etc	HAR	HAC	Saldo	Saldo acum	Riego	LN	LB 70%	LB 75%	LB 80%
Unidad	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
AGO	43,0												
SET		47,8	90,8	37,4	34,0	51,0	53,4	54,4	NO	0,0	0,0	0,0	0,0
OCT		99,2	53,4	71,8	38,2	46,7	80,8	81,8	NO	0,0	0,0	0,0	0,0
NOV		90,9	80,8	127,8	42,5	42,5	44,0	-41,0	SI	41,0	58,6	54,7	51,3
DIC		89,1	85,0	198,5	51,0	34,0	-24,4	-109,4	SI	109,4	156,2	145,8	136,7
ENE		100,5	85,0	214,5	51,0	34,0	-29,0	-114,0	SI	114,0	162,9	152,1	142,6
FEB		95,3	85,0	111,3	34,0	51,0	69,0	69,0	No	0,0	0,0	0,0	0,0
Totales		522,8		761,3						264,4	377,8	352,6	330,5

650 Tabla 8. Balance Hídrico del Suelo Serie Salto cultivado con maíz Período 1980-2010

Textura Franco limosa

Cap. de campo Wc = 28 %

March. Perm. Wm = 14 %

% Agua util AU = 14 %

Dens. Aparente Dap = 1,2 g.cm<sup>-3</sup>

% Agua útil vol. Walm = 16,8 mm.dm<sup>-1</sup>

Humedad aprovechable total del perfil suelo (60 cm) HAT (mm) = 100,8

Umbral de riego Ur Variable durante el ciclo del Cultivo (%)

Ciclo del maíz	Unidad	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Ur		0,6	0,55	0,5	0,4	0,4	0,6
HAR	mm	40,3	45,4	50,4	60,5	60,5	40,3
HAC	mm	60,5	55,4	50,4	40,3	40,3	60,5
HAT=HAR+HA	mm	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8

Parámetro	HA inicial	Pe	HA	Etc	HAR	HAC	Saldo	Saldo acum	Riego	LN	LB 70%	LB 75%	LB 80%
Unidad	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
AGO	50,0												
SET		47,8	97,8	37,4	40,3	60,5	60,4	60,4	NO	0,0	0,0	0,0	0,0
OCT		99,2	60,4	71,8	45,4	55,4	87,8	87,8	NO	0,0	0,0	0,0	0,0
NOV		90,9	87,8	127,8	50,4	50,4	51,0	-49,8	SI	49,8	71,2	66,4	62,3
DIC		89,1	100,8	198,5	60,5	40,3	-8,6	-109,4	SI	109,4	156,2	145,8	136,7
ENE		100,5	100,8	214,5	60,5	40,3	-13,2	-114,0	SI	114,0	162,9	152,1	142,6
FEB		95,3	100,8	111,3	40,3	60,5	84,8	84,8	No	0,0	0,0	0,0	0,0
Totales		522,8		761,3						273,2	390,3	364,3	341,5

651 La cantidad de humedad aprovechable total HAT es de 110,4 mm para la Serie  
 652 Pergamino, HAT= 85 mm, para la Serie Rojas y HAT= 100,8 mm para la Serie Salto.  
 653 De los balances hídricos edáficos se obtuvieron las láminas brutas (Lb) incrementando  
 654 las láminas netas (Ln), atendiendo a las eficiencias de aplicación más frecuentes,  
 655 considerando la incidencia del viento en la performance de los equipos de aspersión de  
 656 pivote central, del orden del 70, 75 y 80 %. Ver (Tabla 9). Donde las láminas brutas  
 657 diarias comprendidas entre los meses de noviembre, diciembre y enero fueron de 4,22; 4  
 658 y 3,7 mm.día<sup>-1</sup> con eficiencias de 70, 75 y 80 %.

