

**Actividad 8: Uso consuntivo de los cultivos**  
**Fernando Coronato y Héctor del Valle.**

**Introducción:**

En la República Argentina las áreas bajo riego representan sólo el 5 % de la superficie agrícola del país, pero su participación en la producción sectorial oscila entre el 25 y el 38 % (Urrutia et al, 2003). Esto da la pauta de la importancia de los regadíos en la economía nacional y de la conveniencia de un adecuado manejo de los mismos.

La escasez de precipitaciones en la Patagonia extraandina determina que la agricultura bajo riego sea la única viable. Los “oasis de riego” son importantes focos de actividad en la región y de asentamiento de población. La colonización de la Patagonia comenzó justamente en uno de estos oasis, el del río Chubut en 1865

En este capítulo se presentan los cálculos del agua que requieren los distintos cultivos en los oasis patagónicos actualmente bajo riego. Se trabajó –como punto de partida- con las condiciones climáticas actuales y repitió el cálculo para los años 2020, 2050 y 2080, de acuerdo con los modelos presentados en otro capítulo de este informe.

Se consideraron los ocho mayores oasis de la Patagonia: río Colorado Medio e Inferior, Alto Valle y Valle Inferior del río Negro, Valle Inferior del río Chubut, Llanura de Sarmiento, valle del Jeinemeni y valle del Chico de Santa Cruz. Las restantes áreas bajo riego existentes en la Patagonia extraandina no superan algunos cientos de hectáreas y la mayoría son de escala doméstica.

La evapotranspiración (ET) de las plantas, cultivadas en este caso, es la demanda atmosférica a la que están sometidos los cultivos por efecto de las condiciones climáticas. Cuando la evapotranspiración supera el volumen de agua disponible para la planta, ésta se marchita y, de persistir las condiciones, se muere. La evapotranspiración potencial (ETP) responde al mismo concepto pero el volumen de agua no es limitante.

Los cultivos disponen *potencialmente* de toda el agua que las condiciones climáticas les demandan. En otras palabras, la ETP es la cantidad de agua que un cultivo necesita para cumplir correctamente su ciclo biológico, o sea los requerimientos hídricos.

Estos requerimientos no dependen sólo de las condiciones ambientales sino también del estadio fenológico en que se encuentre la planta, que se cuantifica por el “coeficiente de cultivo” perfectamente conocidos para cada uno. Este parámetro compara el uso consuntivo del cultivo dado con otro cultivo de referencia, generalmente alfalfa.

**Material y Método:**

Varios son los factores climáticos que regulan tanto la ET como la ETP; los principales son la energía radiante en forma directa, la temperatura ambiente y el viento. La fórmula más utilizada para calcular ETP, la de Thornwhaite, sólo se basa en la temperatura. Forzosamente, en un clima ventoso como el patagónico será más apropiado utilizar una fórmula que contemple también el viento. En este informe se eligió la fórmula de Penman-Monteith-FAO para el cálculo de la evapotranspiración diaria de un cultivo de referencia.

Ecuación 1: ETP de un cultivo de referencia:

En Le Houérou, H., 2005. p.34; o en: Jones, P. & Ekstrom, M., 2002. p.2; o en: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e07.htm>

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / T + 273) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

donde:

ET <sub>o</sub>	evapotranspiración de referencia [mm día <sup>-1</sup> ]
R <sub>n</sub>	radiación neta en superficie [MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ]
G	flujo de calor en el suelo [MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ]
T	temperatura media del aire a 2 m de altura [°C]
u <sub>2</sub>	velocidad del viento a 2 m de altura [m s <sup>-1</sup> ]
e <sub>s</sub>	tensión de vapor saturante [kPa]
e <sub>a</sub>	tensión de vapor medida [kPa]
e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub>	déficit de saturación [kPa]
Δ	pendiente de la curva de tensión de vapor [kPa °C <sup>-1</sup> ]
γ	constante psicrométrica [kPa °C <sup>-1</sup> ]

Además de los datos de ubicación del sitio, la ecuación Penman-Monteith-FAO requiere datos de temperatura de aire, humedad, radiación y velocidad del viento. Los datos de ubicación del sitio (latitud y altitud) se utilizan para calcular la duración del día en los distintos meses; por su parte la altura sobre el nivel del mar es necesaria para el cálculo de la constante psicrométrica. En este informe se trabajó en un primer paso con los valores medios mensuales. Los datos de entrada fueron extraídos de *Datos agroclimáticos para América Latina y el Caribe*. (Colección Producción y Protección Vegetal, N°24. FAO. Roma, 1985.). Ellos fueron temperatura media mensual (°C), radiación total (cal.cm<sup>-2</sup>.dia), tensión de vapor medida (hPa), velocidad del viento a 2m (m.s<sup>-1</sup>).

Cuando se carecía de datos climáticos representativos del oasis de riego considerado, o cuando éste ocupaba un área más extensa, se interpolaron los datos de estaciones vecinas. Así, los cálculos del oasis 1 (CoMe, Colorado Medio) se hicieron promediando los valores de Cipoletti, Chos-Malal y Santa Isabel; los cálculos del oasis 2 (CoIn, Colorado Inferior) se basaron en los datos de Bahía Blanca y de Viedma; para el oasis 3 (AvrN, Alto Valle) se usaron los datos de Cipoletti y Choele Choel mientras que para el oasis 4 (VlrN, Valle Inferior del Negro) se usaron los datos de Viedma y de Choele-Choel. En los otros oasis no fue necesario hacer interpolaciones porque las estaciones cuyos datos se utilizaron están situadas dentro del área o cerca de ella y pueden considerarse representativos. Quizás la única salvedad en este sentido deba hacerse con el oasis 7 (Anti, Los Antiguos) donde debió trabajarse con datos tomados a 60 Km. Así, los cálculos del oasis 5 (VrCH, Valle Inferior del Chubut) se hicieron con los datos de Trelew; los del 6 con los de Sarmiento, los del 7 con los de Perito Moreno y los del 8 con los de Gobernador Gregores.

