

**CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

**HUELLA HÍDRICA DE LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS  
EN LAS EXPORTACIONES  
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

**Provincia de Buenos Aires - ARGENTINA**

**INFORME FINAL**

**Marzo de 2013**

## **AUTORIDADES**

**Provincia de Buenos Aires**

Gobernador

**Sr. Daniel Osvaldo Scioli**

Ministro de Economía

**Lic. Silvina Batakis**

Director Ejecutivo del Organismo Provincial  
para el Desarrollo Sostenible (OPDS)

**Ing. Hugo Javier Bilbao**



**Consejo Federal de Inversiones**

Secretario General

**Ing. Juan José Ciácera**

Director de Recursos Financieros

**Ing. Ramiro Otero**

Autor

**Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales**

**Universidad Nacional de La Plata**



**Coordinador**

Prof. Ing. Agr. Raúl Rosa

**Consultores Expertos**

Dra. Margarita Alconada; Ing. Ricardo Andreau; Ing. Nestor Darwich; Ing. Héctor París; Ing. Miriam Presutti; Ing. Alejandro González; Ing. Adriana Lombardo; CPN Pedro Lusarreta; Ing. Esteban Manis; Ing. José Micheloud; Ing. Jaime Moyano; Ing. Sebastian Galbusera; Ing. Gabriel Tinghitella

**Pasantes**

Paula Girón, Andrés Merchan, Santiago Patrouilleau

**Auxiliares**

Calc. Cient. Graciela López Otegui; Miriam Levy

**Contraparte técnica provincial**

Responsable Área Cambio Climático OPDS: Ing. Agr. Mónica Casanovas

**Contraparte técnica CFI**

Lic. Carlos Bas

## INDICE GENERAL.

<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>24</b>
1°.- Generalidades	24
2°.- Relevamiento de experiencias de otros grupos de trabajo	27
<b>II. ASPECTOS METODOLOGICOS</b>	<b>29</b>
1°.- Introducción	29
2°.- Características Agroclimáticas	33
a.- Caracterización Climática de la Provincia de Buenos Aires.	33
1) Subregión Noroeste	33
2) Subregión Pampa Ondulada	34
3) Subregión de Tandilia y Ventania	34
4) Subregión Pampa Deprimida	35
5) Subregión Interserrana	36
6) Delta del Paraná	36
7) Sector Patagónico	36
b.- Caracterización de los suelos de la Provincia de Buenos Aires	37
1) Orden MOLISOL	41
2) Orden ALFISOL	48
3) Orden ENTISOL	48
4) Orden ARIDISOL	49
5) Orden VERTISOL	50
3°.- Regionalización	51
c.- Introducción	51
d.- Regionalizaciones nacionales y provinciales	51
e.- Regionalizaciones nacionales	52
f.- Regionalizaciones provinciales	54
g.- Regionalizaciones-zonificaciones por cultivos	69
h.- ZAH 1: Zona de Riego y Ganadera Árida	77
i.- ZAH 2: Zona mixta del sur oeste	77
j.- ZAH 3: Zona Mixta del Centro Sur	78
k.- ZAH 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado	79
l.- ZAH 5: Zona del Noreste	80
m.- ZAH 6: Zona Mixta del Centro	81
n.- ZAH 7: Zona Mixta del Noroeste	82
o.- ZAH 8: Zona núcleo agrícola del norte	83
p.- Resumen de indicadores de producción y valor bruto por ZAH	84
q.- Análisis por cultivo	86
1) Girasol	87
2) Maíz	88
3) Soja	89
4) Trigo	90
r.- Valor bruto de producción y superficies sembradas. Resumen	91

1)	Cultivos de girasol	95
2)	Cultivos de maíz	95
3)	Cultivos de soja	96
4)	Cultivos de trigo	96
5)	Resumen de las pruebas de significancia de diferencia de rendimientos	97
<b>III. ENFOQUE METODOLÓGICO PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA</b>		<b>99</b>
1° -	Revisión de Metodologías para el estudio de la Huella Hídrica	99
2° -	Enfoque utilizado para el cálculo de la Huella Hídrica	106
s.-	Consideraciones Generales	106
t.-	Metodología tomando como base el CropWat	107
1)	Introducción	107
2)	Generación de información en base GIS para datos de entrada del Cropwat	111
3)	Otros aspectos considerados en la modelación utilizando el CropWat.	114
1°)	Aspectos de Clima.	114
1°)	Aspectos de Suelo	128
2°)	Aspectos Fenológicos del Cultivo.	129
3°)	Reducción de rendimiento del cultivo por estrés hídrico	131
4)	Datos y supuestos utilizados en la modelación	134
1°)	Estaciones meteorológicas	134
2°)	Procesamiento de datos de precipitación. Determinación de años secos, normales y húmedos	136
3°)	Estimación de la Precipitación Efectiva	140
4°)	Series de Suelos Agrícolas	141
5°)	Datos de cultivos	150
6°)	Rendimiento de los cultivos	154
u.-	Metodología tomando como base el AquaCrop	160
1)	Introducción	160
2)	ET <sub>o</sub> Calculator 3.1	160
3)	Breve descripción del software AquaCrop	162
4)	Módulo climático: Información de entrada	164
5)	Módulo de cultivo: Información de entrada	165
6)	Módulo de manejo: Información de entrada	167
7)	Módulo de suelo: Información de entrada	168
<b>IV. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE PRODUCTOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HIDRICA</b>		<b>174</b>
1° -	Introducción	174
2° -	Complejo Girasol	176
3° -	Complejo Maíz	180
4° -	Complejo Soja	183
5° -	Complejo Trigo	188
v.-	Resumen de los productos seleccionados	190
1° -	Análisis estadístico de la información sistematizada	192
w.-	Fuente de datos estadísticos del uso agrícola del suelo en la provincia de Buenos Aires	192

<b>V. RESULTADOS DE LA MODELACION UTILIZANDO CROPWAT PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HIDRICA VERDE.</b>	<b>199</b>
1° - Introducción	199
2° - Evapotranspiración de los cultivos en condiciones estándar (ETc)	201
x.- Mapas síntesis de resultados de ETPc	205
3° - Usos reales del agua obtenidos en la modelación por región.	207
y.- Anova de un factor de los usos reales modelados para Maíz.	208
z.- Anova de un factor de los usos reales modelados para Soja.	210
aa.- Anova de un factor de los usos reales modelados para Trigo.	212
a.- Anova de un factor de los usos reales modelados para Girasol.	214
4° - Precipitación Efectiva (PPE)	216
b.- Mapas síntesis de resultados de Precipitación efectiva	221
5° - Déficit de humedad de los cultivos	227
c.- Mapas síntesis de resultados de Déficit de humedad en cultivos	231
6° - Disminución de Rendimientos a causa del déficit de humedad	237
d.- Mapas síntesis de resultados de Rendimientos esperados	241
7° - Rendimientos promedios obtenidos en la modelación por región.	247
e.- Anova de un factor de los rendimientos modelados para Maíz.	250
f.- Anova de un factor de los rendimientos modelados para Soja.	252
g.- Anova de un factor de los rendimientos modelados para Trigo.	254
h.- Anova de un factor de los rendimientos modelados para Girasol.	256
8° - Huella Hídrica Verde	258
i.- Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Maíz	258
8) Mapas síntesis de resultados de Maíz	266
9) Anova de las Huellas Hídricas para Maíz por región	268
j.- Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Soja de Primera	270
10) Mapas síntesis de resultados de Soja de primera	277
11) Anova de las Huellas Hídricas para Soja por región	278
k.- Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Trigo	279
12) Mapas síntesis de resultados de Trigo	286
13) Anova de las Huellas Hídricas para Trigo por región	288
l.- Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Girasol	289
14) Mapas síntesis de resultados de Girasol	297
1) Anova de las Huellas Hídricas para Girasol por región	298
9° - Resumen de Resultados y Conclusiones	300
<b>VI. RESULTADOS DE LA MODELACION UTILIZANDO AQUACROP PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HIDRICA VERDE</b>	<b>305</b>
1° - Introducción	305
m.- Generalidades	305
n.- Procedimiento	305
2° - Información de ensayos aportada por AACREA	306
3° - ET <sub>o</sub> Calculator	308
o.- Procedimiento utilizado	309

4° -	Resultados del trabajo con el AquaCrop	312
p.-	Aquacrop - Maíz	312
q.-	Soja	318
r.-	Girasol	321
s.-	Trigo	324
5° -	Conclusiones de la utilización del programa AquaCrop	327
<b>VII. COMPARACION DE LA HUELLA HIDRICA BAJO AMBAS METOLOGOGIAS DE CÁLCULO.</b>		<b>329</b>
6° -	Consideraciones sobre los resultados	329
<b>VIII.HUELLA GRIS EN CULTIVOS EXTENSIVOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.</b>		<b>335</b>
1° -	Contaminantes que podrían considerarse en el cálculo de huella gris	335
2° -	Consideraciones sobre el cálculo del agua gris en la huella hídrica	335
t.-	Sistemas intensivos y sistemas extensivos en la provincia de Buenos Aires	336
2)	Sistemas productivos intensivos y semi-intensivos	337
3)	Sistemas productivos extensivos	339
u.-	Necesidades de los cultivos, balances extracción- reposición	340
3° -	Conclusiones sobre la Huella Hídrica Gris	348
<b>IX. IMPACTO ECONÓMICO DEL AGUA EN LA MODELACION REALIZADA.</b>		<b>350</b>
1° -	Introducción	350
2° -	Estimación del producto marginal del agua.	351
3° -	Estimación del valor por milímetro de agua adicional para las condiciones evaluadas.	352
4° -	Estimación del valor de agua para las condiciones evaluadas.	355
<b>X. CONSIDERACIONES FINALES</b>		<b>358</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFÍA.</b>		<b>362</b>

## INDICE DE TABLAS

TABLA II-1. SUELOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	39
TABLA II-2. PROVINCIA DE BUENOS AIRES. SUELOS Y APTITUD DESCRIPTOS EN LA REGIÓN SERRANA Y DEPRIMIDA (ADAPTADO DEL PLAN MAESTRO PMI, 1999)	44
TABLA II-3. APTITUD FÍSICA DE LOS SUELOS PARA CULTIVOS DE GRANO (ADAPTADA DE PMI, 1999)	46
TABLA II-4. PROVINCIA DE BUENOS AIRES. SERIES DE SUELOS CARACTERÍSTICAS DE LAS CLASES DE CAPACIDAD PRODUCTIVA AGRÍCOLA (ICAP)	66
TABLA II-5. PROVINCIA DE BUENOS AIRES. PARTIDOS AGRÍCOLAS	74
TABLA II-6. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 2	78
TABLA II-7. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 3	79
TABLA II-8. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 4	80
TABLA II-9. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 5	81
TABLA II-10. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 6	82
TABLA II-11. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 7	83
TABLA II-12. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 8	84
TABLA II-13. SUPERFICIE DE CADA CULTIVO POR ZAH Y TOTAL PROVINCIAL	84
TABLA II-14. VALOR BRUTO DE PRODUCCIÓN PROMEDIO ANUAL POR ZAH Y TOTAL PROVINCIAL	86
TABLA II-15. GIRASOL. SUPERFICIES SEMBRADAS, PRODUCCIÓN Y VBP POR ZAH	87
TABLA II-16. MAÍZ. SUPERFICIES SEMBRADAS, PRODUCCIÓN Y VBP POR ZAH	88
TABLA II-17. SOJA. SUPERFICIES SEMBRADAS, PRODUCCIÓN Y VBP POR ZAH	89
TABLA II-18. TRIGO. SUPERFICIES SEMBRADAS, PRODUCCIÓN Y VBP POR ZAH	90
TABLA II-19. GIRASOL. DIFERENCIAS DE MEDIAS POR ZAH	95
TABLA II-20. MAÍZ. DIFERENCIAS DE MEDIAS POR ZAH PARA EL CULTIVO DE MAÍZ	96
TABLA II-21. SOJA. DIFERENCIAS DE MEDIAS POR ZAH	96
TABLA II-22. TRIGO. DIFERENCIAS DE MEDIAS POR ZAH	97
TABLA II-23. CANTIDAD DE CULTIVOS ENTRE ZAH QUE MUESTRAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS DE RENDIMIENTOS	98
TABLA III-1. ESQUEMA CONCEPTUAL DEL ESTUDIO	106
TABLA III-2. POLÍGONOS CON HUELLA HÍDRICA VERDE CALCULADA PRESENTADOS	109
TABLA III-3. EJEMPLO DE AJUSTE DE VELOCIDAD DEL VIENTO	124
TABLA III-4. EJEMPLO DE $ET_0$ CALCULADA POR EL CROPWAT	127

TABLA III-5. PERGAMINO. TABULACIÓN DE LLUVIA PARA EL PERÍODO 1996/2011	136
TABLA III-6. PERGAMINO. TABULACIÓN DE LA POSICIÓN DE PLOTEO	137
TABLA III-7. PERGAMINO. PLOTEO DE LOS VALORES EN ESCALA LOG-NORMAL Y OBTENCIÓN DE LA ECUACIÓN DE LA REGRESIÓN LOGARÍTMICA	137
TABLA III-8. PERGAMINO. CÁLCULO DE PRECIPITACIONES ANUALES CON PROBABILIDADES DE 20, 50 Y 80%	137
TABLA III-9. PERGAMINO. RESULTADOS OBTENIDOS	138
TABLA III-10. SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN). SERIES HISTÓRICAS DE LLUVIAS	139
TABLA III-11. ZAH 2. SERIES DE SUELOS SELECCIONADAS	143
TABLA III-12. ZAH 3. SERIES DE SUELOS SELECCIONADAS	144
TABLA III-13. ZAH 4. SERIES DE SUELOS SELECCIONADAS	145
TABLA III-14. ZAH 5. SERIES DE SUELOS SELECCIONADAS	146
TABLA III-15. ZAH 6. SERIES DE SUELOS SELECCIONADAS	147
TABLA III-16. ZAH 7. SERIES DE SUELOS SELECCIONADAS	148
TABLA III-17. ZAH 8. SERIES DE SUELOS SELECCIONADAS	149
TABLA III-18. FECHAS DE SIEMBRA, COSECHA Y DURACIÓN DE CICLOS DE GIRASOL Y MAÍZ	151
TABLA III-19. FECHAS DE SIEMBRA, COSECHA Y DURACIÓN DE CICLOS DE SOJA Y TRIGO	151
TABLA III-20. ETAPAS DE CRECIMIENTO DE MAÍZ Y GIRASOL	152
TABLA III-21. ETAPAS DE CRECIMIENTO DE TRIGO Y SOJA	152
TABLA III-22. VALORES DE KC DE CULTIVOS	153
TABLA III-23. RENDIMIENTOS MÁXIMOS POR SERIE DE SUELO EN ZAH 2	154
TABLA III-24. RENDIMIENTOS MÁXIMOS POR SERIE DE SUELO EN ZAH 3	155
TABLA III-25. RENDIMIENTOS MÁXIMOS POR SERIE DE SUELO EN ZAH 4	155
TABLA III-26. RENDIMIENTOS MÁXIMOS POR SERIE DE SUELO EN ZAH 5	155
TABLA III-27. RENDIMIENTOS MÁXIMOS POR SERIE DE SUELO EN ZAH 6	155
TABLA III-28. RENDIMIENTOS MÁXIMOS POR SERIE DE SUELO EN ZAH 7	156
TABLA III-29. RENDIMIENTOS MÁXIMOS POR SERIE DE SUELO EN ZAH 8	156
TABLA III-30. VALORES DE $K_y$ UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE RENDIMIENTO FRENTE AL DÉFICIT DE HUMEDAD	159
TABLA IV-1. EXPORTACIONES DE LOS COMPLEJOS AGRÍCOLAS PRINCIPALES	175
TABLA IV-2. EXPORTACIONES DE GIRASOL PARA SIEMBRA. PERÍODO 2006-2011	176
TABLA IV-3. EXPORTACIONES DE GIRASOL DESCASCARADO. PERÍODO 2006-2011	177