659 Tabla 9. Láminas netas y láminas brutas

Localidades	Pe	Etc	Riego			
			Ln	Lb Ef 70%	Lb Ef 75%	Lb Ef 80%
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Pergamino	522,8	761,3	277,8	396,9	370,4	347,3
Rojas			264,4	377,8	352,6	330,5
Salto			273,2	390,3	364,3	341,5
Media			271,8	388,3	362,4	339,8

660 **Estimación de la oferta hídrica total.**

661 **a) Oferta hídrica superficial.**

662 En la Tabla 10 se muestran los valores de precipitación efectiva para Pergamino, Junín y  
 663 su promedio.

664 Tabla 10. Precipitación efectiva de Pergamino, de Junín y el promedio de ambas, en mm.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Pergamino	96,6	94,4	100,6	92,9	53,3	26,3	24,8	25,6	45,2	99,6	90,7	87,6	837,6
Junín	104,3	96,2	104,8	90,1	55,2	25,7	29,9	30,7	50,4	98,7	91,1	90,6	867,7
Promedio	100,5	95,3	102,7	91,5	54,3	26,0	27,4	28,2	47,8	99,2	90,9	89,1	852,6

665 Se puede observar que la Pe es muy similar para ambos Partidos. La oferta hídrica  
 666 atmosférica anual es 852,55 mm.año<sup>-1</sup>. (Tabla 10). En la Tabla 11 se consignan los  
 667 valores de precipitación registrada y de precipitación efectiva, expresados en mm y en  
 668 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>

669 Tabla 11. Precipitación y precipitación efectiva expresada en mm y mm<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

	Precipitación (P)		Precipitación Efectiva (Pe)	
	mm	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	mm	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>
<b>Enero</b>	125,85	1258,5	100,45	1004,5
<b>Febrero</b>	117,35	1173,5	95,3	953
<b>Marzo</b>	129,6	1296	102,7	1027
<b>Abril</b>	111,3	1113	91,5	915
<b>Mayo</b>	60	600	54,25	542,5
<b>Junio</b>	27,15	271,5	26	260
<b>Julio</b>	28,65	286,5	27,35	273,5
<b>Agosto</b>	29,55	295,5	28,15	281,5
<b>Septiembre</b>	52,15	521,5	47,8	478
<b>Octubre</b>	123,55	1235,5	99,15	991,5
<b>Noviembre</b>	110,35	1103,5	90,9	909
<b>Diciembre</b>	107,65	1076,5	89,1	891
<b>Total</b>	1023,2	10232	852,55	8525,5

670 **b) Oferta hídrica subterránea.**

671 Se consideraron para el cálculo de las reservas regulatrices RR, dos sectores: área de  
 672 seco y área de riego complementario. Para la primera, la superficie involucrada resultó  
 673 ser de 2.751 ha, donde se aplicaron los excedentes obtenidos según el balance hídrico  
 674 calculado con la metodología de Thornthwaite. A tal efecto, el excedente alcanza un valor  
 675 de 184,30 mm.año<sup>-1</sup>. Considerando un valor de Infiltración eficaz correspondiente a 92,15  
 676 mm.año<sup>-1</sup>, obtenida a partir del balance hídrico de Thornthwaite y un coeficiente de  
 677 almacenamiento S= 0,1, la variación del nivel estático es de 0,9215 m. Las reservas  
 678 regulatrices del área de seco RRs resultaron en 2,54 hm<sup>3</sup>.

679 Para el área de riego complementario, con una superficie de 1.576 ha, se aplicaron los  
 680 excedentes obtenidos mediante el balance hídrico calculado con el Método de Penman –  
 681 Monteith, los cuales alcanzan un valor de 49,32 mm.año<sup>-1</sup>. que para un S=0,1, generó un  
 682 Δh=0,4932 m y las reservas regulatrices del área de riego complementario fueron de  
 683 0,77 m<sup>3</sup>.

684

685 **Reservas geológicas RG.**

686 En dicho cuerpo hidrogeológico, el espesor saturado resulta de la diferencia entre el nivel  
687 estático más bajo y el espesor útil del acuífero pampeano, que corresponde a 4,02 m y  
688 54,02 m, respectivamente. Por lo tanto, las RG alcanzaron el valor de 302,6 hm<sup>3</sup>  
689 Las reservas naturales RN surgen de la suma de las RR y las RG, resultando  
690 RN= 305,91 hm<sup>3</sup>.

691 **Variación de los niveles estáticos en los 8 establecimientos agrícolas.**

692 En la Tabla 12 se registran la variación de los valores medios anuales de los niveles  
693 estáticos del Acuífero Pampeano.

694 Tabla 12. Variación anual de los niveles estáticos del Acuífero Pampeano en los  
695 establecimientos agrícolas.

Establecimientos	$\Delta$ NE (m)
1	1,21
2	0,80
3	1,10
4	1,01
5	0,92
6	0,85
7	1,15
8	0,71

696 **Proyección de los descensos del nivel estático.**

697 La proyección de descensos se observan en la Tabla 13, con cuyos valores puede  
698 concluirse que los 500 m de separación mínima de los pozos de extracción de agua  
699 subterránea existentes en el área, constituyen un distanciamiento adecuado para el  
700 funcionamiento del presente régimen de explotación.