La aplicación de la ecuación 1 a los escenarios futuros presentados en otra sección de este informe se realizó mediante la introducción de los valores de temperatura previstos. Asimismo, para el cálculo de las condiciones de aridez o de las necesidades de riego se consideraron los valores previstos de precipitación.

Todos los otros parámetros climáticos que integran la ecuación, (radiación, velocidad de viento, amplitud térmica), fueron considerados sin cambios, asumiéndolos iguales a los actuales.

Los valores de ETP presentados en este informe están expresados en mm (espesor de lámina de agua). Para convertirlos en volumen por unidad de superficie basta con multiplicar por 10, obteniéndose así :  $m^3 \cdot ha^{-1}$ .

En primer lugar, en base a los datos actuales, se calculó ETP mes por mes para cada uno de los 8 oasis mediante la ecuación 1. Esto permitió comparar nuestros resultados con otros valores de ETP calculados mediante otras ecuaciones por otros autores. Sobre todo, interesó comparar los valores anuales como sumatoria de los doce meses con los valores anuales resultantes de promediar los semestres abril-septiembre y octubre-marzo, que son los intervalos temporales considerados por los escenarios futuros presentados en este informe. En promedio, los resultados del cálculo semestral fueron 0,6 % inferiores a los del cálculo mensual, sin que en ningún caso superara  $\pm 3$  %. Esta coincidencia de resultados autorizó a aplicar el cálculo semestral de ETP en los escenarios futuros.

Previamente al cálculo de ETP para los escenarios futuros fue necesario calcular los valores de temperatura y precipitación que presentaría cada uno de los 8 oasis en los distintos escenarios, a partir de las variaciones consignadas por los modelos cartográficos presentados en la sección correspondiente de este informe.

Para no abundar en información innecesaria a los fines del presente informe, se eligió trabajar con los dos escenarios que presentaban mayores diferencias entre sí, es decir, entre el que presentaba los mayores aumentos de temperatura y el que los presentaba menores. Además, al considerar los modelos de variación de las precipitaciones, se observó que los mayores valores se daban también en los escenarios de los mayores aumentos de temperatura. Esto significa que un modelo/escenario (HADCM3 / A2) maximiza las condiciones de aridez mientras que otro (MM5 / B2) las minimiza. Los otros escenarios de los modelos –de valores intermedios- no fueron empleados en los cálculos aquí presentados.

Una vez calculados los promedios semestrales de ETP del cultivo de referencia para cada oasis según ambos modelos, se aplicó la ecuación 2 para calcular el uso consuntivo de cada cultivo considerado según el método de Blaney y Criddle (1950). Los coeficientes de cultivo habían sido previamente promediados por semestre.

Ecuación 2: (Sánchez, 1999).

$$ET_c = K * ET_p$$

donde:  $ET_c$  evapotranspiración de un cultivo específico  
K coeficiente de cultivo  
 $ET_p$  evapotranspiración de un cultivo de referencia.

El próximo paso fue confrontar el uso consuntivo de los distintos cultivos y escenarios con las condiciones de precipitación previstas por éstos. Se pudo calcular así la necesidad de riego en los oasis patagónicos para los años 2020, 2050 y 2080.

## Resultados:

Las tablas que aparecen en esta sección son una *versión simplificada* de las Tablas y las planillas de cálculo en las cuales se trabajó y que se adjuntan en archivos aparte.

Los cambios de temperatura y precipitación indicados por los modelos y escenarios en cada uno de los oasis considerados aparecen en la Tabla 8.2.

**Tabla 8.1:** Oasis considerados en el cálculo del uso consuntivo de los cultivos.

OASIS	Latitud	Longitud	Area regada (Ha)
1) CoMe (Río Colorado Medio).	38°00´S	67°30´W	40.000
2) CoIn (Río Colorado Inferior).	39°30´S	62°40´W	90.000
3) AvrN (Alto Valle del Río Negro + Limay + Neuquén).	39°20´S	67°00´W	95.000
4) VlrN (Valle Inferior del Río Negro).	40°30´S	63°50´W	46.000
5) VrCH (Valle Inferior del Río Chubut).	43°20´S	65°30´W	25.000
6) Sarm (Sarmiento, Bajo Río Senguerr).	45°40´S	69°00´W	5.000
7) Anti (Los Antiguos. Río Jeinemeni).	46°30´S	71°40´W	2.000
8) Greg (Gregores. Río Chico Medio).	48°40´S	70°10´W	13.000