TABLA IV-4. EXPORTACIONES DE GIRASOL TIPO CONFITERÍA. PERÍODO 2006-2011	177
TABLA IV-5. EXPORTACIONES DE GIRASOL A GRANEL. PERÍODO 2006-2011	178
TABLA IV-6. EXPORTACIONES DE ACEITE DE GIRASOL EN BRUTO. PERÍODO 2006-2011	178
TABLA IV-7. EXPORTACIONES DE ACEITE DE GIRASOL REFINADO ENVASADO. PERÍODO 2006-2011	179
TABLA IV-8. EXPORTACIONES DE ACEITE DE GIRASOL REFINADO A GRANEL. PERÍODO 2006-2011	179
TABLA IV-9. EXPORTACIONES DE MAÍZ PARA SIEMBRA. PERÍODO 2006-2011	181
TABLA IV-10. EXPORTACIONES DE MAÍZ EN GRANO. PERÍODO 2006-2011	181
TABLA IV-11. EXPORTACIONES DE ACEITE DE MAÍZ EN BRUTO. PERÍODO 2006-2011	182
TABLA IV-12. EXPORTACIONES DE ACEITE DE MAÍZ REFINADO. PERÍODO 2006-2011	182
TABLA IV-13. EXPORTACIONES DE HABAS DE SOJA PARA SIEMBRA. PERÍODO 2006-2011	184
TABLA IV-14. EXPORTACIONES DE HABAS DE SOJA A GRANEL. PERÍODO 2006-2011	184
TABLA IV-15. EXPORTACIONES DE HARINA DE TORTAS DE SOJA. PERÍODO 2006-2011	185
TABLA IV-16. EXPORTACIONES DE PELLETS DE SOJA. PERÍODO 2006-2011	185
TABLA IV-17. EXPORTACIONES DE ACEITE DE SOJA EN BRUTO. PERÍODO 2006-2011	186
TABLA IV-18. EXPORTACIONES DE ACEITE DE SOJA REFINADO. PERÍODO 2006-2011	186
TABLA IV-19. EXPORTACIONES DE BIODIESEL MEZCLA. PERÍODO 2006-2011	187
TABLA IV-20. EXPORTACIONES DE BIODIESEL PURO. PERÍODO 2006-2011	187
TABLA IV-21. EXPORTACIONES DE TRIGO PAN. PERÍODO 2006-2011	188
TABLA IV-22. EXPORTACIONES DE HARINA DE TRIGO. PERÍODO 2006-2011	189
TABLA IV-23. EXPORTACIONES DE HARINA DE TRIGO. PERÍODO 2006-2011	189
TABLA IV-24. EXPORTACIONES PROVINCIALES DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS Y DERIVADOS. PERÍODO 2006-2011	191
TABLA IV-25. SUPERFICIE CON CULTIVOS ANUALES DE INTERÉS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. AÑO 2002	193
TABLA IV-26. SUPERFICIES SEMBRADAS CON CULTIVOS EXTENSIVOS EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES. PERÍODO 1970-2010	195
TABLA IV-27. PRODUCCIÓN NACIONAL Y PROVINCIAL PARA LOS CUATRO CULTIVOS DE INTERÉS. ÚLTIMAS CINCO Y DIEZ CAMPAÑAS	196
TABLA IV-28. RENDIMIENTOS PROVINCIAL Y NACIONAL PARA LOS CUATRO CULTIVOS DE INTERÉS. ÚLTIMAS CINCO Y DIEZ CAMPAÑAS	197
TABLA IV-29. VALOR BRUTO DE PRODUCCIÓN NACIONAL Y PROVINCIAL PARA LOS CUATRO CULTIVOS DE INTERÉS. PERÍODO 2007-2011	198

TABLA IV-30. VALOR BRUTO DE PRODUCCIÓN PROVINCIAL PARA LOS CUATRO CULTIVOS DE INTERÉS. PROMEDIO 2007-2011	198
TABLA V-1. ETC MÍNIMA Y MÁXIMA ESTIMADAS POR CULTIVO Y POR ZAH	201
TABLA V-2. ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA LA ETC EN ZAH 3 Y 4	202
TABLA V-3. VALOR RELATIVO DEL RANGO PARA LA ETC EN CADA ZAH	203
TABLA V-4. ETC MEDIA PONDERADA POR ZAH	203
TABLA V-5. PRECIPITACIÓN EFECTIVA MÍNIMA Y MÁXIMA ESTIMADAS POR CULTIVO Y POR ZAH	217
TABLA V-6. ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA LAS PRECIPITACIONES EFECTIVAS DE AÑO NORMAL POR ZAH	218
TABLA V-7. PRECIPITACIÓN EFECTIVA MEDIA PONDERADA POR ZAH Y POR CULTIVO	219
TABLA V-8. DÉFICIT DE HUMEDAD MÍNIMO Y MÁXIMO ESTIMADOS POR CULTIVO Y POR ZAH	227
TABLA V-9. ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA DÉFICIT DE HUMEDAD DE AÑO NORMAL POR ZAH	228
TABLA V-10 DÉFICIT DE HUMEDAD MEDIO PONDERADO POR ZAH Y POR CULTIVO	229
TABLA V-11 DISMINUCIÓN DE RENDIMIENTOS MÍNIMO Y MÁXIMO ESTIMADOS POR CULTIVO Y POR ZAH	237
TABLA V-12 RENDIMIENTOS ESPERADOS MÍNIMO Y MÁXIMO ESTIMADOS POR CULTIVO Y POR ZAH	238
TABLA V-13 ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA RENDIMIENTOS ESPERADO EN AÑO NORMAL POR ZAH	239
TABLA V-14 RENDIMIENTO MEDIO ESPERADO PONDERADO POR ZAH Y POR CULTIVO	240
TABLA V-15: ESTIMACIÓN PROMEDIO DE RENDIMIENTOS PARA CADA CONDICIÓN	248
TABLA V-16 HUELLA HÍDRICA VERDE POR ZAH PARA CULTIVOS DE MAÍZ	259
TABLA V-17 ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA HUELLA HÍDRICA DE AÑO NORMAL EN MAÍZ	259
TABLA V-18 VALORES EXTREMOS DE HUELLA HÍDRICA EN ZAH 2 PARA MAÍZ, Y VARIABLES RELACIONADAS	261
TABLA V-19 EJEMPLO DE DISMINUCIÓN DE HUELLA HÍDRICA VERDE DEL MAÍZ FRENTE AL AUMENTO DE LLUVIAS	262
TABLA V-20 EJEMPLO DE DIFERENCIAS DE HUELLA HÍDRICA VERDE ENTRE AÑO SECO Y HÚMEDO PARA EL MAÍZ	264
TABLA V-21 HUELLA HÍDRICA VERDE PARA EL MAÍZ EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES	264
TABLA V-22 COMPARACIÓN DE HUELLA HÍDRICA VERDE DEL MAÍZ	265

TABLA V-23: TABLAS DE ANOVA PARA LAS HUELLAS HÍDRICAS DE MAÍZ	269
TABLA V-24 HUELLA HÍDRICA VERDE POR ZAH PARA CULTIVOS DE SOJA	270
TABLA V-25 ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA HUELLA HÍDRICA DE AÑO NORMAL EN SOJA	271
TABLA V-26 VALORES EXTREMOS DE HUELLA HÍDRICA EN ZAH 3 PARA SOJA, Y VARIABLES RELACIONADAS	272
TABLA V-27 EJEMPLO DE AUMENTO DE HUELLA HÍDRICA VERDE DE LA SOJA FRENTE AL AUMENTO DE LLUVIAS	273
TABLA V-28 EJEMPLO DE DIFERENCIAS DE HUELLA HÍDRICA VERDE ENTRE AÑO SECO Y HÚMEDO PARA SOJA DE PRIMERA OCUPACIÓN	274
TABLA V-29 HUELLA HÍDRICA VERDE PARA SOJA 1RA EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES	275
TABLA V-30 COMPARACIÓN DE HUELLA HÍDRICA VERDE DE SOJA DE 1RA	275
TABLA V-31: TABLAS DE ANOVA PARA LAS HUELLAS HÍDRICAS DE SOJA	279
TABLA V-32 HUELLA HÍDRICA VERDE POR ZAH PARA CULTIVOS DE TRIGO	280
TABLA V-33 ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA HUELLA HÍDRICA DE AÑO NORMAL EN TRIGO	280
TABLA V-34 VALORES EXTREMOS DE HUELLA HÍDRICA EN ZAH 4 PARA TRIGO, Y VARIABLES RELACIONADAS	282
TABLA V-35 EJEMPLO DE AUMENTO DE HUELLA HÍDRICA VERDE DEL TRIGO FRENTE AL AUMENTO DE LLUVIAS	283
TABLA V-36 EJEMPLO DE DIFERENCIAS DE HUELLA HÍDRICA VERDE ENTRE AÑO SECO Y HÚMEDO PARA TRIGO	284
TABLA V-37 HUELLA HÍDRICA VERDE PARA TRIGO EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES	285
TABLA V-38 COMPARACIÓN DE HUELLA HÍDRICA VERDE DE TRIGO	285
TABLA V-39: TABLAS DE ANOVA PARA LAS HUELLAS HÍDRICAS DE TRIGO	289
TABLA V-40 HUELLA HÍDRICA VERDE POR ZAH PARA CULTIVOS DE GIRASOL	290
TABLA V-41 ESTADÍSTICOS DE POSICIÓN Y DISPERSIÓN PARA HUELLA HÍDRICA DE AÑO NORMAL EN GIRASOL	290
TABLA V-42 VALORES EXTREMOS DE HUELLA HÍDRICA EN ZAH 7 PARA GIRASOL, Y VARIABLES RELACIONADAS	292
TABLA V-43 EJEMPLO DE AUMENTO DE HUELLA HÍDRICA VERDE DEL GIRASOL FRENTE AL AUMENTO DE LLUVIAS	293
TABLA V-44 EJEMPLO DE DIFERENCIAS DE HUELLA HÍDRICA VERDE ENTRE AÑO SECO Y HÚMEDO PARA GIRASOL	294
TABLA V-45 HUELLA HÍDRICA VERDE PARA GIRASOL EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES	295

TABLA V-46 COMPARACIÓN DE HUELLA HÍDRICA VERDE DE GIRASOL	295
TABLA V-47: TABLAS DE ANOVA PARA LAS HUELLAS HÍDRICAS DE GIRASOL	299
TABLA V-48 HUELLAS HÍDRICAS VERDES PROMEDIO PONDERADO POR CULTIVO EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES	300
TABLA VI-1. LOTES DE TRIGO: LOCALIDAD, CAMPAÑA Y TIPO DE AÑO	307
TABLA VI-2. LOTES DE GIRASOL: LOCALIDAD, CAMPAÑA Y TIPO DE AÑO	308
TABLA VI-3. LOTES DE SOJA: LOCALIDAD, CAMPAÑA Y TIPO DE AÑO	308
TABLA VI-4. LOTES DE MAÍZ: LOCALIDAD CAMPAÑA Y TIPO DE AÑO	308
TABLA VII-1. CASOS PARA LA COMPARACIÓN ENTRE EL CROPWAT Y EL AQUACROP	329
TABLA VII-2. CASOS REFERENCIADOS A LOS MODELADOS EN EL CROPWAT	330
TABLA VII-3. CASOS MODELADOS EN EL AQUACROP Y DIFERENCIA ENTRE LOS VALORES DE HUELLA HÍDRICA	330
TABLA VII-4: COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS CON LOS REGISTRADOS POR AACREA	331
TABLA VII-5: COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS EN PORCENTAJE CON LOS REGISTRADOS POR AACREA	332
TABLA VII-6: TABLA DE COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS MODELADOS EN EL CROPWAT Y LOS DE LOS ENSAYOS DE AACREA MODELADOS.	333
TABLA VII-7: COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS	334
TABLA VIII-1. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES: ABSORCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES	341
TABLA VIII-2. EFICIENCIA DE USO DEL AGUA, Y DE N SEGÚN EL MANEJO EFECTUADO EN UN CULTIVO DE MAÍZ EN LAS EXPERIMENTALES DE INTA PARANÁ Y BALCARCE	347
<b>TABLA IX-1: ESTIMACIÓN DEL VALOR PARA CADA CONDICIÓN POR MM POR CULTIVO</b>	<b>353</b>
TABLA IX-2: MÁRGENES BRUTOS EN U\$S CORRIENTES PARA LOS RENDIMIENTOS MÁXIMOS PROMEDIOS	353
TABLA IX-3: MÁRGENES BRUTOS EN U\$S CORRIENTES PARA EL PERIODO HÚMEDO	354
TABLA IX-4: MÁRGENES BRUTOS EN U\$S CORRIENTES PARA EL PERIODO NORMAL	354
TABLA IX-5: MÁRGENES BRUTOS EN U\$S CORRIENTES PARA EL PERIODO SECO	354
<b>TABLA IX-5: ESTIMACIÓN DEL VALOR PARA CADA LA CONDICIÓN H-S TOTAL POR CULTIVO</b>	<b>355</b>
<b>TABLA IX-6: ESTIMACIÓN DEL VALOR PARA CADA LA CONDICIÓN H-N TOTAL POR CULTIVO</b>	<b>356</b>
<b>TABLA IX-7: ESTIMACIÓN DEL VALOR PARA CADA LA CONDICIÓN N-S TOTAL POR CULTIVO</b>	<b>356</b>

TABLA IX-8: ESTIMACIÓN DEL DIFERENCIAL DE VALOR BRUTO ESTIMADO A VALORES ESTADÍSTICOS DE PRODUCCIÓN POR CULTIVO ENTRE PERIODOS CLIMÁTICOS.