701 Tabla 13. Proyección de descensos para el Acuífero Pampeano

Proyección de Descensos Caudal = 110 m <sup>3</sup> /h								
t = 1440 min			t = 7200 min			t = 43200 min		
D = 70 m	S=0,01	S=0,001	D = 70 m	S=0,01	S=0,001	D = 70 m	S=0,01	S=0,001
T = 200 m <sup>2</sup> /d	2,250	5,000	T = 200 m <sup>2</sup> /d	4,000	6,500	T = 200 m <sup>2</sup> /d	6,000	8,300
T = 350 m <sup>2</sup> /d	1,800	3,200	T = 350 m <sup>2</sup> /d	2,500	4,000	T = 350 m <sup>2</sup> /d	3,700	5,000

t = 1440 min			t = 7200 min			t = 43200 min		
D = 140 m	S=0,01	S=0,001	D = 140 m	S=0,01	S=0,001	D = 140 m	S=0,01	S=0,001
T = 200 m <sup>2</sup> /d	1,000	3,400	T = 200 m <sup>2</sup> /d	2,500	5,050	T = 200 m <sup>2</sup> /d	4,500	6,600
T = 350 m <sup>2</sup> /d	0,900	2,300	T = 350 m <sup>2</sup> /d	1,970	3,000	T = 350 m <sup>2</sup> /d	2,850	4,300
t = 1440 min			t = 7200 min			t = 43200 min		
D = 210 m	S=0,01	S=0,001	D = 210 m	S=0,01	S=0,001	D = 210 m	S=0,01	S=0,001
T = 200 m <sup>2</sup> /d	0,800	2,500	T = 200 m <sup>2</sup> /d	2,000	4,100	T = 200 m <sup>2</sup> /d	3,800	5,900
T = 350 m <sup>2</sup> /d	0,450	1,800	T = 350 m <sup>2</sup> /d	1,500	2,800	T = 350 m <sup>2</sup> /d	2,300	3,800
t = 1440 min			t = 7200 min			t = 43200 min		
D = 280 m	S=0,01	S=0,001	D = 280 m	S=0,01	S=0,001	D = 280 m	S=0,01	S=0,001
T = 200 m <sup>2</sup> /d	0,400	2,000	T = 200 m <sup>2</sup> /d	1,550	3,800	T = 200 m <sup>2</sup> /d	3,100	5,300
T = 350 m <sup>2</sup> /d	0,225	1,600	T = 350 m <sup>2</sup> /d	1,050	2,300	T = 350 m <sup>2</sup> /d	2,000	3,550
t = 1440 min			t = 7200 min			t = 43200 min		
D = 350 m	S=0,01	S=0,001	D = 350 m	S=0,01	S=0,001	D = 350 m	S=0,01	S=0,001
T = 200 m <sup>2</sup> /d	0,200	1,500	T = 200 m <sup>2</sup> /d	0,900	3,000	T = 200 m <sup>2</sup> /d	2,400	5,000
T = 350 m <sup>2</sup> /d	0,100	1,400	T = 350 m <sup>2</sup> /d	0,800	2,000	T = 350 m <sup>2</sup> /d	1,650	3,200
t = 1440 min			t = 7200 min			t = 43200 min		
D = 450 m	S=0,01	S=0,001	D = 450 m	S=0,01	S=0,001	D = 450 m	S=0,01	S=0,001
T = 200 m <sup>2</sup> /d	0,120	1,200	T = 200 m <sup>2</sup> /d	0,500	2,700	T = 200 m <sup>2</sup> /d	2,000	4,500
T = 350 m <sup>2</sup> /d	0,050	1,100	T = 350 m <sup>2</sup> /d	0,600	2,000	T = 350 m <sup>2</sup> /d	1,500	2,800

702 **Estimación de la demanda hídrica total.**

703 La Tabla 14 muestra los valores de la Eto de Pergamino, Junín y su promedio y en la

704 Tabla 15 constan los de los coeficientes de cultivo del maíz, la soja y el trigo.

705 Tabla 14. Evapotranspiración de referencia Eto (mm.dia<sup>-1</sup>)

Localidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pergamino	6,0	5,1	3,9	2,7	1,9	1,3	1,4	2,1	3,1	3,7	4,9	5,8
Junín	5,7	4,8	3,8	2,6	1,8	1,4	1,5	2,3	3,1	4,0	5,1	5,8
Promedio	5,87	5,0	3,8	2,7	1,9	1,3	1,5	2,2	3,1	3,9	5,0	5,8