**Tabla 8.2 :** Cambios de temperatura y precipitación previstos por los modelos, aplicados a los oasis considerados.

Tabla 8.2:		<b>Modelo MM5</b>								<b>Escenario B2</b>							
Cambio de temperatura										Cambio de precipitación (mm/día)							
Oasis	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	
<b>abril-septiembre</b>																	
2020	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0	0,2	0	0,2	0,2	0,1	0,1	
2050	0,9	1	0,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,2	0	0,4	-0	0,2	0,2	0,1	0	
2080	1,8	1,6	1,8	1,4	1,8	1,6	1,6	1,6	0,5	0	0,4	-0	0,2	0,3	0,2	0,2	
<b>octubre-marzo</b>																	
2020	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2	0,1	0	0,2	0	0	0	
2050	1	1	1,1	1	1,2	1,1	1,1	1	0,1	0,2	0,1	0	0,1	0	0	-0,1	
2080	1,6	1,8	1,6	1,6	2	1,6	1,6	1,6	0	0	0,2	0	0,2	0	0	-0,2	
		<b>Modelo HADCM3</b>								<b>Escenario A2</b>							
<b>abril-septiembre</b>																	
2020	1,2	0,9	1,2	1	0,9	1	0,9	0,9	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,5	
2050	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	-0,1	0	-0,1	0	0	0,1	0,2	0,4	
2080	2,7	2,6	2,6	2,6	2,5	2,8	2,6	2,6	-0,2	0	-0,2	0	0	0,1	0,4	0,4	
<b>octubre-marzo</b>																	
2020	0,9	0,7	1	0,7	0,8	1	0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,3	-0,3	-0,6	
2050	2	1,6	2,1	1,6	1,6	1,8	1,5	1,6	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,4	
2080	3,6	2,8	3,6	2,8	2,8	3	2,5	2,6	0,2	0,4	0	0,4	0,2	-0,4	-0,3	-0,6	

En base a los datos de la Tabla 8.2 y a las condiciones actuales, se calcularon las temperaturas medias y las precipitaciones para los escenarios 2020, 2050 y 2080 en los oasis patagónicos. Estas condiciones futuras se muestran en la Tabla 8.3.

Las condiciones futuras de temperatura se utilizaron para calcular la ETP en los distintos escenarios. La aplicación de la ecuación 1 se presenta en una planilla excel adjunta. (Tabla 8.4). La hoja VIrN presenta todos los 6 cálculos (2 modelos x 3 escenarios). Las demás hojas quedaron grabadas con los datos actuales de temperatura. Basta con reemplazar esa entrada por las condiciones futuras estimadas para obtener la ETP del escenario correspondiente.

Tabla 8.3 : <b>MODELO HADCM3 : Escenario A2</b>														
	Actual		2020				2050				2080			
	T°	pp	d T	d mm	T°	pp	d T	d mm	T°	pp	d T	d mm	T°	pp
<b>CoMe</b>														
oct-marzo	19,4	124,4	0,9	18	20,3	142	2	18	21,4	142	3,6	36	23,0	160
abr-sept.	9,2	125,4	1,2	0	10,4	125	1,6	-18	10,8	107	2,7	-36	11,9	89
<b>AvrN</b>														
oct-marzo	19,8	110,5	1	18	20,8	129	2,1	18	21,9	129	3,6	0	23,4	111
abr-sept.	9,5	105,5	1,2	0	10,7	106	1,6	-18	11,1	88	2,6	-36	12,1	70
<b>VIrN</b>														
oct-marzo	19,7	172,5	0,7	18	20,4	191	1,6	36	21,3	209	2,8	72	22,5	245
abr-sept.	9,8	164,0	1	0	10,8	164	1,6	0	11,4	164	2,6	0	12,4	164
<b>CoIn</b>														
oct-marzo	19,1	247,0	0,7	18	19,8	265	1,6	36	20,7	283	2,8	72	21,9	319
abr-sept.	9,6	173,0	0,9	0	10,5	173	1,6	0	11,2	173	2,6	0	12,2	173
<b>VrCH</b>														
oct-marzo	18,1	82,0	0,8	18	18,9	100	1,6	18	19,7	100	2,8	36	20,9	118
abr-sept.	9	87,0	0,9	0	9,9	87	1,6	0	10,6	87	2,5	0	11,5	87
<b>Sarm</b>														
oct-marzo	15,2	47,0	1	-54	16,2	0	1,8	-36	17,0	11	3	-72	18,2	-25
abr-sept.	6,7	85,0	1	36	7,7	121	1,6	18	8,3	103	2,8	18	9,5	103
<b>Greg</b>														
oct-marzo	13,3	88,0	0,9	-54	14,2	34	1,5	-36	14,8	52	2,5	-54	15,8	34
abr-sept.	4,8	82,0	0,9	72	5,7	154	1,6	36	6,4	118	2,6	72	7,4	154
<b>Anti</b>														
oct-marzo	13,2	44,0	0,9	-108	14,1	0	1,6	-72	14,8	0	2,6	-108	15,8	-64
abr-sept.	4,9	72,0	0,9	90	5,8	162	1,6	72	6,5	144	2,6	72	7,5	144

<b>MODELO MM5 : Escenario B2</b>														
	Actual		2020				2050				2080			
	T°	pp	d T	d mm	T°	pp	d T	d mm	T°	pp	d T	d mm	T°	pp
<b>CoMe</b>														
oct-marzo	19,4	124,4	0,6	18	20,0	142	1	18	20,4	142	1,6	0	21,0	124
abr-sept.	9,2	125,4	0,5	36	9,7	161	0,9	36	10,1	161	1,8	90	11,0	215
<b>AvrN</b>														
oct-marzo	19,8	110,5	0,6	18	20,4	129	1,1	18	20,9	129	1,6	36	21,4	147
abr-sept.	9,5	105,5	0,5	36	10,0	142	0,8	72	10,3	178	1,8	72	11,3	178
<b>VIrN</b>														
oct-marzo	19,7	172,5	0,6	0	20,3	173	1	0	20,7	173	1,6	0	21,3	173
abr-sept.	9,8	164,0	0,6	0	10,4	164	0,9	-36	10,7	128	1,4	-36	11,2	128
<b>CoIn</b>														
oct-marzo	19,1	247,0	0,6	36	19,7	283	1	36	20,1	283	1,8	0	20,9	247
abr-sept.	9,6	173,0	0,6	0	10,2	173	1	0	10,6	173	1,6	0	11,2	173