356

## INDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO I-1. USO CONSUNTIVO EN ARGENTINA. FUENTE: BIRF FAO-AQUASTAT	25
GRÁFICO II-1. PROVINCIA DE BUENOS AIRES. PARTIDOS CON CULTIVOS AGRÍCOLAS DE INTERÉS EN EL ÚLTIMO QUINQUENIO	73
GRÁFICO II-2. IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS ZAH POR SUPERFICIES TOTALES SEMBRADAS	85
GRÁFICO II-3. IMPORTANCIA RELATIVA DEL VBP POR ZAH	86
GRÁFICO II-4. GIRASOL. IMPORTANCIA RELATIVA DEL VBP, SUPERFICIE SEMBRADA Y PRODUCCIÓN POR ZAH	87
GRÁFICO II-5. MAÍZ. IMPORTANCIA RELATIVA DEL VBP, SUPERFICIE SEMBRADA Y PRODUCCIÓN POR ZAH	88
GRÁFICO II-6. SOJA. IMPORTANCIA RELATIVA DEL VBP, SUPERFICIE SEMBRADA Y PRODUCCIÓN POR ZAH	89
GRÁFICO II-7. TRIGO. IMPORTANCIA RELATIVA DEL VBP, SUPERFICIE SEMBRADA Y PRODUCCIÓN POR ZAH	90
GRÁFICO II-8. GIRASOL, SOJA Y TRIGO. RENDIMIENTO PROMEDIO PROVINCIAL PARA EL PERÍODO 1970 - 2011	93
GRÁFICO II-9. MAÍZ. RENDIMIENTO PROMEDIO PROVINCIAL PARA EL PERÍODO 1970 - 2011	93
GRÁFICO III-1. CÁLCULO DE FACTOR DE CONVERSIÓN DE ALTURA	124
GRÁFICO III-2. RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EL RENDIMIENTO RELATIVO PARA LAS DIFERENTES ETAPAS VEGETATIVAS EN MAÍZ	134
GRÁFICO IV-1. IMPORTANCIA RELATIVA POR MONTO Y CANTIDAD DE CADA COMPLEJO EN LAS EXPORTACIONES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES EN EL PERÍODO 2006-2011	175
GRÁFICO IV-2. IMPORTANCIA RELATIVA POR MONTO Y CANTIDAD DE LOS PRODUCTOS DEL COMPLEJO GIRASOL EN LAS EXPORTACIONES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES PARA EL PERÍODO 2006-2011	180
GRÁFICO IV-3. IMPORTANCIA RELATIVA POR MONTO Y CANTIDAD DE LOS PRODUCTOS DEL COMPLEJO MAÍZ EN LAS EXPORTACIONES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES PARA EL PERÍODO 2006-2011	183
GRÁFICO IV-4. IMPORTANCIA RELATIVA POR MONTO Y CANTIDAD DE LOS PRODUCTOS DEL COMPLEJO SOJA EN LAS EXPORTACIONES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES PARA EL PERÍODO 2006-2011	188
GRÁFICO IV-5. IMPORTANCIA RELATIVA POR MONTO Y CANTIDAD DE LOS PRODUCTOS DEL COMPLEJO TRIGO EN LAS EXPORTACIONES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES PARA EL PERÍODO 2006-2011	190

GRÁFICO IV-6. IMPORTANCIA RELATIVA POR MONTO Y CANTIDAD ENTRE LOS DIEZ PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LAS EXPORTACIONES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES PARA EL PERÍODO 2006-2011	192
GRÁFICO V-1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DE LOS CULTIVOS. PROMEDIO PROVINCIAL	204
GRÁFICO V-2: USO REAL DEL AGUA PARA MAÍZ POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	207
GRÁFICO V-3: USO REAL DEL AGUA PARA SOJA POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	207
GRÁFICO V-4: USO REAL DEL AGUA PARA TRIGO POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	208
GRÁFICO V-5: USO REAL DEL AGUA PARA GIRASOL POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	208
GRÁFICO V-6. PRECIPITACIÓN EFECTIVA PROMEDIO PROVINCIAL PARA LOS PERÍODOS DE OCUPACIÓN DE LOS CULTIVOS	220
GRÁFICO V-7. DÉFICIT DE HUMEDAD PROMEDIO PROVINCIAL PARA LOS CULTIVOS	230
GRÁFICO V-8. RENDIMIENTOS ESPERADOS PROMEDIO PROVINCIAL PARA LOS CULTIVOS	241
GRÁFICO V-9: RENDIMIENTOS DE MAÍZ POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	249
GRÁFICO V-10: RENDIMIENTOS DE SOJA POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	249
GRÁFICO V-11: RENDIMIENTOS DE TRIGO POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	249
GRÁFICO V-12: RENDIMIENTOS DE GIRASOL POR REGIÓN PARA CADA CONDICIÓN HÍDRICA	250
GRÁFICO V-13. DIFERENCIA ENTRE VARIABLES RELACIONADAS CON LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN MAÍZ	260
GRÁFICO V-14. COMPARACIÓN DE PENDIENTES ENTRE AUMENTOS DE HUMEDAD Y RENDIMIENTO PARA CULTIVOS DE MAÍZ	263
GRÁFICO V-15. DIFERENCIA ENTRE VARIABLES RELACIONADAS CON LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN SOJA.	271
GRÁFICO V-16. COMPARACIÓN DE PENDIENTES ENTRE AUMENTOS DE HUMEDAD Y RENDIMIENTO PARA CULTIVOS DE SOJA DE PRIMERA OCUPACIÓN	274
GRÁFICO V-17. DIFERENCIA ENTRE VARIABLES RELACIONADAS CON LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN TRIGO	281
GRÁFICO V-18. COMPARACIÓN DE PENDIENTES ENTRE AUMENTOS DE HUMEDAD Y RENDIMIENTO PARA CULTIVOS DE TRIGO	283
GRÁFICO V-19. DIFERENCIA ENTRE VARIABLES RELACIONADAS CON LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN GIRASOL	291

GRÁFICO V-20 COMPARACIÓN DE PENDIENTES ENTRE AUMENTOS DE HUMEDAD Y RENDIMIENTO PARA CULTIVOS DE GIRASOL	294
GRÁFICO VI-1. AQUACROP. MAÍZ. RENDIMIENTO (KG/HA)	312
GRÁFICO VI-2. AQUACROP. MAÍZ RENDIMIENTO BASE AACREA 100	313
GRÁFICO VI-3. AQUACROP. MAÍZ DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>NEAR</i>	314
GRÁFICO VI-4. AQUACROP. MAÍZ DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>MODERATE</i>	314
GRÁFICO VI-5. AQUACROP. MAÍZ DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS MEDIO ( <i>ME</i> )	315
GRÁFICO VI-6. AQUACROP. MAÍZ <i>NEAR</i> RENDIMIENTO, BIOMASA Y HUELLA HÍDRICA CON DISMINUCIÓN DE PRECIPITACIÓN (KG/HA)	316
GRÁFICO VI-7. AQUACROP. MAÍZ MEDIO RENDIMIENTO, BIOMASA Y HUELLA HÍDRICA CON DISMINUCIÓN DE PRECIPITACIÓN (KG/HA)	316
GRÁFICO VI-8. AQUACROP. MAÍZ PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EVAPOTRANSPIRADA (KG/M <sup>3</sup> )	317
GRÁFICO VI-9. AQUACROP. MAÍZ ÍNDICE DE COSECHA (%)	318
GRÁFICO VI-10. AQUACROP. SOJA RENDIMIENTO (KG/HA)	319
GRÁFICO VI-11. AQUACROP. SOJA RENDIMIENTO (BASE: AACREA=100)	320
GRÁFICO VI-12. AQUACROP. SOJA DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>NEAR</i>	320
GRÁFICO VI-13. AQUACROP. SOJA DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>MODERATE</i>	321
GRÁFICO VI-14. AQUACROP. SOJA DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS MEDIO ( <i>ME</i> )	321
GRÁFICO VI-15. AQUACROP. GIRASOL RENDIMIENTO (KG/HA)	322
GRÁFICO VI-16. AQUACROP. GIRASOL. RENDIMIENTO (BASE: AACREA=100)	323
GRÁFICO VI-17. AQUACROP. GIRASOL. DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>NEAR</i>	323
GRÁFICO VI-18. AQUACROP. GIRASOL. DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>MODERATE</i>	324
GRÁFICO VI-19. AQUACROP. GIRASOL. DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS MEDIO ( <i>ME</i> )	324
GRÁFICO VI-20. AQUACROP. TRIGO RENDIMIENTO (KG/HA)	325
GRÁFICO VI-21. AQUACROP. TRIGO. RENDIMIENTO (BASE: AACREA=100)	326

GRÁFICO VI-22. AQUACROP. TRIGO. DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>NEAR</i>	326
GRÁFICO VI-23. AQUACROP. TRIGO. DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>MODERATE</i>	327
GRÁFICO VI-24. AQUACROP. TRIGO. DISPERSIÓN DEL RENDIMIENTO CON NIVEL DE ESTRÉS <i>MEDIA</i>	327
GRÁFICO VIII-1. EVOLUCIÓN DE LA RELACIÓN APLICACIÓN/EXTRACCIÓN EN GRANO DE N, P, K Y S PARA LOS CUATRO CULTIVOS PRINCIPALES (SOJA, MAÍZ, TRIGO Y GIRASOL), EN ARGENTINA ENTRE 1993 Y 2009	344
GRÁFICO VIII-2. RELACIONES ENTRE APLICACIÓN/EXTRACCIÓN DE N, P, K Y S EN CULTIVOS EXTENSIVOS ENTRE LOS AÑOS 1993-2010	345
GRÁFICO VIII-3. RELACIONES ENTRE APLICACIÓN/EXTRACCIÓN DE N, P, K Y S EN CULTIVOS EXTENSIVOS ENTRE LOS AÑOS 1993-2011	346
GRÁFICO VIII-4. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE FERTILIZANTES POR HA CULTIVADA ENTRE 1990 Y 2011	346
GRÁFICO IX-1: DÓLARES PRECIO FOB POR MM DE USO REAL DEL AGUA	353
GRÁFICO IX-2: DÓLARES DE MB POR MM DE USO REAL DEL AGUA	355
GRÁFICO IX-2: COMPARACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO	357

## INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN III-1. MODULO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO EN EL CROPWAT	111
ILUSTRACIÓN III-2. PASOS METODOLÓGICOS SEGUIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE POLÍGONOS HOMOGÉNEOS	112
ILUSTRACIÓN III-3. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL ESTOMA	116
ILUSTRACIÓN III-4. TRANSPIRACIÓN Y EVAPORACIÓN POR ETAPA DEL CULTIVO	117
ILUSTRACIÓN III-5. FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	118
ILUSTRACIÓN III-6. CURVA DE KC ESQUEMATIZADA EN CUADRO DE DIÁLOGO CROPWAT	153
ILUSTRACIÓN III-7. PANTALLA INICIAL DEL ET <sub>0</sub>	161
ILUSTRACIÓN III-8. MENÚ PRINCIPAL ET <sub>0</sub>	161
ILUSTRACIÓN III-9. GRAFICO DE ET <sub>0</sub>	162
ILUSTRACIÓN III-10. PANTALLA INICIAL DEL AQUACROP	162
ILUSTRACIÓN III-11. MENÚ PRINCIPAL DEL AQUACROP	164
ILUSTRACIÓN III-12. AQUACROP. PANTALLA DE PRECIPITACIONES	165
ILUSTRACIÓN III-13. AQUACROP. VARIACIÓN DEL K <sub>E</sub> Y KC <sub>TR</sub>	166
ILUSTRACIÓN III-14. AQUACROP. PROFUNDIDAD EFECTIVA DE LAS RAÍCES	167
ILUSTRACIÓN III-15. AQUACROP. SUPERFICIE CUBIERTA POR MULCH	168
ILUSTRACIÓN III-16. AQUACROP. TIPOS DE SUELOS Y CONTENIDOS HÍDRICOS REFERENCIALES	169
ILUSTRACIÓN III-17. AQUACROP. PANTALLA PRINCIPAL DE RESULTADOS	170
ILUSTRACIÓN III-18. AQUACROP. DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES	171
ILUSTRACIÓN III-19. AQUACROP. PRODUCCIÓN DE BIOMASA, HI Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	172
ILUSTRACIÓN III-20. AQUACROP. RIEGO: LÁMINAS APLICADAS Y CANTIDAD DE EVENTOS	172
ILUSTRACIÓN III-21. AQUACROP. PRODUCCIÓN DE BIOMASA, INDICE DE COSECHA (HI) Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA APLICANDO LÁMINAS DE RIEGO	173
ILUSTRACIÓN V-1. PASOS METODOLÓGICOS SEGUIDOS PARA LA DETERMINACIÓN DE POLÍGONOS HOMOGÉNEOS	199
ILUSTRACIÓN VI-1. PANTALLA PRINCIPAL ETO CALCULATOR	309
ILUSTRACIÓN VI-2. PANTALLA PARA LA CREACIÓN DE UNA ESTACIÓN Y CARGA DE DATOS GEOGRÁFICOS	310
ILUSTRACIÓN VI-3. ARCHIVO DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS	310
ILUSTRACIÓN VI-4. ETO CALCULADA PARA MAÍZ EN 25 DE MAYO	311

ILUSTRACIÓN IX-1: VALOR FINANCIERO, ECONÓMICO, Y AMBIENTAL SEGÚN MOLLE Y BERKOFF	351
ILUSTRACIÓN IX-2: DIAGRAMA SOBRE EL VALOR ECONÓMICO DEL AGUA	351

## INDICE DE MAPAS

MAPA 1. REGIONES NATURALES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA	53
MAPA 2. ECO-REGIONES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA	54
MAPA 3. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	56
MAPA 4. REGIONES HIDROGEOLÓGICAS, PROVINCIA DE BUENOS AIRES	58
MAPA 5. PRINCIPALES SUELOS CLASIFICADOS A NIVEL DE GRAN GRUPO	59
MAPA 6. ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS	60
MAPA 7. APTITUD DE USO DE LOS SUELOS	61
MAPA 8. AMBIENTES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	62
MAPA 9. REGIONES AGROECONÓMICAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	63
MAPA 10. ZONAS HOMOGÉNEAS DE CAPACIDAD DE PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA OBTENIDA A PARTIR DE CARTAS DE SUELO 1:50 000, E IMÁGENES SATELITALES	67
MAPA 11. PROVINCIA DE BUENOS AIRES. ZONAS AGROECONÓMICAS HOMOGÉNEAS (ZAH)	68
MAPA 12. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE SEQUÍA EN TRIGO SIEMBRA TEMPRANA (IZQ.) Y TRIGO SIEMBRA TARDÍA (DER.)	71
MAPA 13. ZONAS TRIGUERAS EN LA REGIÓN PAMPEANA	72
MAPA 14. RENDIMIENTOS POTENCIALES MEDIOS PARA DOS CULTIVARES. PRO-INTA OASIS (IZQ.) Y BAGUETTE (DER.). PERÍODO 1970-2003	72
MAPA 15. REGIONALIZACIÓN PROVINCIA DE BUENOS AIRES	76
MAPA 16. PRODUCCIÓN Y VALOR BRUTO PARA LA ZAH 1	77
MAPA 17. GIRASOL Y TRIGO. UBICACIÓN E IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS TRES PRINCIPALES ZAH SEGÚN VBP, SUPERFICIE SEMBRADA Y PRODUCCIÓN	91
MAPA 18. MAÍZ Y SOJA. UBICACIÓN E IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS TRES PRINCIPALES ZAH SEGÚN VBP, SUPERFICIE SEMBRADA Y PRODUCCIÓN	92
MAPA 19. SERIES DE SUELOS AGRÍCOLAS SEGÚN CAPACIDAD DE USO	113
MAPA 20. SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN). UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	135
MAPA 21. MINISTERIO AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE LA NACIÓN UBICACIÓN DE PLUVIÓMETROS	140
MAPA 22. SÍNTESIS DE LAS CAPACIDADES DE USO DE SUELOS	142
MAPA 23. RENDIMIENTOS MÁXIMOS DE GIRASOL	157
MAPA 24. RENDIMIENTO MÁXIMO DE MAÍZ	158
MAPA 25. RENDIMIENTO MÁXIMO DE SOJA	158
MAPA 26. RENDIMIENTO MÁXIMO DE TRIGO	159