706 Tabla 15. Valores del coeficiente de los cultivos kc de maíz, soja y trigo.

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Maíz	1,2	0,8	----	----	----	----	----	----	0,4	0,6	0,85	1,1
Soja	1,2	1,1	0,9	----	----	----	----	----	----	----	0,7	1,0
Trigo	----	----	----	----	----	----	0,3	0,95	1,2	1,1	0,5	----

707 En la Tabla 16 se observan los valores mensuales de la evapotranspiración del cultivo

708 con mayor demanda hídrica (maíz)  $Et_{\text{maíz}}$  para todo su ciclo (octubre a febrero), la  $Et_{\text{soja}}$

709 para su ciclo (noviembre a marzo) y la  $Et_{\text{trigo}}$  para los meses de julio a octubre.

710 Tabla 16. Evapotranspiración de los cultivos de maíz, trigo y soja media mensual Etc  
 711 (mm.mes<sup>-1</sup>) Series 1980-2010.

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Maíz	214,5	111,3	----	----	----	----	----	----	37,4	71,8	127,8	198,5
Soja	209,1	153,1	102,1	----	----	----	----	----	----	----	97,7	180,4
Trigo	----	----	----	----	----	----	13,5	64,3	115,9	133,8	77,8	----

712 La Tabla 17 presenta los valores mensuales de necesidades de riego Nr de los cultivos.

713 Tabla 17. Necesidades de riego de maíz, soja y trigo (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.mes<sup>-1</sup>)

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Maíz	1140,9	160,3	----	----	----	----	----	----	-478,0	-273,5	368,6	1093,6	2763,4
Soja	1086,4	577,8	-5,9	----	----	----	----	----	----	----	67,9	913,2	2645,3
Trigo	----	----	----	----	----	----	-138,7	361,6	680,8	346,7	-131,2	----	1389,1

714 Incrementando las Nr con la eficiencia de aplicación del riego por aspersión valoradas en  
 715 75%, se obtuvo el volumen neto mensual (mm<sup>3</sup>.mes<sup>-1</sup>) para la superficie total (Tabla 18) y  
 716 se determinó la demanda hídrica bruta mensual para las superficies de cada cultivo,  
 717 expresada en términos volumétricos, de caudal continuo y de dotación de riego (Tabla  
 718 19).

719 Tabla 18. Volumen mensual neto (m<sup>3</sup>.mes<sup>-1</sup>)

Cultivos	Ene	Feb	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Maíz	1798085,2	252601,3	----	----	----	580834,8	1723545,1	4355066,4
Soja	1712123,1	910549,8	----	----	----	107089,2	1439203,2	4168965,2
Trigo	----	----	569938,9	1072909,3	546395,5	----	----	2189243,7

720 Tabla 19. Demanda hídrica total mensual volumétrica VMB, de caudal continuo Qc y  
 721 dotación de riego Dot.

Cultivo	Dem. Hídrica	Unidad	Ene	Feb	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Maíz	VMB	m <sup>3</sup>	2397446,9	336801,7	----	----	----	774446,4	2298060,2	5806755,2
	Qc	l.s <sup>-1</sup>	895,1	125,7				298,8	858,0	2177,6
	Dot	l.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup>	0,6	0,1				0,2	0,5	1,4
Soja	VMB	m <sup>3</sup>	2282830,7	1214066,3	----	----	----	142785,6	1918937,6	5558620,3
	Qc	l.s <sup>-1</sup>	852,3	501,8				53,3	716,4	2123,9
	Dot	l.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup>	0,5	0,3				0,0	0,5	1,3
Trigo	VMB	m <sup>3</sup>	----	----	759918,5	1430545,7	728527,4	----	----	2190464,2
	Qc	l.s <sup>-1</sup>			283,7	551,9	281,1			835,6
	Dot	l.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup>			0,2	0,4	0,2			0,5

722 Se corroboró que en los 8 establecimientos, utilizando 20 bombas de un total de 54, con  
 723 un caudal erogado de  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  cada una, funcionando 18 hs, las Lb diarias entregadas  
 724 fueron de  $3,65 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$  con una eficiencia de aplicación del 75% en cada campaña  
 725 agrícola, las cuales coincidieron con las estimadas en los balances hídricos del suelo  
 726 cultivado y con las Nr estimadas, que dieron como resultados Lb que variaban entre 3,5 y  
 727  $4,0 \text{ mm} \cdot \text{día}^{-1}$ .