<b>VrCH</b>														
<b>oct-marzo</b>	18,1	82,0	0,6	36	18,7	118	1,2	18	19,3	100	2	36	20,1	118
<b>abr-sept.</b>	9	87,0	0,4	36	9,4	123	0,7	36	9,7	123	1,8	36	10,8	123
<b>Sarm</b>														
oct-marzo	15,2	47,0	0,6	0	15,8	47	1,1	0	16,3	47	1,6	0	16,8	47
abr-sept.	6,7	85,0	0,3	36	7,0	121	0,6	36	7,3	121	1,6	54	8,3	139
<b>Greg</b>														
oct-marzo	13,3	88,0	0,6	0	13,9	88	1,1	0	14,4	88	1,6	0	14,9	88
abr-sept.	4,8	82,0	0,3	18	5,1	100	0,6	18	5,4	100	1,6	36	6,4	118
<b>Anti</b>														
oct-marzo	13,2	44,0	0,6	0	13,8	44	1	-18	14,2	26	1,6	-36	14,8	8
abr-sept.	4,9	72,0	0,3	18	5,2	90	0,6	0	5,5	72	1,6	36	6,5	108

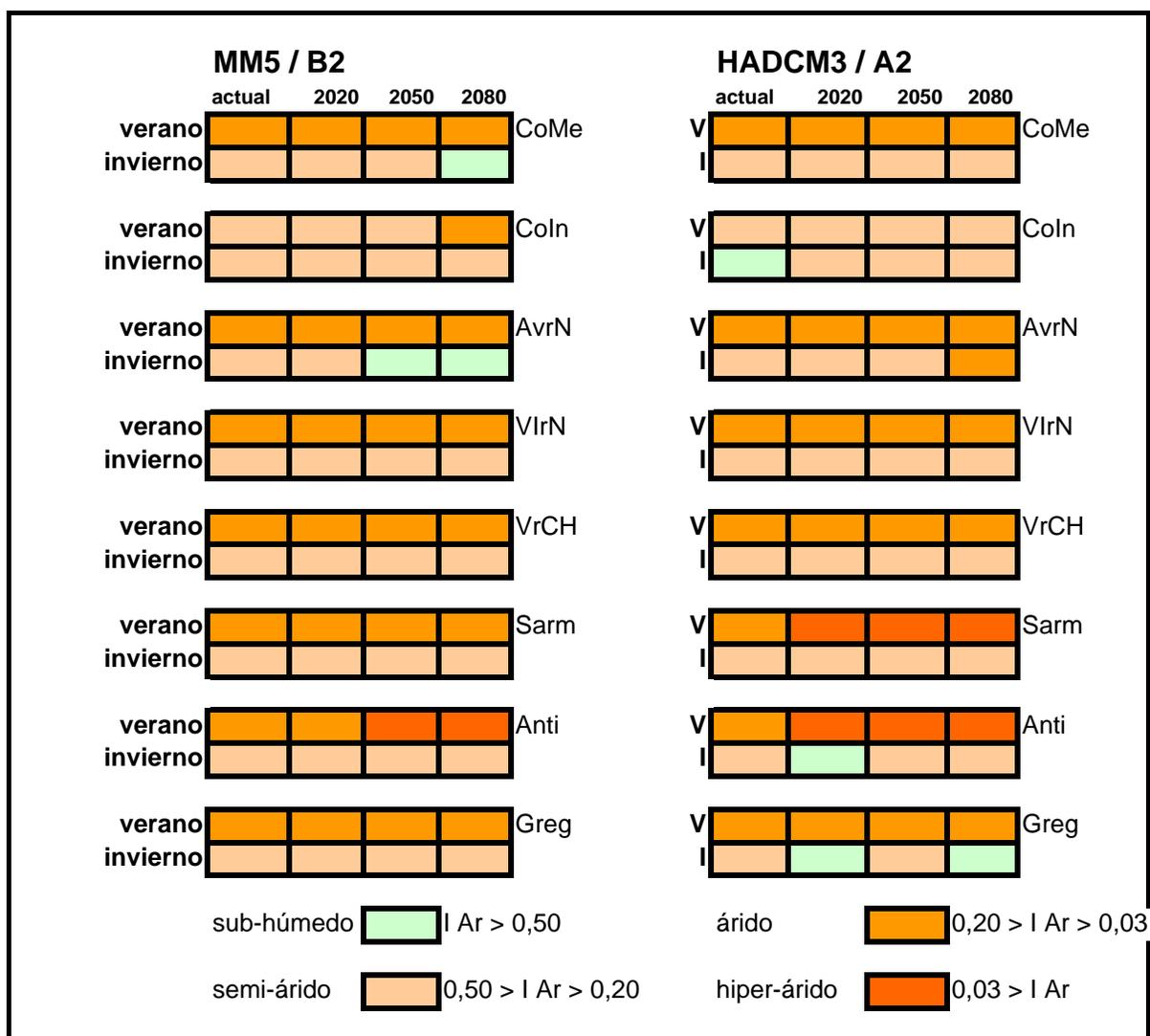
Tabla 8.5: Cálculo de ETP e IAr en los escenarios futuros.