MAPA 27. GIRASOL. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	205
MAPA 28. MAÍZ. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	205
MAPA 29. SOJA. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	206
MAPA 30. TRIGO. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	206
MAPA 31. GIRASOL. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO NORMAL	221
MAPA 32. GIRASOL. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO HÚMEDO	221
MAPA 33. GIRASOL. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO SECO	222
MAPA 34. MAÍZ. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO NORMAL	222
MAPA 35. MAÍZ. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO HÚMEDO	223
MAPA 36. MAÍZ. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO SECO	223
MAPA 37. SOJA. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO NORMAL	224
MAPA 38. SOJA. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO HÚMEDO	224
MAPA 39. SOJA. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO SECO	225
MAPA 40. TRIGO. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO NORMAL	225
MAPA 41. TRIGO. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO HÚMEDO	226
MAPA 42. TRIGO. PRECIPITACIÓN EFECTIVA. PERÍODO SECO	226
MAPA 43. GIRASOL. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO NORMAL	231
MAPA 44. GIRASOL. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO HÚMEDO	231
MAPA 45. GIRASOL. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO SECO	232
MAPA 46. MAÍZ. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO NORMAL	232
MAPA 47. MAÍZ. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO HÚMEDO	233
MAPA 48. MAÍZ. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO SECO	233
MAPA 49. SOJA. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO NORMAL	234
MAPA 50. SOJA. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO HÚMEDO	234
MAPA 51. SOJA. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO SECO	235
MAPA 52. TRIGO. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO NORMAL	235
MAPA 53. TRIGO. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO HÚMEDO	236
MAPA 54. TRIGO. DÉFICIT HÍDRICO. PERÍODO SECO	236
MAPA 55. GIRASOL. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO NORMAL	242
MAPA 56. GIRASOL. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO HÚMEDO	242
MAPA 57. GIRASOL. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO SECO	243
MAPA 58. MAÍZ. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO NORMAL	243
MAPA 59. MAÍZ. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO HÚMEDO	244

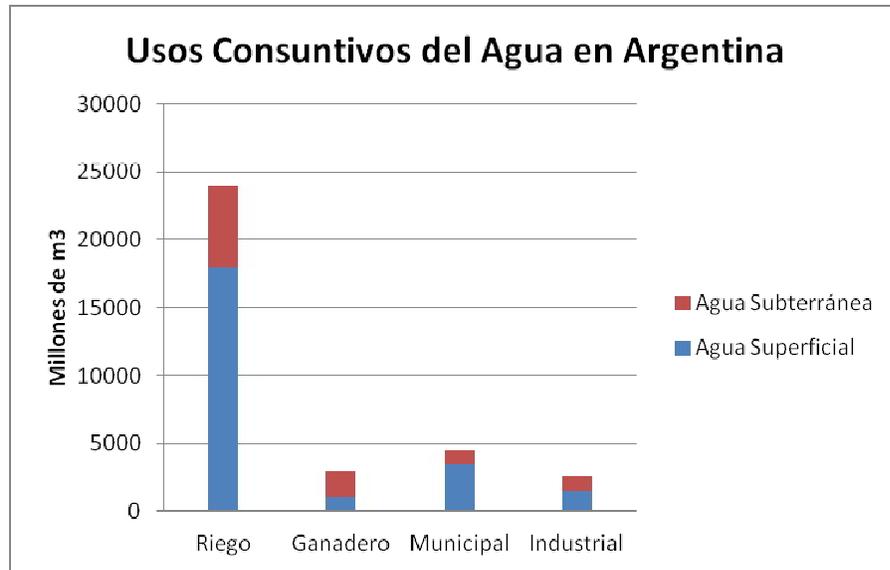
MAPA 60. MAÍZ. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO SECO	244
MAPA 61. SOJA. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO NORMAL	245
MAPA 62. SOJA. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO HÚMEDO	245
MAPA 63. SOJA. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO SECO	246
MAPA 64. TRIGO. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO NORMAL	246
MAPA 65. TRIGO. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO HÚMEDO	247
MAPA 66. TRIGO. RENDIMIENTO ESPERADO. PERÍODO SECO	247
MAPA 67. MAÍZ. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO NORMAL	266
MAPA 68. MAÍZ. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO HÚMEDO	267
MAPA 69. MAÍZ. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO SECO	267
MAPA 70. SOJA. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO NORMAL	277
MAPA 71. SOJA. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO HÚMEDO	277
MAPA 72. SOJA. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO SECO	278
MAPA 73. TRIGO. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO NORMAL	286
MAPA 74. TRIGO. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO HÚMEDO	287
MAPA 75. TRIGO. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO SECO	287
MAPA 76. GIRASOL. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO NORMAL	297
MAPA 77. GIRASOL. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO HÚMEDO	297
MAPA 78. GIRASOL. HUELLA HÍDRICA VERDE. PERÍODO SECO	298
MAPA 79. EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO POR GRANOS, KG/HA/AÑO DURANTE LA CAMPAÑA 2006-2007	342
MAPA 80. DETALLE SOBRE EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO POR GRANOS, KG/HA/AÑO	342
MAPA 81. BALANCE ANUAL DE NITRÓGENO: REPOSICIÓN – EXTRACCIÓN (KG/HA N)	343

## I. INTRODUCCION

### 1º. - Generalidades

El agua constituye el elemento más universal y distribuido en el planeta; se encuentra en todas partes y tiene un papel fundamental en el medio ambiente y para la vida humana. Los recursos disponibles se distribuyen entre los diferentes usos consuntivos (riego, abastecimiento urbano e industrias) y no consuntivos, que son aquellos que devuelven al medio natural el agua extraída. La actividad agropecuaria en su conjunto constituye el mayor consumidor de agua. Según señalara el representante de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, ó *Food and Agriculture Organization*, por sus siglas en inglés) en Costa Rica, José Emilio Suadi, en ocasión del Día Mundial del Agua del año 2012 *“...La agricultura utiliza hoy el 70% de toda el agua que se extrae de acuíferos, ríos y lagos, comparado con un 20 % por parte de la industria, y un 10 % es utilizado para usos domésticos. El aumento de la productividad agrícola es la clave para reducir la pobreza en muchos países en desarrollo. Pero para producir, se necesita agua. Por lo tanto, el desafío nos exige revisar las pautas de consumo del agua, tanto para la producción de alimentos como para el consumo individual, tenemos que ser más cuidadosos”*, explicó. Asimismo, señala que *“...el éxito en la lucha contra el hambre depende de un mejor uso del agua, sostiene la agencia que pide, en el Día Mundial del Agua, que se gestionen mejor unos recursos hídricos limitados para alimentar el planeta...”*.

El agua dulce está sujeta a dos presiones principales, sus usos consuntivos y la contaminación, que condicionan su disponibilidad futura, en tanto que la totalidad de las actividades humanas consumen y contaminan agua. Los usos consuntivos tienen un rol fundamental en la alteración del ciclo hidrológico natural, al retirar agua de ríos y reservorios superficiales y subterráneos. A continuación se presentan los usos consuntivos en la Republica Argentina.



**Gráfico I-1. Uso Consuntivo en Argentina. Fuente: BIRF FAO-AQUASTAT**

El consumo total de agua y su contaminación son generalmente considerados como la sumatoria de un sinnúmero de actividades contaminantes del agua. Sin embargo, y pese a la estrecha relación que presenta, se ha prestado poca atención al hecho de que, en última instancia, el consumo total de agua y su contaminación son una función directa de los consumos de las comunidades, y en mayor escala de la estructura de la economía y el comercio internacional que proporcionan esos bienes y servicios diversos. Hoekstra y Chapagain (2008) han demostrado que la identificación del tipo de uso del agua utilizada en el procesamiento de los productos puede ayudar tanto a una mejor comprensión del carácter global del agua dulce como a la cuantificación de los efectos que el consumo y el comercio de bienes y servicios tienen en el uso de los recursos de agua. De este modo, se plantea que un mejor conocimiento puede ser la base para una mejora en la gestión de los recursos de agua dulce de nuestro planeta.

Surge entonces el concepto de Huella Hídrica (Hoekstra, 2003) como un indicador de la utilización del agua dulce no sólo en el uso directo del agua por parte de un consumidor o productor, sino también en el uso indirecto del recurso para la elaboración de un producto. A partir de lo anterior, se define a la Huella Hídrica como el volumen de agua utilizado de manera directa o indirecta (consumo y

contaminación) para producir un determinado producto, cuantificando esa cantidad a lo largo de la cadena de suministro.

Al interior del concepto, se definen tres tipos de huella hídrica (verde, azul y gris), en función del origen del agua, y considerando la contaminación que se genera al producir dicho producto, pudiendo cada uno de sus componentes ser especificado geográficamente y temporalmente.

Cuando se trata de productos agropecuarios, la Huella Hídrica Azul se refiere a la evapotranspiración (en adelante, EVT) del agua de riego de los cultivos (agua subterránea y superficial, en lagos, ríos y acuíferos). Por su parte, la Huella Hídrica Verde refiere al agua proveniente de la lluvia que queda retenida en el suelo (precipitación efectiva), que no escurre ni recarga acuíferos, y que es evapotranspirada durante el crecimiento de una especie vegetal (uso consuntivo). Por último, la Huella Hídrica Gris queda definida por el volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes a niveles de concentración natural del agua, o bien alcanzar los niveles consignados en las normas de calidad del agua. (Hoekstra *et al*, 2011).

Por ello, la evaluación y cuantificación de la Huella Hídrica de un producto o servicio es una herramienta de análisis que contribuye a comprender el modo en que las actividades y productos se relacionan con la escasez de agua y su contaminación, los impactos asociados, y las posibles medidas conducentes al aseguramiento de que dichas actividades y productos contribuyan a un uso sostenible del agua dulce.

Una evaluación de la Huella Hídrica total está compuesta de cuatro fases distintas, que se mencionan a continuación:

- a. Establecer objetivos y su alcance.
- b. Contabilizar la huella hídrica.
- c. Evaluar la sostenibilidad.
- d. Formular la respuesta.

En esta primera etapa, el presente estudio se concentrará en las etapas a. y b.; focalizando el análisis en los productos agrícolas exportables de mayor relevancia para la Provincia de Buenos Aires.

Los fines perseguidos a partir de esta iniciativa son:

- Comparar los resultados de los productos relevantes exportados por la provincia de Buenos Aires con los observados en otros países, bajo una misma metodología de referencia.
- Aportar a la discusión sobre la metodología de cálculo de la Huella Hídrica más adecuada, con el objeto de contribuir al cálculo preciso de la misma, como así también al uso sostenible del recurso agua.
- Proveer argumentos desde el conocimiento científico, con el objeto de informar de modo claro y confiable a los consumidores.
- Formar recursos humanos para que brinden soporte a las distintas áreas de gobierno en las negociaciones internacionales sobre la temática.

## **2º. - Relevamiento de experiencias de otros grupos de trabajo**

En el marco del presente proyecto, y durante el mes de abril de 2012, se realizó una visita a investigadores de la Universidad Nacional de Cuyo, a la sede del Instituto Nacional del Agua (INA) en la ciudad de Mendoza, y al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), en Santiago de Chile. Se realizó un intercambio con el Ing. José Morabito del INA Mendoza, con el Dr. Ing. Pablo Arena de la Universidad Tecnológica Nacional, sede regional Mendoza, y con el Ing. Raúl Ferreyra del INIA La Cruz en Chile.

Actualmente, las instituciones anteriormente mencionadas se encuentran desarrollando estudios relacionados con la temática del presente proyecto de investigación, con orientaciones específicas en función de las necesidades puntuales vinculadas con los sistemas geográficos y de comercialización locales.

Las entrevistas realizadas permitieron establecer vínculos con diversos actores, lo cual facilitó el compartir experiencias y capacidades en relación a los objetivos del trabajo.

A modo de ejemplo, cabe señalar la cooperación en materia de utilización de los programas computacionales de cálculo utilizados en el presente estudio, así como también la convocatoria a la presentación de los resultados del mismo en la 5ª Conferencia Internacional sobre Análisis del Ciclo de Vida (CILCA 2013), a

desarrollarse en la ciudad de Mendoza (Argentina) durante el mes de marzo de 2013.

## II. ASPECTOS METODOLOGICOS

### 1º. - Introducción

A los efectos del cálculo de la Huella Hídrica, se utilizará la metodología base propuesta en el “Manual de Evaluación de la Huella Hídrica” desarrollado por la *Water Footprint Network*. La investigación en este ámbito se está desarrollando rápidamente en todo el mundo, y es cada vez más frecuente la aparición de nuevos estudios (casos) piloto sobre la evaluación de la huella hídrica, abarcando todos los sectores de la economía y espacios geográficos de comercio internacional. La Water Footprint Network ha invitado a socios y no socios a proporcionar información sobre la edición de sus manuales, con el fin de aprender de los distintos proyectos en curso (prácticas experimentales y futuras publicaciones científicas) sobre la huella hídrica. El objetivo final de la institución es hacer el mejor uso de las diversas experiencias que tienen los individuos y las organizaciones en la evaluación de las huellas hídricas en diferentes contextos y con una multiplicidad de propósitos, con el objeto de perfeccionar la metodología de cálculo de la Huella Hídrica, de modo que tenga un alto grado de adaptabilidad a los distintos fines perseguidos por los sectores de la sociedad, minimizando las deficiencias en su coherencia y consistencia.

Dado el creciente interés por parte de empresas y gobiernos en utilizar la contabilidad de la Huella Hídrica como base para la formulación de estrategias sostenibles en relación a la utilización del recurso agua y el diseño de políticas públicas para su gestión eficiente, existen propuestas en el sentido de cooperar en la elaboración de una norma común, que coadyuve a la unificación de definiciones y métodos de cálculo. De este modo, será factible la comparación de los resultados de las distintas evaluaciones, como así también el contribuir con aportes concretos a la investigación metodológica, identificando su desempeño para los productos y las características propias de la provincia de Buenos Aires. Por ello es que el presente estudio abordará los lineamientos metodológicos generales propuestos en el manual de la Water Footprint Network.

Como fuera presentado en la introducción, el presente trabajo de investigación se concentrará en la definición de los objetivos del estudio y su alcance, a partir de la

contabilidad de la Huella Hídrica para los productos agrícolas de exportación de la provincia de Buenos Aires.

Así, el objetivo que se plantea en el estudio es el de *“Calcular la Huella Hídrica para los productos agrícolas exportables de mayor relevancia de la provincia de Buenos Aires, en base a un análisis comparativo que incluya ciclos de clima húmedo y seco para cada producto. Adicionalmente, se inferirá la importancia económica de este recurso para la región y los productos evaluados entre ambos ciclos”*.

Respecto a la importancia de estudiar la Huella Hídrica de los productos agropecuarios, se destaca lo señalado en el Manual de evaluación de la Huella Hídrica (Hoekstra y Chapagain; 2008) en el cual se indica que el 86% de la Huella Hídrica de la humanidad proviene de actividades desarrolladas en el sector agrícola.

En cuanto al alcance, podemos dividirlo en tres aspectos básicos:

- Temporal.
- Geográfico.
- Temático.

En primer lugar, en lo que hace al alcance temporal, y al ser tanto las actividades agropecuarias como sus rendimientos fuertemente dependientes de las características agroclimáticas, se decidió focalizar la variable temporal en períodos que puedan representar un “año tipo normal seco” y un “año tipo normal húmedo” para cada cultivo y zona agroecológica particular. Luego, el objetivo de este abordaje es evaluar si existen diferencias en los valores representativos, para estas condiciones, en los cultivos estudiados.

En lo referente al alcance geográfico, el estudio está circunscripto al territorio de la provincia de Buenos Aires, para la cual se representarán las zonas agroeconómicas que permitan definir parámetros homogéneos de entrada en las metodologías con la cuales se calculará y contabilizará la Huella Hídrica.