728 En las Tablas 20 y 21 puede observarse que la diferencia entre la oferta y la demanda de  
 729 agua genera un exceso hídrico, usando tanto un 5% de las reservas geológicas (RG)  
 730 como un 10%. Con los excesos podría ampliarse la superficie bajo riego, sin  
 731 comprometer el equilibrio del acuífero.

732 Tabla 20. Evaluación de exceso hídrico con 5% de uso de las RG.

Cultivo	Oferta de agua subterránea	Oferta de Pp	Demanda hídrica	Exceso hídrico	Incremento del area regada
	$\text{m}^3$				
Maíz	15130000	5921820	5806755,2	15245064,8	4138
Soja			5558620,3	15493199,7	4393
Trigo		2759576	2190464,2	15699111,8	11295

733 Tabla 21. Evaluación de exceso hídrico con 10% de uso de las RG.

Cultivo	Oferta de agua subterránea	Oferta de Pp	Demanda hídrica	Exceso hídrico	Incremento del area regada
	$\text{m}^3$				
Maíz	30260000	5921820	5806755,2	30375064,8	8244
Soja			5558620,3	30623199,7	8682
Trigo		2759576	2190464,2	30829111,8	22181

## 734 CONCLUSIONES

735 La diferencia entre la demanda de agua por los cultivos y la oferta hídrica disponible,  
 736 genera un exceso hídrico para los dos escenarios planteados, por lo que se valida la



737 hipótesis que la extracción de agua subterránea para riego no altera el balance del  
738 acuífero.

739 Un escenario propone la utilización del 5% del total de las reservas geológicas durante  
740 un lapso anual de tres meses, que permitiría aumentar el área regable unas 19.826 ha, y  
741 manteniendo la proporción de superficie asignada a cada cultivo por ciclo productivo,  
742 correspondería a incrementos de 4.138 ha de maíz, 4.393 ha de soja y 11.295 ha de  
743 trigo.

744 El otro escenario implicaría la utilización de un 10% del total de las reservas geológicas  
745 durante el mismo período, lo cual incrementaría el área regable en 39.107 ha, que con el  
746 mismo criterio anterior corresponderían a incrementos de 8.244 ha de maíz, 8.682 ha de  
747 soja y 22.181 ha de trigo.

748 La metodología empleada para caracterizar la oferta y demanda hídricas acompaña la  
749 propuesta de producción agrícola sustentable, útil para la gestión del recurso hídrico  
750 subterráneo, para el diseño espacial y específico de las perforaciones y para definir la  
751 magnitud de la extracción de agua, de modo tal que, por un lado, el caudal de cada pozo  
752 no supere los  $65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , y por el otro, que las perforaciones se sitúen separadas entre sí,  
753 respetando un distanciamiento óptimo de 500 m. De este modo, el caudal demandado  
754 promedio de 110 y  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , resultará procedente de la utilización simultánea de ambos  
755 equipos de bombeo, con menores descensos de los niveles freáticos.

## 756 **BIBLIOGRAFÍA**

757 **Allen Richard G. 2006.** Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de  
758 los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Roma.

759 **Auge, M. 2004.** Regiones hidrogeológicas de la República Argentina y provincias de  
760 Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. Asociación Latinoamericana de Hidrología  
761 Subterránea. En [www.alhsud.com/castellano/ebook](http://www.alhsud.com/castellano/ebook). Ed. propia. La Plata.

762 **Bertol De Santos, M., 1987.** *Informe comisión de estudio. Primera etapa. Pergamino.*

763 Obras Sanitarias de la Nación. Gerencia de asistencia y desarrollo. División del recurso  
764 hídrico. Informe inédito.

765 **Bertol De Santos, M., 1988.** *Informe comisión de estudio. Segunda etapa. Pergamino.*  
766 Obras Sanitarias de la Nación. Gerencia de asistencia y desarrollo. División del recurso  
767 hídrico. Informe inédito.

768 **Blarasin M., Cabrera A. y Felizzia J., 2002.** Evaluación geohidrológica del área afectada  
769 por ascenso del nivel freático en la ciudad de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.  
770 Groundwater and human development.