Tabla 8.5 : ETP e Índice de Aridez (IAr) en los escenarios futuros

MM5 B2									HADCM3 A2								
ETP									ETP								
anual	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	
actual	1426	1555	1464	1593	1613	1337	1369	1285	1426	1557	1464	1593	1613	1337	1369	1285	
2020	1461	1588	1487	1623	1639	1363	1429	1313	1466	1574	1507	1642	1634	1371	1437	1318	
2050	1486	1652	1505	1641	1665	1385	1472	1337	1517	1620	1543	1657	1676	1398	1503	1341	
2080	1530	1682	1531	1670	1710	1416	1555	1368	1572	1655	1597	1691	1710	1443	1595	1383	
verano	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	
actual	1087	1210	1133	1248	1230	1070	1107	1041	1087	1207	1133	1237	1230	1070	1107	1041	
2020	1112	1230	1150	1270	1251	1092	1157	1066	1116	1219	1162	1274	1248	1100	1165	1070	
2050	1128	1279	1165	1285	1272	1111	1193	186	1153	1253	1194	1281	1272	1115	1199	1082	
2080	1153	1302	1179	1310	1301	1130	1241	1107	1194	1279	1236	1310	1301	1152	1275	1119	
inviern	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	
actual	338	345	331	363	383	268	262	244	338	349	331	356	383	268	262	244	
2020	349	358	337	371	388	271	272	247	349	355	345	368	387	271	272	248	
2050	358	373	340	375	394	275	281	250	364	367	350	375	405	284	301	255	
2080	377	380	352	399	411	286	314	262	379	376	361	381	411	291	321	264	
Índice de Aridez (IAr = pp / ETP)									Índice de Aridez (IAr = pp / ETP)								
verano	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	
actual	0,11	0,20	0,10	0,14	0,07	0,04	0,04	0,08	0,11	0,20	0,10	0,14	0,07	0,04	0,04	0,08	
2020	0,13	0,23	0,11	0,14	0,09	0,04	0,04	0,08	0,13	0,22	0,11	0,15	0,08	0,00	0,00	0,03	
2050	0,13	0,22	0,11	0,14	0,08	0,04	0,02	0,08	0,12	0,23	0,11	0,16	0,08	0,01	0,00	0,05	
2080	0,11	0,19	0,12	0,13	0,09	0,04	0,01	0,08	0,13	0,25	0,09	0,19	0,09	0,00	0,00	0,03	
inviern	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	CoMe	CoIn	AvrN	VlrN	VrCH	Sarm	Anti	Greg	
actual	0,37	0,48	0,32	0,46	0,23	0,32	0,27	0,34	0,37	0,50	0,32	0,46	0,23	0,32	0,27	0,34	
2020	0,46	0,48	0,39	0,45	0,32	0,45	0,33	0,40	0,37	0,49	0,31	0,45	0,22	0,45	0,60	0,62	
2050	0,45	0,46	0,52	0,35	0,31	0,44	0,26	0,40	0,29	0,47	0,25	0,44	0,21	0,36	0,47	0,46	
2080	0,57	0,46	0,51	0,34	0,30	0,49	0,34	0,45	0,23	0,46	0,19	0,43	0,21	0,35	0,45	0,58	

La Tabla 8.6 grafica los cambios en las condiciones de aridez previstas en los oasis patagónicos según ambos modelos. Las categorías de aridez son las establecidas por UNESCO (1979). Se ve que en ninguna de las áreas se prevén mejoras en las condiciones de aridez durante el semestre de verano, aunque los valores de IAr en la Tabla 8.5 muestran tendencias al aumento en algunas zonas (p. ej. VrCH). Por el contrario, se observan cambios de categoría (en el centro-oeste de la región) que pasa de Arido a Hiper-Arido. Todos los cambios de Semi-Arido a Sub-Húmedo se dan en el semestre invernal, mejora que desde el punto de vista agrícola tiene escasa significación. En general el modelo HADCM3- escenario A2- prevee condiciones de aridez más severas, sobre todo en el sur-oeste del área de estudio.

**Tabla 8.6.** Cambios previstos en las categorías del Índice de Aridez en los oasis patagónicos según los dos modelos utilizados.



La Tabla 8.7, que se adjunta en archivo excel, reúne y sintetiza la información elaborada en todas las anteriores y presenta el cálculo del uso consuntivo de los diferentes cultivos tanto en las condiciones presentes como en los 3 escenarios futuros. Para simplificar la presentación, y habida cuenta de los objetivos de este informe, se optó por trabajar con los resultados del modelo que maximiza las condiciones de aridez, de tal modo que los requerimientos de agua calculados son los mayores que se prevén. Aunque a continuación sólo se presentan tabulados los requerimientos hídricos (en mm), la Tabla 8.7 consta de cinco partes: 1) Cálculo de los valores semestrales de los coeficientes de cultivo. Los cultivos seleccionados son los habituales en los oasis patagónicos: frutas de carozo, frutas de pepita, pasturas, papas, ajo y cebolla, y vid. Este último cultivo no se consideró en los tres oasis más australes, donde no prospera. 2) Valores semestrales de ETP del cultivo de referencia. 3) Vinculando las dos secciones anteriores mediante la ecuación (1) se calculó el uso consuntivo de los distintos cultivos. 4) Precipitaciones semestrales actuales y futuras. 5) Combinando 3 y 4 se obtuvo el déficit hídrico de cada cultivo, es decir las necesidades de riego que presentan actualmente, o que presentarán en 2020, 2050 y 2080.