Por último en cuanto al alcance temático, se definen las siguientes Huellas Hídricas para los productos comprendidos en el objetivo.

a) Huella hídrica azul: es un indicador de uso consuntivo de agua clasificada como “azul”, e integrada por el agua dulce de superficie, el agua subterránea renovable, y el agua subterránea fósil. La huella hídrica azul evidencia el volumen de agua que

ha sido efectivamente retirado del flujo de escorrentía total como fuente de suministro, esto es, para el consumo<sup>1</sup>. En los productos agropecuarios, la Huella Hídrica azul refiere a la evapotranspiración del agua de riego de los cultivos, sin considerar la ocurrida en embalses y canales de riego.

b) Huella hídrica verde: es un indicador de uso consuntivo de agua llamada “verde”, que refiere al agua proveniente de la lluvia que queda retenida en el suelo (agua que no escurre ni recarga acuíferos), y que es consumida a través de la evapotranspiración durante el proceso de producción de una especie vegetal, así como el agua incorporada en las actividades de cosecha o de plantación arbórea.

c) Huella hídrica gris: es una medida de la contaminación del agua, expresada en términos del volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes de modo que se conviertan en inocuos, tomándose como referencia la concentración natural del agua y las concentraciones indicadas, para cada contaminante, en las normas de calidad del agua. Luego, cada contaminante tendrá un determinado volumen de agua requerido para que el nivel de contaminación generado por ese contaminante disminuya en su concentración a un nivel inferior al máximo admitido en las normas de calidad y/o su contenido en el agua natural.

La suma de las tres huellas hídricas descriptas compone la Huella Hídrica Total, que es el indicador a calcular para los principales productos agrícolas de exportación de la provincia de Buenos Aires.

---

<sup>1</sup> No debe confundirse este concepto con el de uso de la escorrentía como producto de desecho, característico de la Huella Hídrica gris.

Asimismo, para dicho cálculo se requiere la evaluación de diferentes datos relacionados a características de los cultivos (tecnología y manejo, rendimiento, períodos críticos, principales zonas productivas, etc.), del suelo y del clima.

Como primera tarea se realizó la búsqueda, evaluación y posterior recopilación de datos históricos disponibles de las distintas variables componentes del clima (temperaturas máxima, mínima, y promedio; precipitación mensual/anual, velocidad y dirección del viento, etc.) por localidad para diferentes partidos (municipios) provinciales. Del mismo modo se procedió con el resto de las variables o datos de entrada para el cálculo de las huellas hídricas.

Es necesario, en este punto, hacer una aclaración respecto al modo en que se expresa el indicador de la Huella Hídrica. Este resultado se expresa en unidades de volumen de agua en relación a unidades de producción (por ejemplo, m<sup>3</sup>/tonelada) referidas a una superficie determinada (en general, para los productos agropecuarios, una hectárea de producción).

La relevancia de los resultados a obtener tiene como base el ser el agua una variable que puede impactar marginalmente en la cantidad producida por lo que -por ejemplo en el caso de los cultivos de secano- existe una interdependencia entre lo producido y la cantidad de agua recibida, manteniendo el resto de las restricciones constantes. Debido a ello es que se decidió presentar los resultados de modo tal que expresen las condiciones “tipo”, tanto para un periodo seco como para un periodo húmedo, a fin de estimar si existen diferencias de variaciones relativas –en promedio- entre ambas situaciones.

Asimismo, el resultado también se expresará en relación a un “rendimiento óptimo” como variable de referencia asumiendo que las restricciones, especialmente la hídrica, no limitan la cantidad producida. Estas consideraciones implicarán, desde el punto de vista metodológico, realizar una serie de modelaciones y justificaciones para la definición de “rendimientos tipo” para cada condición, con el objeto de que puedan ser debidamente argumentados desde el punto de vista empírico.

## 2º. - **Características Agroclimáticas**

### **a.- Caracterización Climática de la Provincia de Buenos Aires.<sup>2</sup>**

La Provincia de Buenos Aires forma parte de la Región Pampeana de nuestro país, constituyendo el área de mejores condiciones para el desarrollo de actividades agropecuarias, en particular las producciones agrícolas. En ella se encuentra situada la mayor parte de la llamada “zona núcleo maicera”, así como también las principales regiones trigueras del país. No obstante ello, las características productivas no son las mismas en todo el territorio provincial, existiendo notorias diferencias climáticas, edáficas y fisiográficas, las cuales han determinado una amplia variedad de usos y sistemas productivos. Esta diversidad de ambientes determina a su vez una serie de subregiones geográficas que se describen a continuación:

#### 1) Subregión Noroeste

La subregión noroeste de la Provincia de Buenos Aires, conocida como “pampa arenosa” está limitada al N-NE por el Río Salado, al SE por el Arroyo Vallimanca y al S por el sistema hidrológico de lagunas “Las Encadenadas”. La superficie de esta subregión es de 5.500.000 Ha.

El clima predominante es del tipo templado sub-húmedo, con época seca en invierno. Al Este de la línea de exceso hídrico anual de valor nulo (0 mm), ubicada en la parte central occidental de la región, predomina una condición climática semihúmeda, y semiárida al Oeste.

---

<sup>2</sup> Para esta caracterización, se tomó como base el documento “Estrategia Provincial para el Sector Agroalimentario” producido por el Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires en el marco del Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP) (2010).

La evolución de la producción en la subregión se caracteriza, en los últimos veinte años, por manifestar una tendencia constante en el incremento de las superficies destinadas a la agricultura, en desmedro del área ganadera. Estas áreas, antes limitadas por estar sometidas a condiciones subhúmedas y semiáridas, han sufrido un profundo cambio en su régimen hídrico que, si bien ha beneficiado sus posibilidades productivas, también ha producido una degradación del recurso suelo, en general por la falta de prácticas conservacionistas.

Cabe acotar que, como condición general, desde el año 1972 se advierte en todo el país un ciclo climático húmedo caracterizado por un marcado aumento de las precipitaciones, que han superado los registros históricos. Ello, sumado a otras condiciones, ha determinado el surgimiento de innumerables áreas inundadas con grado y frecuencia diversos, y la consecuente realización de numerosas obras de canalización que tienen por objeto evitar inundaciones en algunas cabeceras de partido de la zona.

### 2) Subregión Pampa Ondulada

Se denomina así a la superficie de la llanura pampeana comprendida entre el curso de los ríos Paraná, de la Plata, y Salado, limitando al norte con la Provincia de Santa Fe y al sudoeste con la Pampa Arenosa. Comprende una superficie del orden de los 3.200.000 Ha.

El clima de esta subregión se caracteriza por estar dentro de un régimen subhúmedo-húmedo. Las precipitaciones medias anuales están en el orden de los 900 mm, con mayor incidencia en los meses de verano y menor en el invierno. Las temperaturas extremas pueden llegar a -9°C en julio y 41,5°C en enero. Con respecto a las heladas, comienzan a fines de mayo y se prolongan hasta principios del mes de septiembre.

### 3) Subregión de Tandilia y Ventania

Esta subregión limita con las subregiones Interserrana y de la Pampa Deprimida. El sistema de Tandilia se desarrolla con orientación NO-SE y constituye una cadena de sierras con alturas que no superan los 500 metros s.n.m. El sistema de Ventania, por su parte, se ubica más al oeste. Estos dos sistemas montañosos ocupan una superficie del orden de las 4.280.000 Ha.

En la zona de Tandilia el régimen climático es subhúmedo-húmedo, con precipitaciones medias anuales de 800 mm, siendo la estación más húmeda el verano, y la más seca el invierno. Las temperaturas extremas son  $-7,1^{\circ}\text{C}$  en julio y  $28,6^{\circ}\text{C}$  en enero. Las heladas se extienden desde mediados de mayo hasta principios de octubre.

En la zona de Ventania por su parte, el clima es algo más seco, correspondiendo a un régimen subhúmedo-seco, con precipitaciones anuales medias que oscilan entre 700 y 750 mm. La época más seca es la invernal. Las temperaturas extremas son bajas, siendo la mínima absoluta de  $-9,9^{\circ}\text{C}$  y la máxima absoluta de  $41,2^{\circ}\text{C}$ . Las heladas comienzan a fines de abril y terminan a mediados de octubre.

#### 4) Subregión Pampa Deprimida

Es una llanura sumamente plana que abarca prácticamente toda la cuenca del Río Salado y la del Arroyo Vallimanca, comprendiendo asimismo un sector ubicado en parte de los partidos de Coronel Pringles, Laprida y Olavarría que, si bien topográficamente es más elevado, constituye parte de esta subregión por sus condiciones hidrográficas. Este conjunto abarca una superficie aproximada de 9.000.000 Ha. En esta región confluyen una serie de condicionamientos que definen una problemática de singular importancia, tanto desde el punto de vista estrictamente productivo, como del gran número de asentamientos urbanos y sus consecuentes vías de comunicación.

Sus condiciones climáticas sobresalientes son un régimen pluviométrico anual que oscila desde los 1000 mm. en el sector nordeste, hasta los 800 mm. en el flanco sudeste y la parte occidental. En general, estas lluvias cubrirían satisfactoriamente las necesidades de la vegetación. Sin embargo, en la época invernal las precipitaciones exceden las necesidades de los campos, debido a la baja evapotranspiración. Esto determina la existencia de excedentes de entre 200 y 250 mm, según el año. Durante el verano, por el contrario, las lluvias no llegan a ser suficientes, aun considerando el agua que queda almacenada en el suelo, produciendo las habituales sequías estivales. Las altas temperaturas determinan a su vez un significativo aumento en los niveles de evapotranspiración.

#### 5) Subregión Interserrana

Se encuentra ubicada en el área centro-sur de la provincia, entre los sistemas serranos de Tandilia y Ventania, limitando al norte con la Pampa Deprimida y al sur con el Océano Atlántico, abarcando una superficie aproximada de 2.565.000 Ha.

Sus características climáticas son un régimen hídrico subhúmedo-seco, con precipitaciones anuales superiores a los 700 mm, distribuidas de manera homogénea, y decreciendo de E a O.

La temperatura media anual es de 14°C. El déficit hídrico potencial para esta zona es severo en los meses de diciembre a febrero, superando los 80 mm mensuales.

#### 6) Delta del Paraná

Comprende un área ubicada en la zona noreste del territorio provincial, constituida por sedimentos fluviales aportados por el río Paraná, conformando un paisaje insular de gran extensión, con brazos de río y cauces abandonados, colmados por materiales finos. Este paisaje se modifica constantemente por la incesante deposición de sedimentos fluviales. Ocupa una superficie aproximada de 270.000 Ha.

La zona recibe periódicas y sistemáticas inundaciones producto de las crecidas del río, que pueden tener un origen estacional -como consecuencia de precipitaciones en los diferentes puntos de su amplísima cuenca- o bien ser producidas por la acción de los frecuentes vientos del sudeste. Estas crecidas suelen durar un tiempo considerable, salvo cuando obedecen al efecto del viento, caso en que son de escasa duración.

#### 7) Sector Patagónico

Ubicado en el extremo sur de la provincia, sus límites son imprecisos, aunque a partir de la vertiente sudoeste del sistema de Ventania se manifiestan los rasgos de transición hacia la zona patagónica. Estas condiciones determinan que se defina a este sector como integrado por los Partidos de Villarino y Patagones, y parte de los partidos Puán y Bahía Blanca, comprendiendo una superficie total aproximada de alrededor de 2.500.000 Ha.

El régimen climático es subhúmedo-seco en la parte norte, transformándose en semiárido a medida que se avanza hacia el sur. Las precipitaciones medias anuales oscilan entre 600 y 400 mm respectivamente, ocurriendo las mayores en los meses

de verano. Se registran heladas desde mediados de mayo hasta fines de septiembre.

#### **b.- Caracterización de los suelos de la Provincia de Buenos Aires**

La mayor parte de la superficie de la provincia de Buenos Aires pertenece a la Pampa Húmeda Argentina, en tanto que los partidos ubicados en el extremo sur de la provincia (Villarino y Patagones), se ubican en las regiones Pampa Seca y Patagonia Extra andina Oriental. Asimismo, la mayor parte de la superficie provincial pertenece a la Eco-región Pampa, y la porción sur a la Eco-región de Espinal.

La región pampeana es esencialmente una amplia llanura constituida por sedimentos eólicos modernos no consolidados, que cubren las Planicies Chaco-Pampeanas, caracterizada por un clima templado húmedo y una vegetación natural de pradera, combinación de factores que ha dado origen a una de las áreas más propicias del mundo para la producción de granos y carne (Moscatelli y Pazos, 2008).

Estos autores indican que este sedimento, conocido como *Loess Pampeano* -denominado así debido a su similitud con materiales y depósitos loésicos en otras partes del mundo (Frenguelli, 1955; Teruggi, 1957 en Moscatelli y Pazos, 2008)- es rico en minerales meteorizables con cantidades importantes de calcio, potasio, fósforo y microelementos, así como materiales amorfos de origen volcánico que favorecen la formación de horizontes superficiales bien estructurados, profundos, oscuros y adecuados para el desarrollo de raíces (Scoppa, 1974; en Moscatelli y Pazos, 2008).

En la provincia de Buenos Aires, los suelos producto de la interacción de los cinco factores formadores (material original, clima y organismos vivos, condicionados su vez por la acción del tiempo y el relieve), pertenecen a cinco órdenes de suelos según la clasificación de *Soil Taxonomy* (1975): Molisoles, Alfisoles, Entisoles, Aridisoles y Vertisoles (SAGyP-INTA, 1989).

Respecto a los factores formadores, se indica que los factores bioclimáticos generales (clima general de una región y organismos, especialmente la vegetación), son los factores que permiten definir las grandes zonas de vegetación y suelos, según la latitud en los relieves planos y según la altitud en las áreas montañosas (Fadda; "El suelo y el Ambiente").

Los dos elementos climáticos más importantes que se correlacionan con las propiedades de los suelos son la lluvia y la temperatura, siendo para la génesis de suelo -principalmente para el desarrollo de ciertas propiedades del suelo- tanto o más importantes las condiciones climáticas extremas que las condiciones climáticas medias que ocurren en una región dada.

En las zonas altas, donde la capa freática no asciende al perfil del suelo, este sigue su evolución normal, definida por las características generales del clima y de la vegetación. En estos casos, los suelos son zonales y en equilibrio con el ambiente bioclimático, tal es el caso de los suelos pertenecientes a los subórdenes udoles, y ustoles, descritos en la tabla a continuación dentro del orden Molisol (SAGyP-INTA, 1989). Por el contrario, en zonas bajas, donde la capa freática -al menos estacionalmente- asciende en el perfil del suelo, se crean condiciones de saturación/anaerobiosis que alteran gran parte de las reacciones físicas, químicas y biológicas del suelo, y son suelos denominados azonales, tales como los pertenecientes al suborden acuol (SAGyP-INTA, 1989).