771 **FAO, 2015.** ESTUDIO DEL POTENCIAL DE AMPLIACIÓN DEL RIEGO EN ARGENTINA  
772 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5183s.pdf>

773 **Frenguelli, J.** 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de  
774 Buenos Aires. LEMIT. La Plata. Ser. II Nro 33 pag. 1 – 72.

775 **Genova, L. 1994a.** Riego complementario de maíz, soja y trigo en el norte de Buenos  
776 Aires: efectos de la salinidad de las aguas subterráneas en los suelos y su influencia en  
777 los rendimientos. Actas del Primer Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. Univ.  
778 de Concepción, Chillan, Chile.

779 **Genova, L. 1995a.** Riego complementario de cultivos extensivos en la región pampeana  
780 húmeda. Ea. Santa Emilia, Elortondo, Santa Fe. CREA Región Sur de Sta Fe.

781 **Génova, I., J. E. Marassi, M. Etcheverry & W. Chale.1998.** Optimización de la  
782 operación de riego complementario de cultivos extensivos en el Norte de Buenos Aires.  
783 En Avances en el manejo del suelo y agua en la Ingeniería Rural Latinoamericana.  
784 Topografía, aguas y suelos. ISBN N° 950-34-0124-0. Balbuena, Benez y Jorajuría  
785 editores. Cong. Latinoam. de Ingeniería Rural CLIR '98. La Plata.

786 **Gonzalez, N. 2004.** Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires.  
787 Relatorio XV Congreso Geológico Argentino, pp. 359-374. La Plata.

788 **Hernández, M; M. Fili; M. Auge & J. Ceci. 1975.** Geohidrología de los acuíferos  
789 profundos de la Provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino. Actas II pp  
790 479-500. Buenos Aires.

791 **Herrick, J. & M. Wander. 1998.** Relationships between soil organic carbon and soil  
792 quality in cropped and rangeland soils. The importance of distribution, composition and  
793 soil biological activity. In Soil Processes and the Carbon Cycle. R. Lal et al (eds). Adv. in  
794 Soil Sci. CRC Press, B. Ratón, Florida, p. 405-426.

795 **INDEC. 2002.** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2004. Datos Censo  
796 Agropecuario 2002 Buenos Aires, 196 pp.

797 **INTA. 1989.** Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires, Escala 1:500.000. Instituto  
798 Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. 533 pp.

799 **Israelsen, O. y V. Hansen. 1979.** Principios y aplicaciones del riego. Ed. Reverté.  
800 Barcelona.

801 **Pflüger J.C., 2007.** El agua potable en la República Argentina. Editorial Alhsud.  
802 Argentina.

803 **Programa Cropwat-FAO. 2010.** Programa para cálculo de la precipitación efectiva  
804 (Método del US Bureau of Reclamation, SCS, USA y de la evapotranspiración de  
805 referencia (Método de Penman-Monteith) y requerimientos de riego. By AGOL-FAO.  
806 Roma.

807 **PROSAP. 1995.** Programa de servicios agrarios provinciales. Riego complementario.  
808 Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Bs. Aires

809 **PROSAP. 2005.** Programa de servicios agrarios provinciales. Servir al agro. Secretaría  
810 de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Ministerio de Economía y Producción de la  
811 R. Argentina. Bs. Aires. 180 pp.

812 **Richards, L (ed). 1954.** Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual  
813 de agricultura N° 60. Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los EE.  
814 UU. de América, Riverside, California. Washington. 172 pp.

815 **Ruiz, María Soledad et al 2016** Caracterización Geoeléctrica, Hidrodinámica E  
816 Hidroquímica Del Acuífero Pampeano y Su Relación Con El Arroyo Pergamino, Provincia  
817 De Buenos Aires Revista De Geología Aplicada A La Ingeniería Y Al Ambiente • N° 37 •  
818 77 - 87 • 2016 • Buenos Aires

819 **Servicio Meteorológico Nacional. 2000.** Estadísticas climáticas de las estaciones  
820 meteorológicas Junín y Pergamino, series 1980 - 2010.

821 **Theis, C.V. 1935.** The relation between the lowering of the piezometric surface and the  
822 rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Am. Geophys. Union  
823 Trans. # 16.

824 **Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather. 1955.** The water balance. Publications in  
825 Climatology VIII, (1):104 p. Drexel Inst. of Tech., New Jersey. USA.

826 **Waterloo Hydrogeologic Inc. 2017.** "Aquifer Test Pro 7.0". Waterloo.