**Tabla 8.7: Déficit hídrico de los distintos cultivos en los escenarios futuros.**

		Actual								2020					
		pepita	carozo	pasto	papa	ajo	vid			pepita	carozo	pasto	papa	ajo	vid
CoMe	ver.	704	738	968	802	700	483	CoMe	ver.	708	743	980	808	704	481
	inv.	-78	-79	58	-104	-86	-91		inv.	-76	-77	64	-103	-84	-90
		<b>626</b>	<b>660</b>	<b>1027</b>	<b>698</b>	<b>615</b>	<b>392</b>			<b>632</b>	<b>666</b>	<b>1044</b>	<b>706</b>	<b>620</b>	<b>391</b>
Coln	ver.	672	711	966	781	668	427	Coln	ver.	663	702	960	773	659	416
	inv.	-124	-125	16	-151	-132	-138		inv.	-123	-124	19	-151	-132	-138
		<b>548</b>	<b>585</b>	<b>982</b>	<b>630</b>	<b>536</b>	<b>289</b>			<b>540</b>	<b>578</b>	<b>979</b>	<b>623</b>	<b>528</b>	<b>278</b>
AvrN	ver.	752	788	1028	854	748	522	AvrN	ver.	756	793	1039	861	752	520
	inv.	-60	-61	73	-85	-67	-73		inv.	-58	-59	81	-84	-66	-72
		<b>692</b>	<b>727</b>	<b>1101</b>	<b>769</b>	<b>681</b>	<b>449</b>			<b>698</b>	<b>734</b>	<b>1120</b>	<b>776</b>	<b>686</b>	<b>448</b>
VlrN	ver.	769	808	1070	881	765	518	VlrN	ver.	779	820	1089	894	775	520
	inv.	-114	-115	29	-141	-122	-128		inv.	-112	-114	35	-141	-121	-127
		<b>655</b>	<b>693</b>	<b>1099</b>	<b>739</b>	<b>643</b>	<b>389</b>			<b>667</b>	<b>706</b>	<b>1125</b>	<b>753</b>	<b>654</b>	<b>393</b>
VrCH	ver.	855	894	1154	966	851	595	VrCH	ver.	851	890	1154	963	846	586
	inv.	-41	-42	120	-63	-42	-49		inv.	-41	-41	123	-62	-42	-48
		<b>814</b>	<b>852</b>	<b>1275</b>	<b>903</b>	<b>808</b>	<b>546</b>			<b>810</b>	<b>849</b>	<b>1277</b>	<b>900</b>	<b>805</b>	<b>538</b>
Sarm	ver.	777	789	1028	864	747		Sarm	ver.	847	860	1106	937	816	
	inv.	-56	-59	49	-68	-54			inv.	-91	-95	14	-104	-89	
		<b>721</b>	<b>730</b>	<b>1077</b>	<b>796</b>	<b>693</b>				<b>756</b>	<b>765</b>	<b>1120</b>	<b>833</b>	<b>726</b>	
Anti	ver.	808	821	1069	899	777		Anti	ver.	897	911	1171	992	864	
	inv.	-43	-47	45	-55	-41			inv.	-132	-136	-40	-145	-130	
		<b>765</b>	<b>775</b>	<b>1114</b>	<b>843</b>	<b>736</b>				<b>765</b>	<b>775</b>	<b>1131</b>	<b>847</b>	<b>734</b>	
Greg	ver.	632	682	958	799	684		Greg	ver.	706	758	1041	877	760	
	inv.	-66	-62	27	-67	-54			inv.	-137	-134	-43	-138	-125	
		<b>566</b>	<b>620</b>	<b>986</b>	<b>732</b>	<b>631</b>				<b>569</b>	<b>624</b>	<b>999</b>	<b>739</b>	<b>635</b>	