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO																											
MOLISOLES	UDOLES	HAPLUDOLES	tapto-árgicos	ALFISOLES	ACUALFES	NATRACUALFES	típicos																											
			2.756.800				1.825.300	1.760.500																										
			énticos				1.829.200	álbicos	64.800																									
			2.592.200				USTALFES	FRAGIACUALFES	típicos	3.900																								
			tapto-nátricos						1.443.200	típicos	3.900																							
			típicos						1.353.100	NATRUSTALFES	típicos	166.000																						
			petrocálicos						349.200	166.000	NATRUDALFES	típicos	58.100																					
			líticos						139.600	58.100	58.100	58.100																						
			ácucos						118.800	PSAMENTES	USTIPSAMENTES	típicos	310.900																					
			típicos						5.870.900			310.900	típicos	310.900																				
			ácucos						1.224.100			TORRIPSAMENTES	ústicos	156.700																				
			vérticos						267.600			291.800	típicos	135.100																				
			ácucos						44.100			980.900	UDIPSAMENTES	típicos	277.400																			
			típicos						34.100			ENTISOLES	FLUVENTES	CUARZIPSAMENTES	típicos	100.800																		
			ACUOLES						NATRACUOLES						típicos	2.993.400	USTIFLUVENTES	ácucos	381.900															
	2.993.400	426.700		410.800	mólicos	28.900																												
	ARGIACUOLES	típicos		263.100	UDIFLUVENTES	típicos									11.700																			
	263.100	11.700		11.700	TORRIFLUVENTES	típicos									4.200																			
	HAPLACUOLES	hísticos		111.800	4.200	4.200																												
	111.800	ACUENTES		FLUVACUENTES	típicos	89.200																												
	CALCIACUOLES				típicos	31.900	89.200	HAPLACUENTES							aéricos	67.100																		
	31.900				nátricos	2.400	67.100	67.100							HIDRACUENTES	sálicos		3.100																
	DURACUOLES				2.400	ORTENTES	USTORTENTES	típicos							77.100																			
	HAPLUSTOLES				énticos			1.167.100		77.700	77.100				TORRIORTENTES	líticos		600																
								típicos							447.300	600																		
								arídicos							168.600	ARGIDES		HAPLARGIDES	típicos	230.300														
								líticos							135.300				268.900	230.300	arénicos	38.600												
								petrocálicos							36.600				NATRARGIDES	209.000	209.000	típicos	209.000											
								udorténticos				15.700	PALEARGIDES	14.000	14.000					petroc. xerólicos	14.000													
			údicos					6.300	ARIDISOLES			CALCIORTIDES		típicos	230.900																			
			USTOLES					ARGIUSTOLES						típicos	688.200		917.200			425.300	ORTIDES	típicos	92.700											
														688.200	92.600							106.900	acuélicos	14.200										
														CALCIUSTOLES	arídicos								14.300	PALEORTIDES	típicos	51.500								
														115.600	típicos								8.700		51.500	51.500								
		NATRUSTOLES		típicos										41.600	VERTISOLES								UDERTES		PELLUDERTES	típicos	549.100							
														41.600												705.200	705.200	549.100	CROMUDERTES	ácucos	54.200			
														ALBOLES																ARGIALBOLES	argiáculos	426.000	156.100	51.900
						1.147.300	426.000																								RENDILES	típicos		
	NATRALBOLES				típicos	218.900	10.300			10.300	50.000																							

Tabla II-1. Suelos de la provincia de Buenos Aires

Fuente: SAGyP-INTA (1989)

Respecto al clima, en el caso de provincia de Buenos Aires, en SAGyP-INTA (1989) se presentan dos características climáticas que ejercen un particular efecto en las condiciones productivas y en el desarrollo de los suelos respecto a iguales latitudes

en el hemisferio norte. Así, se señala que las condiciones de clima templado son más favorables que las que se presentan en dicho hemisferio en latitudes semejantes, debido al efecto moderador que ejerce el océano. Junto a ello, los veranos resultan más frescos y los inviernos menos rigurosos, no existiendo entonces las grandes amplitudes diarias y anuales en las temperaturas, con excepción del sector occidental de la provincia, donde se presentan algunas condiciones de continentalidad con mayor amplitud térmica. Otra característica climática provincial que la distingue, y que incide en la formación de los suelos, es el hecho de no contar con barreras transversales a la circulación atmosférica, tal como ocurre en el hemisferio norte. Consecuentemente, el territorio provincial bonaerense se halla sometido a la acción de masas de aire tanto del sur como del norte, pudiendo ocasionar bruscos cambios estacionales que, como el caso de las heladas ocurridas fuera de término, son sumamente perjudiciales para la agricultura.

En relación a los factores estacionales o locales condicionados por el relieve (con influencia de una superficie freática cercana) y el material original, Fadda (sin año) destaca que estos factores varían en distancias más cortas que los asociados al clima y que, cuando presentan propiedades extremas, pueden modificar -e incluso invertir- la edafogénesis bioclimática. Por último, cabe agregar que el tiempo transcurrido desde que un material original se deposita pondrá en mayor o menor evidencia la acción de los restantes factores formadores.

Siendo entonces el suelo una función de los factores de formación, si se mantiene a todos estos factores constantes a excepción de uno, el suelo será una función del factor que varíe, estableciéndose una secuencia de suelos en función de ese factor. Así, y a modo de ejemplo, si el único factor que varía es el clima, se presentará una climosecuencia; si el factor que varía fuera la vegetación, se daría una biosecuencia; una litosecuencia si lo que variara fueran los materiales originales; y una toposecuencia y cronosecuencia si los factores variables fueran –respectivamente- el relieve y el tiempo (Fadda, sin año).

A continuación se describen las características principales de estos órdenes, en base a información extraída del Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP-INTA, 1989), Moscatelli (1991), Imbellone *et al.* (2010),

En la tabla resumen de la presente sección se presentan los suelos descritos en la provincia de Buenos Aires, a nivel de Subgrupo según *Soil Taxonomy* (1975), a escala 1:500 000, extraída del Mapa de Suelos (SAGyP-INTA, 1989).

#### 1) Orden MOLISOL

Es el orden que abarca la mayor superficie de la provincia y se halla asociados con una diversidad de paisajes: En él, el material original que domina es el loess, con regímenes de humedad údico, ústico y ácuico, y el de temperatura el térmico. Estos factores han favorecido la presencia de un horizonte mólico, que es el horizonte diagnóstico común a todos los suelos pertenecientes a este orden (SAGyP-INTA, 1989).

Los subórdenes Udoles y Ustoles son suelos zonales, constituyen los suelos que tienen la mejor aptitud para la agricultura, y se presentan en los sectores más elevados, con relieve ondulado o suavemente ondulado y con buen drenaje, en áreas húmedas (precipitaciones mayores a 700 mm anuales) y semiáridas (500-700 mm de precipitación anual) respectivamente. No obstante ser los suelos pertenecientes al suborden Udol los de mejor aptitud productiva, las particularidades edáficas que presentan y las precipitaciones son determinantes de sus rendimientos. Rossi (2010) compara la productividad de los tres Udoles que predominan en la región pampeana húmeda: Argiudoles, Hapludoles y Paleudoles, y encuentra una alta correlación de los rendimientos con las precipitaciones y el espesor del horizonte Bt. Ello tiene gran incidencia en la EVT y, asociado a esto, al consumo de agua (huella hídrica).

Tanto en las amplias planicies húmedas como subhúmedas, pequeñas diferencias en la topografía dan lugar a suelos muy diferentes sobre el mismo material parental, debido al escurrimiento superficial y a la acumulación de agua de lluvia en las posiciones bajas del paisaje (Moscatelli y Pazos, 2008). En estos casos, se presentan los suelos azonales pertenecientes al suborden de los Acuoles, presentes en áreas planas y bajas, que son los que se utilizan principalmente para la producción de carne. Los suelos pertenecientes al suborden Albol son también suelos azonales característicos de zonas bajas, pero en este caso localizados en los denominados “bajos dulces” dedicados a ganadería pudiendo encontrarse, al igual que los Acuoles, en diferentes condiciones climáticas. Respecto a los Rendoles, son suelos ricos en conchilla marina, y típicos de zonas costeras con impresión marina,

dedicados a uso pastoril y extracción de conchilla.

Imbellone, *et al.* (2010) indican que los principales procesos pedogenéticos que se reconocen en este orden son la melanización, ilimerización (argiluviación), calcificación, salinización, y alcalinización, siendo además importante el hidromorfismo en el suborden de los Acuales y Alboles. Con excepción de la melanización, que caracteriza al orden Molisol (materia orgánica humificada) y se presenta en prácticamente la totalidad de los suelos, los procesos restantes presentan cierta regionalización. Así por ejemplo, la ilimerización, si bien es muy frecuente (horizonte Bt) está más difundida hacia la Pampa Ondulada y Pampa Deprimida, mientras que el hidromorfismo y alcalinización se presentan principalmente en la Pampa Deprimida.

Moscatelli y Pazos (2008), señalan el indudable el carácter poligenético de estos suelos, que se aprecia en la presencia de capas de materiales con litología y origen similares que fueron depositadas durante episodios alternos de clima seco y húmedo, destacando que el hecho de haber intentado mostrar tales discontinuidades en el nombre (denominación) del suelo ha introducido alguna confusión en la clasificación local de los Molisoles, un tema que todavía no se ha resuelto con el acuerdo general entre los edafólogos. Así ocurre, por ejemplo, con los suelos denominados "tpto" (Hapludoles tpto árgicos y nátricos) característicos del Noroeste bonaerense, o Pampa Arenosa. Mientras que los primeros son aptos para todos los cultivos comunes, los segundos presentan limitaciones por sodicidad en profundidad, siendo usados con restricciones para algunos cultivos resistentes, y principalmente para ganadería.

Estos autores señalan también como un rasgo característico de los suelos pampeanos la presencia de un horizonte enriquecido en carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) que, al endurecerse en forma irreversible, se denomina horizonte petrocálcico (debido al proceso de petrocalcificación, tosca). Este tipo de suelos se encuentran ocupando amplias áreas bajo clima húmedo, tal como sucede en el sudeste bonaerense con el subgrupo Argiudol petrocálcico. Para este tipo de suelos, la profundidad efectiva limita la retención de agua y, asociado a ello, la EVT y el rendimiento de los cultivos.

Se aprecia entonces la presencia de un número importante de Grandes Grupos y Subgrupos de suelo, que se caracterizan por la presencia o ausencia de algún o algunos procesos pedogenéticos. La ocurrencia de estos procesos dependerá de la forma en que interactúan los cinco factores formadores (material original, clima, biota, relieve y tiempo), y determinará el grado de desarrollo, tipo de proceso, intensidad, y horizontes diagnósticos presentes, definiendo estos a su vez la pertenencia a un determinado Gran grupo, Subgrupo y, dentro de estos, Series de suelo (Cartas de Suelo, 1:50 000 INTA, GeoINTA),

Por ejemplo un suelo Argiudol típico, es el suelo que presenta la mejor aptitud productiva. Estos suelos se caracterizan por ser el resultado de los procesos pedogenéticos de melanización (oscurecimiento en materia orgánica asociado a una humidificación, en el horizonte A), e ilimerización (o argiluvación, acumulación de arcilla en forma iluvial en el horizonte Bt). Estos suelos suelen presentarse en lomas, y suelen ser suelos profundos, bien drenados y altamente productivos (con índices de productividad promedio superiores a 80). Existe un número significativo de suelos que pertenecen a este Gran Grupo (GG), dependiendo de la magnitud de las variables edáficas que los definen. Tales son los casos de los suelos de las Series Pergamino; Rojas; Portella; y Arrecifes, entre tantas otras series del GG Argiudol típico (Cartas de Suelo, 1:50 000 INTA, GeoINTA).

Si, por ejemplo, ocurriesen además procesos de hidromorfismo debidos a la presencia de agua subterránea algo más próxima a la superficie, el suelo podrá ser Argiudol ácuico, y si el problema de hidromorfismo es aún mayor -ubicándose en bajos- el suelo podrá ser Argialbol típico. En tanto, si el exceso de agua es debido a la presencia de sodio, el suelo podrá ser clasificado como Natracuol típico. Este último gran grupo no presenta aptitud agrícola, pudiendo sólo ser destinado a la ganadería extensiva. El índice de productividad de estos suelos puede variar entre 10 y 30, y podrían encontrarse en una misma región asociados al relieve (toposecuencia).

En la tabla siguiente se presentan ejemplos de series de suelo de gran representación areal, descriptas para la provincia de Buenos Aires, en Pampa Serrana y Deprimida, indicándose el Índice de productividad.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	NOMBRE SERIE INTA	IP INTA	ÁREA EDÁFICA
Hapludol lítico	Rancho Grande	36	Serrana
Argiudol típico somero	Balcarce	60	Serrana
Hapludol típico	La Colina	90	Serrana
Argiudol típico somero	Cascada	60	Serrana
Natracuol típico	San Gabriel	11	Serrana
Argiudol típico muy somero	Cascada	56	Serrana
Haplustol lítico	Alta Vista	34	Serrana
Natracualfe típico somero	Elena	10	Serrana
Argialbol argiacuico	La Sofia	48	Serrana
Argiudol ácuico	Abbot	64	Deprimida
Natracuol típico	Gral Guido	20	Deprimida
Hapludol th árgico	Lobos	81	Deprimida
Hapludol ácuico	Fortín Tiburcio	85	
Hapludol éntico	Norumbega	60	
Udipsament típico	La Guanaca	12	
Hapludol th nátrico	Monte	22	Deprimida
Natralbol típico	Tandileofú	14	Deprimida
Argiacuol típico	Chascomús	72	Deprimida
Argialbol típico	M. Colman	60	Deprimida
Natracualfe típico	Chelforó	12	Deprimida
Argiudol típico	Laprida	100	Deprimida
Argiudol típico	Azul	64	Deprimida

**Tabla II-2. Provincia de Buenos Aires. Suelos y aptitud descriptos en la región Serrana y Deprimida (adaptado del Plan Maestro PMI, 1999)**

En la tabla siguiente se presenta la aptitud de uso de algunos suelos representativos de la provincia de Buenos Aires, adaptado de PMI (1999), y se indica su aptitud de uso para cultivos frecuentes: Muy Apto (A1) **MA**; Apto (A2) **A**; Marginalmente Apto (A3) **MgA**, y No Apto (N) **NA**. Asimismo, se establecen las Subclases de Aptitud, indicando el tipo de limitante de acuerdo a su código, y ordenadas de acuerdo a su importancia<sup>3</sup>.

**Limitantes:**

- r- Condiciones de enraizamiento
- t- Régimen térmico en el período de crecimiento
- n- Nutrientes del suelo
- d- Condiciones de humedad interna
- k- Alcalinidad
- e- Riesgo de erosión hídrica
- w- Riesgo de erosión eólica
- s- Salinidad del suelo

---

<sup>3</sup> La correlación de la aptitud de los suelos con los valores de Huella Hídrica obtenidos se logra a partir de utilizar la totalidad de series de suelos agrícolas disponibles (61), y aplicar a las mismas el cálculo de la huella hídrica para cada uno de los cuatro cultivos analizados en el presente estudio. Luego, para cada polígono (superficie de territorio) de la Provincia de Buenos Aires, que surge del entrecruzamiento de las capas temáticas representadas en el Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) con situaciones homogéneas, se utilizó el software Cropwat para cada uno de estos cultivos, obteniéndose la Huella Hídrica de cada cultivo para cada serie de suelo.

Clasificación	GIRASOL	MAIZ	MAIZ-T	SOJA	SOJA 2A	SOJA TARDÍA	TRIGO	TRIGO TARDÍO
Hapludol lítico	NA r,d,n	NA r,d,n	NA r,d,n	NA r,d,e	NA r,d,e	NA r,d,e	NA r,d	NA r,d
Argiudol típico somero	MgA r	MA r	A r	A r	A r	A r	A r	A r
Hapludol típico	MA n,w,e	MA n,w,e	MA n,w,e	MA e	MA e	MA e	MA	MA
Argiudol típico somero	MgA r,e,w	A r,e,w	A r,e,w	A e,r	A e,r	A e,r	A e,r	A e,r
Natracuol típico	NA d,k,s	NA k,s,n	NA k,s,n	NA k,d,s	NA k,d,s	NA k,d,s	NA k,d	NA k,d
Argiudol típico muy somero	MgA r,d,w	NA rw	4 r,w	MgA r	MgA r	MgA r	A r	A r
Haplustol lítico	A w,n,r	MgA w,n,d	MgA w,n,d	MgA w,r,d	NA w d,r	MgA w,r,d	A r,d	A r,d
Natracualf típico somero	NA d,k,w	NA d,k,n	NA d,k,n	NA d,k,w	NA d,k,w	NA d,k,w	NA d,k	NA d,k
Argialbol argiacuico	NA d,k	NA k,d	NA k,d	NA d,k	NA d,k	NA d,k	NA k,d	NA k,d
Argiudol ácuico	A r	MgA r,d	MgA r,d	A d	A d	A d	A d	A d
Natracuol típico	NA e,d,k	NA e,d,k	NA e,d,k	NA e,d,k	NA e,d,k	NA e,d,k	NA d,k	NA d,k
Hapludol th árgico	MA w	MA w	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Hapludol ácuico	A d,w	MA w	MA w	MA w	MA w	MA w	MA	MA
Hapludol éntico	A d,w	MgA d,n,w	MgA d,n,w	A d,w	MgA d,w	A d,w	A d	A d
Udipsament típico	NA d,n,w	NA d,n,w	NA d,n,w	NA d,w	NA d,w	NA d,w	NA d	NA d
Hapludol th nátrico	NA d,k	NA k,d	NA k,d	NA k,d	NA k,d	NA k,d	NA k,d	NA k,d
Natralbol típico	NA e,d,k	NA e,k,r	NA e,k,r	NA e,d,k	NA e,d,k	NA e,d,k	NA k,d	NA k,d

Tabla II-3. Aptitud física de los suelos para cultivos de grano (adaptada de PMI, 1999)

Finalmente se presenta una tabla con la correspondencia entre de aptitud para los cultivos de todas las series de suelos utilizadas en los cálculos

Serie	Tipo de suelo	Indice de Productividad (IP)
Ameghino	Hapludol Entico	51
Arrecifes	Argiudol Típico	77
Arroyo Dulce	Argiudol Típico	90
Azul	Paleudol Petrocalcic	49
Balcarce	Paleudol Petrocalcic	48
Bolívar	Hapludol Entico	51
Bragado	Hapludol Típico	85
Cañada Seca	Hapludol Thapto Argi	62
Capitán Sarmiento	Argiudol Típico	72
Carlos Tejedor	Hapludol Típico	58
Cascada	Argiudol Típico	51
Chacabuco	Argiudol Acuico	90
Chasicó	Paleustol Petrocalci	45
Delgado	Argiudol Típico	0
Egaña	Hapludol Tapto Argic	77
El Abolengo	Hapludol Típico	81
El Toro	Hapludol Thapto Argi	73
Epecuén	Haplustol Entico	73
Erize	Argiustol Típico	60
Estación Naón	Hapludol Típico	77
Estación Rivera	Haplustol Entico	32
Estancia Ojo de Agua	Haplustol Litico,	27
Gouin	Argiudol Acuico	81
Guaminí	Hapludol Entico	45
Guillermo	Hapludol Thapto Argi	49
Junín	Hapludol Típico	81
La Colina	Hapludol Típico,	81
La Delicia	Hapludol Típico,	23
La Loma	Paleudol Petrocalcic	49
Laguna Puán	Haplustol Típico	68
Laprida	Argiudol Típico	85
Las Armas	Hapludol Tapto Natri	31
Lincoln	Hapludol Típico	73
Los Naranjos	Hapludol Tapto Argic	90
Maipú	Hapludol Tapto Argic	58
Mar del Plata	Argiudol Típico	81
Mercedes	Argiudol Típico	77
Necochea	Argiudol Típico	85
Norumbega	Hapludol Entico	60
O'Higgins	Argiudol Típico	95
Ochandío	Hapludol Típico	77
Olavarría	Paleudol Petrocalcic	39
Ortiz de Rosas	Hapludol Thapto Argi	77
Pergamino	Argiudol Típico	81
Pichincha	Hapludol Thapto Natr	51
Piedritas	Hapludol Entico	48
Portela	Argiudol Vertico	72
Puán	Haplustol Típico	57
Ramallo	Argiudol Vertico	65

## 2) Orden ALFISOL

Geográficamente, los Alfisoles están estrechamente asociados con los Molisoles. Se encuentran, al igual que estos, ampliamente representados en las planicies Chaco-Pampeanas. Los suelos pertenecientes al orden Alfisol se caracterizan por la presencia de un horizonte superficial que tiene poco espesor, o poca materia orgánica, o color muy claro como para ser un epipedón mólico, y por presentar un horizonte Bt (argílico) de acumulación de arcilla iluvial (proceso de ilimerización) (Moscatelli y Pazos, 2008, Imbelloni *et al*, 2010).

Generalmente, estos suelos ocupan áreas planas a cóncavas entre las porciones más altas del paisaje, presentando con frecuencia un horizonte nátrico (horizonte argílico, Bt, con sodio intercambiable), y régimen de humedad del suelo ácuico en las posiciones más bajas (Moscatelli, 1991). SAGyP-INTA (1989) indica que este orden es característico de regiones o pequeñas zonas con escurrimiento superficial restringido, sometidos a inundaciones periódicas, y con frecuente acumulación de sales de sodio en superficie (proveniente de una superficie freática) que limita el desarrollo del horizonte mólico característico de los Molisoles.

El suborden de los Acualfes es el más difundido y, dentro de este el Natracualf típico, de muy baja aptitud productiva, sólo apto para ganadería extensiva con pasturas resistentes. Estos suelos se presentan en paisajes extremadamente planos. Los restantes subórdenes reconocidos en la provincia, Udalf y Ustalf, presentan escasa representatividad areal (SAGyP-INTA, 1989).

Los Alfisoles se utilizan para pastoreo de ganado, como pasturas naturales o pasturas tolerantes a exceso de agua y/o sodio en los casos que estas limitantes se presenten. Es el tipo característico de la Pampa Deprimida, y de aquellas zonas más bajas de otras regiones con dificultades en el drenaje, tal como ocurre en el noroeste bonaerense.

## 3) Orden ENTISOL

Comprende los suelos muy escasamente desarrollados, presentes en diversas regiones de la provincia. Se caracterizan por no evidenciar o tener escaso desarrollo de horizontes pedogénéticos. Presentan, en superficie, un horizonte superficial claro,

de escaso espesor, pobre en materia orgánica, con escasa estructura, susceptible a la erosión, denominado en el *Soil Taxonomy* como epipedón ócrico. Normalmente no se presentan otros horizontes diagnósticos, lo que se debe en gran parte al escaso tiempo transcurrido desde la acumulación de los materiales originales, o bien al hecho de que las condiciones climáticas no posibilitan su evolución. Generalmente, se han desarrollado en distintos regímenes de humedad, temperatura, vegetación, materiales originales y edad, por lo que se halla presente en diversas regiones de la provincia de Buenos Aires, y está vinculado a una gran variedad de paisajes. Se lo encuentra tanto en médanos “vivos” continentales, comunes en el oeste de la provincia, como en dunas costeras y planicies anegables del litoral marino. Se caracteriza por la textura del material originario que, en la mayoría de los casos es areno-franca (SAGyP-INTA, 1989).

El suborden de los Fluvent y Psament son los de mayor representatividad areal. Los primeros se caracterizan por ser una sucesión de capas próximas a ríos, o mares, con variadas condiciones de permeabilidad y retención, y los segundos se reconocen principalmente en las dunas costeras atlánticas, así como en médanos del oeste bonaerense, caracterizados por tener una excesiva permeabilidad.

La mayoría de los suelos bajo riego a lo largo de los principales ríos son Entisoles. También son comunes a lo largo de costas extendidas, utilizados en este caso para plantaciones forestales y cultivos hortícolas (Moscatelli y Pazo, 2008).

#### 4) Orden ARIDISOL

Los Aridisoles están ampliamente distribuidos en la Argentina, cubriendo el 60% del país, principalmente en Patagonia, Cuyo (Centro E) y NO, cubriendo una superficie aproximada de 160.000.000 Ha. con diferentes porcentajes en 17 del total de 23 provincias (Moscatelli y Pazos, 2008). No obstante, en la provincia de Buenos Aires, solo se los reconoce en la porción austral de la provincia, aproximadamente al sur del paralelo 39°S, donde el régimen de humedad es de tipo arídico, caracterizado por precipitaciones inferiores a los 300 mm anuales.

Moscatelli y Pazos (2008) destacan que las condiciones severas que determinan la ocurrencia de Aridisoles determinan el surgimiento de problemáticas de carácter socioeconómico, con dificultades para establecer ciudades o pueblos sostenibles en muchas áreas del país. La situación se observa en áreas caracterizadas por una

muy baja densidad de población, con éxodo de pobladores, tasas de crecimiento de la población negativas, y economías de subsistencia con baja o nula inserción en los mercados, lo que resulta en un muy bajo nivel de inversiones e incorporación de tecnología. Los autores destacan además que, a partir de la pobre oferta ambiental y las dificultades de subsistencia de la población, en el aspecto productivo con frecuencia se persiguen resultados de corto plazo (lo cual va asociado a la realización de actividades de riego o labranzas inapropiadas y sobrepastoreo), generando la desertificación de las tierras.

Los *Aridisoles* son suelos de climas áridos, ya sean fríos o cálidos, que no disponen durante largos períodos de agua suficiente para el crecimiento de cultivos o pasturas prolíficas. Específicamente, no se registran períodos superiores a los tres meses en los cuales los suelos presenten humedad disponible, lo cual limita extremadamente su posibilidad de utilización.

Se caracterizan en general, por un horizonte superficial claro, pobre en materia orgánica (epipedón ócrico) por debajo del cual puede aparecer una gran variedad de horizontes diagnósticos, dependiendo de las condiciones y los materiales a partir de los cuales se han desarrollado, ya sea como resultado de las actuales condiciones de aridez, o heredadas de condiciones anteriores.

Los procesos pedogenéticos presentes pueden ser, salinización, alcalinización, carbonatación, e ilimerización de arcillas. Cuando no se encuentran bajo riego, los *Aridisoles* se asocian con una vegetación xerófila, la que habitualmente es escasa y no cubre completamente la superficie del suelo.

Se reconocen dos subórdenes al interior de los *Aridisoles*: *Argides*, con horizonte Bt; y *Ortides*, sin horizonte Bt. Pueden ocupar diferentes posiciones del paisaje, desde bajos y llanos a suavemente ondulados, con o sin la presencia de sodio.

#### 5) Orden VERTISOL

Comprenden suelos muy ricos en arcillas desde la superficie, con alta proporción dentro de estas del tipo expandibles por lo cual, en la mayoría de los años, se agrietan durante la estación seca. Se caracterizan por la presencia de agregados cuneiformes y *slickenside* (barnices de frotamiento que resultan de la contracción y expansión interna de los agregados durante los periodos secos que alternan con los húmedos).

Estos suelos presentan limitaciones de drenaje, que se agudizan en las partes bajas, donde la superficie freática se ubica más próxima a la superficie, acumulando con frecuencia sales (SAGyP-INTA, 1989).

En la provincia de Buenos Aires, se los ha reconocido en el área costera, entre la localidad de Magdalena y la Bahía de Samborombón, con un contenido en materiales finos que supera incluso a los Vertisoles típicos de la provincia de Entre Ríos. Moscatelli y Pazos (2008), señalan que su génesis se atribuye a materiales que provienen de Brasil a través de su muy amplia red de escurrimiento superficial, siendo suelos que se utilizan principalmente para la cría de ganado debido a sus restricciones para las labranzas. Los mismos autores destacan que, en otras zonas del país, estos suelos pueden utilizarse –aunque en menor medida- para cultivos como trigo, soja, girasol y lino, siendo particularmente apropiados y utilizados para producir arroz inundado.

Al interior de este orden de suelo se reconoce el suborden Udert y dentro de este, el Pelludert y Cromudert. Estos últimos se presentan generalmente en zonas con drenaje deficiente, y ambientes más bajos con rasgos hidromórficos. Por su parte, los Pelludert son mejor drenados, asociados a partes más elevadas de las llanuras marinas, asociados a Argiudoles vérticos de origen continental.

### **3º. - Regionalización**

#### **c.- Introducción**

Tal como se mencionó, en el presente estudio se evaluaron las huellas hídricas de los productos agrícolas más relevantes para las exportaciones de la provincia de Buenos Aires. Dado que dichos productos se obtienen a partir del desarrollo de actividades productivas distribuidas en el territorio provincial, es una tarea imprescindible definir las zonas cuyas características agroecológicas se consideren homogéneas, a fin de que dicha clasificación permita referir los cultivos y sus rendimientos a dichas zonas. A continuación se presentan las distintas zonificaciones para el cálculo de las huellas hídricas, evaluadas a los fines de referir la información de entrada a las mismas.

#### **d.- Regionalizaciones nacionales y provinciales**

El criterio de regionalización que se adopte para definir la Huella Hídrica de los principales cultivos exportables de la provincia de Buenos Aires puede ser hecho

según las características del paisaje, considerado este como un sistema socio-económico-ambiental; y/o a partir de las particularidades de los cultivos analizados en el presente estudio (trigo, soja, maíz, y girasol).

Mateo (1990) define al paisaje como un sistema territorial modificado en sus propiedades originales, compuesto por elementos naturales y antrópicos condicionados socialmente. Este autor también expresa que el paisaje es una unidad tipológica ligada a una regionalización físico-geográfica, vinculada a su vez con el suelo que aparece en cada unidad geomorfológica. Si se reconoce además una intervención humana en dichas relaciones, se concibe entonces al paisaje como una formación antro-po-natural.

Este criterio paisajístico resulta a priori suficiente para establecer la Huella Hídrica de los cultivos a analizar, para cada una de las regiones principales que se reconocen en la provincia. Sin embargo es razonable suponer que, dados los criterios de regionalización por cultivos que existen a nivel provincial, este sea un criterio adicional de análisis. Consecuentemente -y muy posiblemente- el análisis conjunto de las regionalizaciones ambientales y de los cultivos resulte en el criterio que mejor se adecue a los objetivos del presente estudio.

A continuación se presentan algunas de las regionalizaciones existentes, y sus respectivos criterios subyacentes, a nivel nacional, regional, y provincial.