**Tabla 8.7. (continuación)**

	2050									2080					
	ver.	pepita	carozo	pasto	papa	ajo	vid			inv.	pepita	carozo	pasto	papa	ajo
CoMe	ver.	736	773	1017	840	732	502	CoMe	ver.	749	787	1040	857	745	507
	inv.	-56	-57	90	-84	-65	-71		inv.	-36	-37	116	-65	-45	-51
		<b>680</b>	<b>715</b>	<b>1107</b>	<b>756</b>	<b>668</b>	<b>431</b>			<b>713</b>	<b>750</b>	<b>1156</b>	<b>792</b>	<b>701</b>	<b>456</b>
Coln	ver.	671	711	976	784	667	417	Coln	ver.	655	696	966	770	651	395
	inv.	-122	-123	26	-150	-130	-136		inv.	-120	-122	31	-149	-129	-135
		<b>550</b>	<b>588</b>	<b>1002</b>	<b>634</b>	<b>537</b>	<b>280</b>			<b>535</b>	<b>574</b>	<b>997</b>	<b>621</b>	<b>522</b>	<b>260</b>
AvrN	ver.	780	818	1071	888	776	538	AvrN	ver.	830	870	1131	942	826	579
	inv.	-39	-40	102	-66	-47	-53		inv.	-19	-21	126	-47	-28	-34
		<b>741</b>	<b>778</b>	<b>1173</b>	<b>822</b>	<b>729</b>	<b>485</b>			<b>811</b>	<b>849</b>	<b>1257</b>	<b>895</b>	<b>798</b>	<b>545</b>
VlrN	ver.	767	807	1078	882	762	506	VlrN	ver.	753	794	1072	871	748	486
	inv.	-112	-113	39	-140	-120	-127		inv.	-111	-112	42	-140	-120	-126
		<b>655</b>	<b>695</b>	<b>1118</b>	<b>742</b>	<b>642</b>	<b>380</b>			<b>642</b>	<b>682</b>	<b>1114</b>	<b>731</b>	<b>629</b>	<b>361</b>
VrCH	ver.	869	909	1178	983	865	600	VrCH	ver.	873	914	1190	990	869	598
	inv.	-38	-39	132	-61	-40	-47		inv.	-38	-38	136	-61	-39	-46
		<b>830</b>	<b>870</b>	<b>1311</b>	<b>922</b>	<b>825</b>	<b>553</b>			<b>835</b>	<b>876</b>	<b>1325</b>	<b>929</b>	<b>830</b>	<b>552</b>
Sarm	ver.	848	861	1110	939	816		Sarm	ver.	887	900	1158	981	854	
	inv.	-72	-76	39	-85	-70			inv.	-71	-75	42	-85	-69	
		<b>776</b>	<b>785</b>	<b>1148</b>	<b>854</b>	<b>746</b>				<b>816</b>	<b>826</b>	<b>1200</b>	<b>897</b>	<b>785</b>	
Anti	ver.	923	937	1205	1021	889		Anti	ver.	982	997	1281	1086	946	
	inv.	-111	-115	-9	-125	-109			inv.	-109	-113	0	-124	-107	
		<b>812</b>	<b>822</b>	<b>1196</b>	<b>896</b>	<b>780</b>				<b>873</b>	<b>884</b>	<b>1281</b>	<b>962</b>	<b>839</b>	
Greg	ver.	696	749	1035	870	750		Greg	ver.	740	794	1091	919	796	
	inv.	-101	-98	-4	-102	-88			inv.	-136	-133	-36	-137	-123	
		<b>595</b>	<b>651</b>	<b>1032</b>	<b>768</b>	<b>662</b>				<b>604</b>	<b>661</b>	<b>1055</b>	<b>782</b>	<b>673</b>	

La Tabla 8.8 presenta el cálculo de las necesidades de riego totales para cada uno de los oasis, tanto en la actualidad como en el (peor) escenario de 2080. Se asumió que la superficie regada es la misma que la actual y se supuso que la superficie se distribuye en forma pareja entre los cultivos considerados en este informe.

**Tabla 8.8: Necesidades de riego actuales y futuras.**

Tabla 8.8	superficie (10 <sup>3</sup> ha)	deficit actual (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	deficit total (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .actual).	deficit 2080 (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	deficit total (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> . 2080)	equiv.hab. (millones)
CoMe	40	6700	268,0	7610	304,4	2,8
CoIn	90	7040	633,6	5850	526,5	4,8
AVrN	95	7820	742,9	8590	816,1	7,4
VlrN	46	8020	368,9	6930	318,8	2,9
VrCH	25	8860	221,5	8910	222,8	2,0
Sarm	5	8610	43,1	9050	45,3	0,4
Anti	2	8750	17,5	9780	19,6	0,2
Greg	13	7510	97,6	7550	98,2	0,9

### **Ensayo de peso relativo de los factores que condicionan ETP:**

La ecuación 1 calcula ETP tomando en consideración diversos factores ya mencionados. En la Tabla 8.4 (planilla excel adjunta) correspondiente a VrCH se agregó un sector de planilla para calcular ETP modificando los factores básicos, temperatura y viento. Tomando los datos actuales de Trelew, donde el valor obtenido de ETP fue de 1633 mm, se repitió el cálculo aumentando la temperatura 1°C y 2°C, obteniéndose valores de 1684 y 1736 mm respectivamente. Análogamente se repitió el procedimiento manteniendo la temperatura actual pero aumentando la velocidad media del viento en 1 y 2 m.s<sup>-1</sup>, resultando en este caso valores de ETP de 1719 y 1792 mm respectivamente.

También se modelizó el valor de ETP para las condiciones de Trelew pero utilizando los valores de viento de San Rafael, en Mendoza (cuyos valores de temperatura y radiación son sensiblemente semejantes a los de Trelew). En este caso se obtuvo un valor de ETP = 1219 mm, que descendió a 1010 mm cuando el factor viento fue directamente anulado.

Los valores de ETP calculados mediante la fórmula de Penman-Monteith-FAO, utilizada en este informe, resultan muy superiores a los calculados por la fórmula de Thornthwaite que se basa sólo en parámetros térmicos. Así, Burgos y Vidal (1951) y SMN (1988) presentan valores que oscilan entre 800 mm/año en el noreste de la Patagonia y 600 mm/año en el centro de Santa Cruz, mientras que nosotros hemos obtenido resultados del doble (ver Tabla 8.5). Prohaska (1976) previene sobre los resultados erróneos de los cálculos de ETP que no incluyan al factor viento en la Patagonia. Por su parte, Walter y Box (1985) remarcan también el papel del viento en los resultados de ETP en la región patagónica al mencionar que el factor de ajuste de la curva de ETP en función a la temperatura –que es de 5 en Misiones y 7 en la pampa húmeda- trepa a 10 en Maquinchao, 12 en Bariloche y 15 en Río Grande. Estos autores presentan valores de déficit hídrico de 1200 mm en Puerto Deseado y 1500 en Paso de Indios, que son semejantes, incluso superiores, a los presentados en este informe para las condiciones climáticas actuales (Ver Tabla 8.7, columna “pasto”)

### **Discusión**

El uso consuntivo (actual y futuro) de los diferentes cultivos y la disponibilidad de agua en los tiempos respectivos da por resultado elevados déficit hídricos en todos los cultivos y en todos los oasis patagónicos. Sin embargo, la Tabla 8.7 muestra que en la mayoría de los casos hay un exceso de precipitaciones en invierno, que si bien sólo reduce un poco el déficit anual, no debería ser desconsiderado a la hora de optimizar el riego en condiciones cada vez más comprometidas. Para que el agua proveniente del exceso de precipitaciones invernales estuviera disponible en la temporada estival se requeriría de una compleja infraestructura, hoy en día apenas incipiente, (tajamares, cisternas, aljibes, embalses de evaporación reducida, etc). Se trata de soluciones técnicamente viables pero cuya implementación espontánea por particulares es dudosa. Es bien sabido que la

sistematización de las obras de riego requiere un nivel de organización y de capitales que sólo a través del Estado, o bajo su control y fomento, pueden implementarse.

Por otro lado, el déficit hídrico podría reducirse también mediante mejoras en las condiciones de cultivo, concretamente el factor viento que, como se vio, tiene un peso determinante en los altos valores de ETP en la Patagonia.

En la última columna de la Tabla 8.8 aparece la estimación del número de habitantes que consumirían la misma cantidad de agua que los cultivos. El uso consuntivo no-agrícola no es analizado aquí pero algunas consideraciones básicas no pueden dejar de mencionarse.

Estimando un déficit hídrico de  $700 \text{ mm.año}^{-1}$  para un cultivo promedio en cualquiera de los oasis patagónicos, esto implica una necesidad de riego de  $7000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  y asumiendo que un habitante urbano patagónico actual consume alrededor de 300 litros de agua por día (o sea  $110 \text{ m}^3$  por año), se desprende que el agua invertida anualmente en regar una hectárea bastaría para cubrir las necesidades de más de 60 personas. Aunque es obvio que los cálculos detallados podrían variar según el cultivo, la zona o los hábitos de consumo de la población, es muy gráfico retener esta relación ya que implica que las áreas bajo riego en la Patagonia insumen volúmenes de agua equivalentes a áreas con una densidad de población de  $6000 \text{ hab. km}^{-2}$ , que es un nivel urbano medio. En otras palabras, a superficies iguales, un regadío y una ciudad requieren la misma cantidad de agua.

La Tabla 8.8 también permite observar que en 2080 para mantener los cultivos en sus niveles actuales, será necesario aplicar un 5-13 % más de riego en la mayoría de los oasis de la región. En cambio, los del extremo noreste (CoIn y VIrN) se verían beneficiados por el aumento de las precipitaciones estivales, tendencia que también se reflejaba en la mejora de las condiciones de aridez (ver Tabla 8.5, columna derecha, I Ar).

### **Conclusiones:**

De acuerdo con las tendencias señaladas por los escenarios futuros y según la metodología empleada, el mantenimiento de la agricultura bajo riego en la región patagónica en sus niveles actuales, requerirá el aumento de los volúmenes de riego hasta en un 15 % en 2080. Sólo en un pequeño sector del NE de la región se observa la tendencia contraria. Este aumento del uso consuntivo de los cultivos deberá ser tenido en cuenta a la hora de planificar la apertura de nuevas áreas de riego, que son una posibilidad cierta. Deberían adoptarse métodos para aprovechar los aumentos de las precipitaciones durante el invierno que se observan en gran parte de la región, a fin de disminuir el marcado déficit estival, que en toda la región centro-oeste empeorará marcadamente.

Debido a la población actual, relativamente escasa, la presión sobre los recursos hídricos es bastante menor que la ejercida por la agricultura, pero pautas culturales inapropiadas para una región árida, o -sobre todo- el consumo industrial y/o minero, aconsejan una planificación prudente de recursos que, a la par de más escasos, serán más solicitados en el futuro.

## **Bibliografía:**

Blaney, H. y W. Criddle., 1950. Determining Water needs From Climatological Data. U. S. D. A. Soil Conservation Service.

Burgos, J. y Vidal, A, 1951.: Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros* (1,1): 3-32.

FAO. 1985. Datos agroclimatológicos para América Latina y el Caribe. *Colección Producción y Protección Vegetal*, N°24. FAO. Roma.

Jones, P. & Ekstrom, M., 2002. *Sustainable water: Uncertainty, Risk and Vulnerability in Europe*. Climatic research unit. School of Environmental Science. University of East Anglia, Norwich, NR47TJ, 1-11.

Le Houérou, H., 2005. *The Isoclimatic mediterranean biomes*, vol.1, p.34. Montpellier.

Prohaska.F., 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En Schwerdtfeger, W. (ed.), *Climates of Central and South America*, World Survey of Climatology. Vol. 12, Elsevier, Amsterdam, pp. 13-112.

Sánchez-Tienda, J., 1999. Metodología de Blaney y Criddle modificada relacionando fenología y precipitaciones. *Revista Chapingo*, serie horticultura 5: 201-207.

SMN. 1988. Servicio Meteorológico Nacional. Sequía y Desertificación. *Boletín Informativo* n°39. Buenos Aires.

UNESCO (1979). Carte de la répartition mondiale des régions arides. *Notes Techniques du MAB* 7. 56 pp. Paris.

Urrutia, R., Parra, O. y Acuña, A., 2003. *Los recursos hídricos: una perspectiva global e íntegra*. Colección Educar para el Ambiente. INET-GTZ. Buenos Aires.

Walter, H. y Box, E. 1983. Climate of Patagonia. En: West, N. (ed.), *Ecosystems of the World. Deserts and semideserts of Patagonia*, Vol. 5, Elsevier, Amsterdam, pp.440-454.

<http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e07.htm>