#### **e.- Regionalizaciones nacionales**

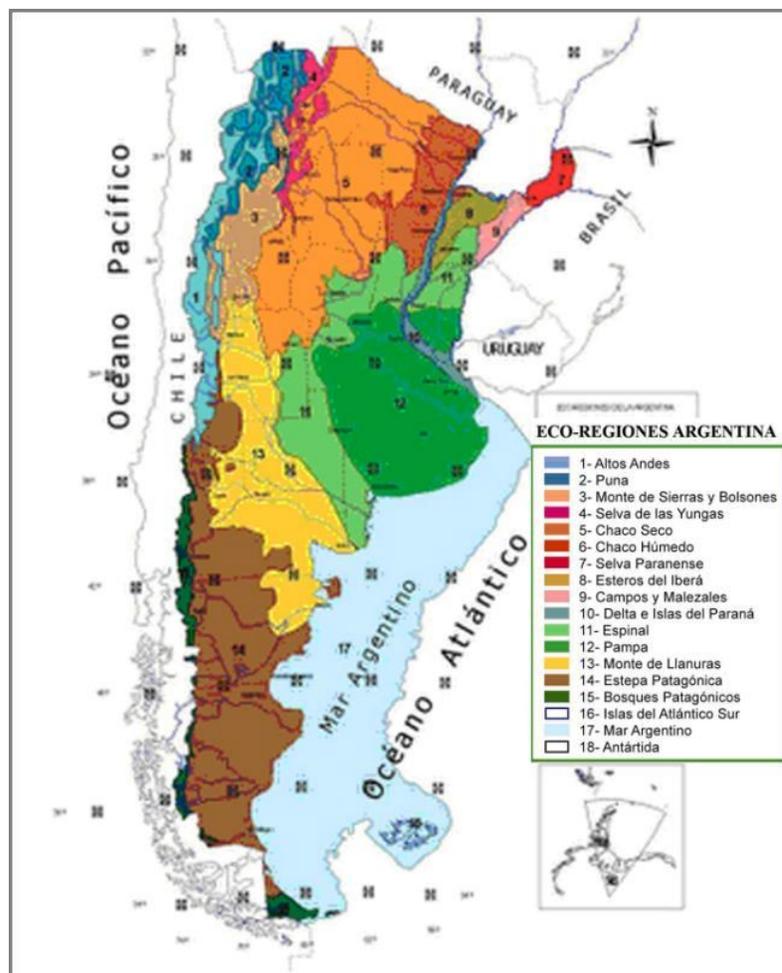
En el mapa que se presenta seguidamente, se encuentran definidas las regiones naturales de la Argentina. En él puede observarse que la mayor parte de la provincia de Buenos Aires forma parte de una planicie de mayor extensión que se denomina Llanura Pampeana o Pampa Húmeda (1.000.000 km<sup>2</sup>) caracterizada por su amplia distribución geográfica y su escasa pendiente. Dentro de la Pampa Húmeda se incluyen, además de la provincia de Buenos Aires, parte de las provincias de Santa Fe y Córdoba, y una pequeña porción de la provincia de La Pampa. El sur de la provincia de Buenos Aires (partidos de Villarino y Patagones) se incluye en la región natural denominada Pampa Seca, junto a la mayor parte de la provincia de La Pampa.



**Mapa 1. Regiones naturales de la República Argentina**

Fuente: INTA (1990)

Por su parte, Neiff *et al.* (2003) presentan la división por eco-regiones de la Argentina, que es de mayor detalle que la presentada precedentemente, ya que incluye otros elementos del paisaje. Estos autores definen como eco-región al área ecológica relativamente homogénea definida por la similitud de clima, relieve, suelo, vegetación, hidrología u otra variable ecológicamente relevante. Como fuera mencionado anteriormente, la provincia de Buenos Aires pertenece en su mayor parte a la eco-región denominada Pampa, en tanto que el extremo sur (partidos de Villarino, Patagones, y parte de Puán), a la eco-región denominada Espinal.



**Mapa 2. Eco-regiones de la República Argentina**

Fuente: Neiff et al. (2003)

### **f.- Regionalizaciones provinciales**

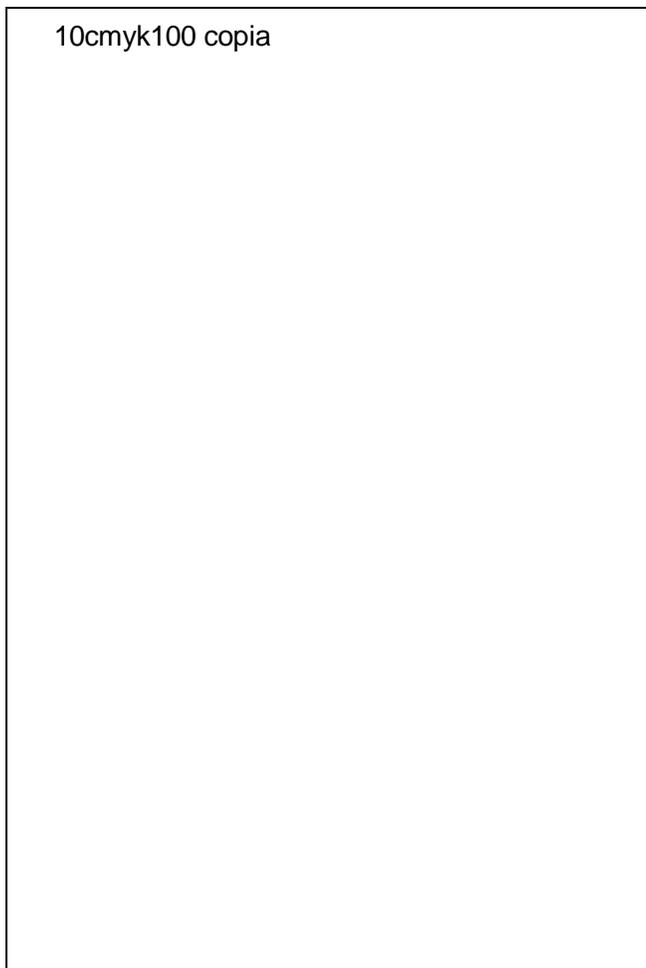
Respecto a las regionalizaciones disponibles para la provincia de Buenos Aires, las mismas son muy variadas y se basan en características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, edáficas, y de vegetación, entre otras. Algunas de las regionalizaciones sólo incluyen parte de estas propiedades, en tanto otras resultan de la superposición de elementos del paisaje.

La provincia de Buenos Aires es parte de la llanura pampeana, una extensa planicie que se encuentra por debajo de los 100m s.n.m. apoyada sobre el basamento de rocas cristalinas de la era Precámbrica, que aflora a la superficie hacia el sur del área de estudio en los sistemas de Tandilia y Ventania (500 y 1.100m s.n.m.), y queda progresivamente enterrado hacia el norte por distintas unidades de

sedimentos más jóvenes cuyo espesor es variable -según el sitio- y está en el rango de entre 2km (localidad de Maipú), y 6km (localidad de Lavalle) (PMI, 1999). Por debajo de la planicie subyace un sistema de fallas con dirección NO-SE, a lo largo de un eje que une aproximadamente las localidades de Junín y Maipú, y que separa la suave pendiente del basamento rocoso, no existiendo líneas de falla en dirección sudoeste-noreste (PMI, 1999).

Tal como indican Zárata y Rabanesse (2005), el relieve bonaerense, a pesar de su aparente uniformidad -sólo interrumpida por los cordones serranos de Tandilia y Ventania- sintetiza en sus formas una historia geológica compleja, que se manifiesta en un conjunto variado de geoformas de origen y edades diversos, y que van desde morfologías longevas en los sistemas serranos anteriores al Cenozoico, hasta otras del Holoceno tardío.

En el Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP-INTA, 1989) se reconoce la existencia de siete unidades geomorfológicas basadas en la evolución del material original, topografía actual y red de avenamiento; atributos que, en conjunto, definen el tipo y distribución del suelo.



**Mapa 3. Unidades geomorfológicas de la provincia de Buenos Aires**

Fuente: SAGyP-INTA (1989)

Asimismo, se describen en la bibliografía diferentes criterios en los que se divide a la provincia de Buenos Aires. Posteriormente, se describen cuencas tectónicas, provincias geológicas, unidades morfoestructurales y estructuras menores, ambientes hidrológicos, romarcas fisiográficas, y regiones hidrogeológicas (presentadas por autores citados en Alconada, 2008: Rolleri, 1975; Sala, González y Krause, 1983; Mugni, 1998; Zárata y Rabanesse, 2005; Cingolani, 2005; González, 2005).

Al interior de estas posibles regionalizaciones, se destaca la presentada en el mapa siguiente, en el cual se observan las 11 regiones hidrogeográficas que define González (2005) para la provincia de Buenos Aires, clasificación que tiene en cuenta a su vez las regionalizaciones que diferentes autores efectuaron previamente, tales

como regionalización de acuíferos profundos, ambiente hidrogeológicos y regiones hidrogeológicas (Sala et al., 1975; Hernández et al., 1975; Auge, 2003, autores en González, 2005).

La importancia de la ilustración presentada se debe a la incidencia que dichas regiones presentan en el desarrollo de los suelos, en su geomorfología, en la vegetación, y en el aporte de agua subterránea a los cultivos (huella hídrica azul), Esta última puede tener tanto un origen natural, tal como la proveniente de una superficie freática poco profunda que, por ejemplo, se presenta en la región del noroeste de Buenos Aires; como así también provenir de acuíferos profundos que se utilizan para regar, tales los casos de los acuíferos Pampeano y Puelche, en el norte de la provincia (Auge, 2004).

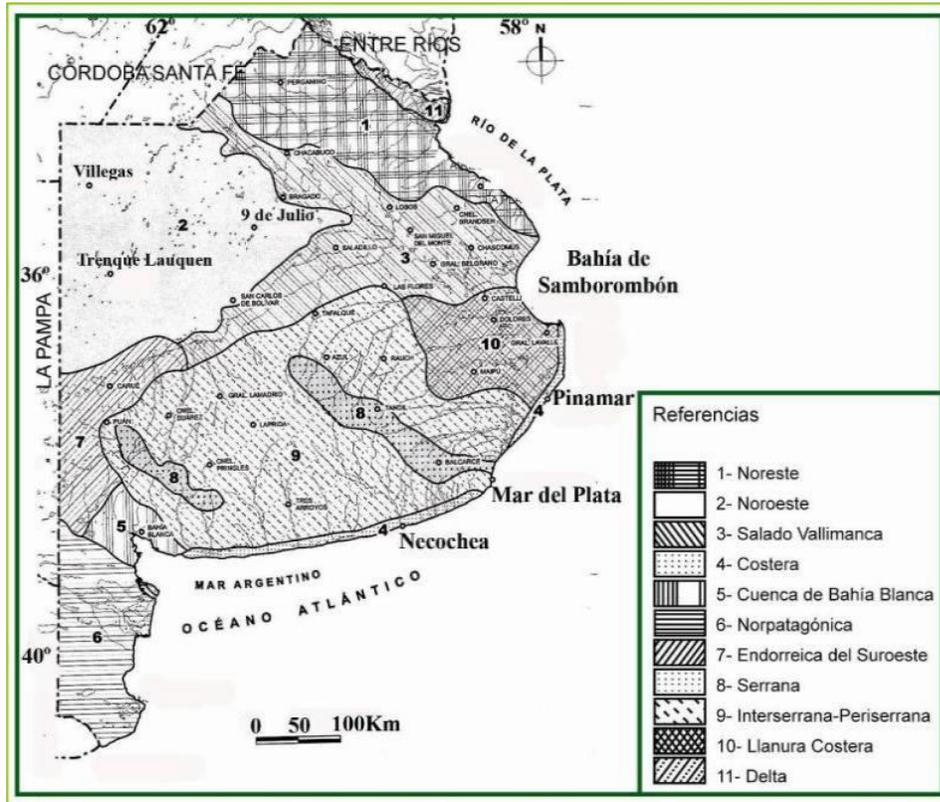
Es pertinente mencionar en este punto lo señalado por Auge (2004) respecto a que, si bien dos son los criterios principales que el autor considera a fin de establecer los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires debido a que estos son los que tienen mayor incidencia en el agua subterránea (geología y geomorfología), es de destacar que el componente biológico (animal y vegetal) ha sido severamente alterado por las prácticas agrícolas.

Esto determina un elevado riesgo frente a la aptitud de los recursos biota, agua y suelo, especialmente por el uso de plaguicidas (huella hídrica gris), y la extracción de agua para riego (huella hídrica azul), cuya práctica se ha incrementado en los últimos años.

En su obra, Auge (2004) describe las características de los acuíferos libres y profundos de cada uno de los ambientes hidrogeológicos, presenta mapas isofreáticos y de salinidad del acuífero libre superficial que puede ser utilizado por los cultivos de soja (*Glycine max*) y alfalfa (*Medicago sativa*) y, en menor medida, trigo (*Triticum aestivum*), girasol (*Helianthus annuum*) y maíz (*Zea maiz*), según destacan diferentes autores para la región pampeana (Baigorri et al., 2003; Martini y Baigorri, 2004; Jobbágy et al., 2006; Spescha et al., 2004; citados en Alconada, 2008 y Alconada et al., 2009).

Lo señalado es relevante para los objetivos del presente estudio debido a la incidencia que podría generar en el cálculo de la huella hídrica verde (agua evapotranspirada proveniente de la lluvia), considerando además que los cultivos

toman agua de superficies freáticas (agua azul) cuyo aporte se desconoce, a diferencia del agua azul proveniente del riego, o verde (estimada por las precipitaciones).



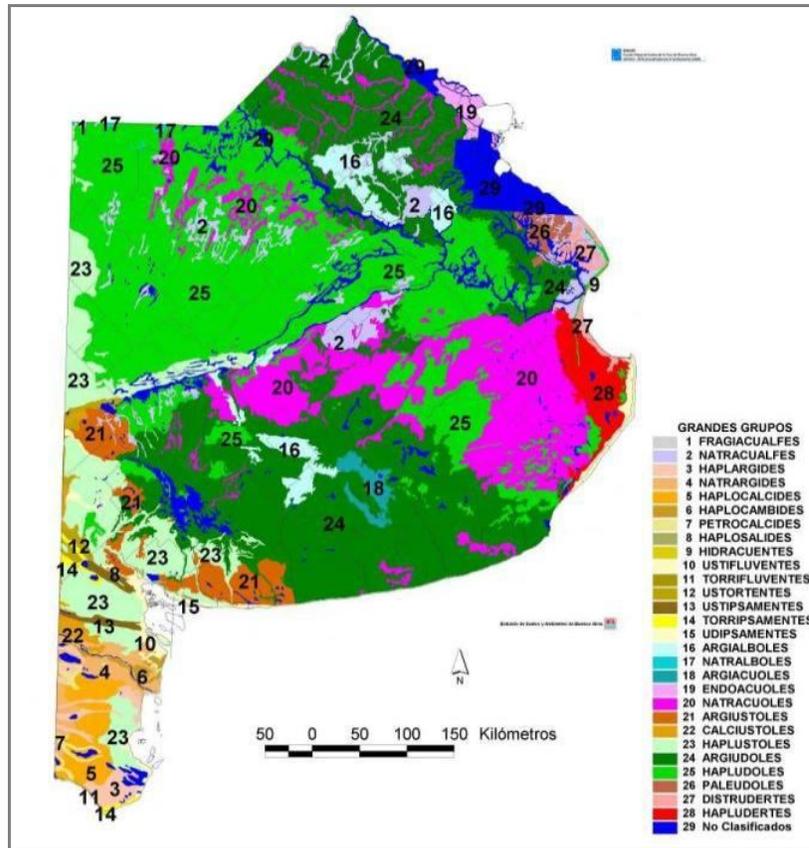
**Mapa 4. Regiones hidrogeológicas, provincia de Buenos Aires**

Fuente: González (2005)

Asimismo, algunos de los mapas en los cuales se divide regionalmente a la provincia de Buenos Aires con diversos criterios, se presentan también en el “Mapa de Suelos y Ambientes de la provincia de Buenos Aires” (Cruzate et al., 2008). Los mapas específicos de suelos, unidades taxonómicas y productividad de dichos suelos, han sido elaborados a partir del mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires a escala 1:500 000.

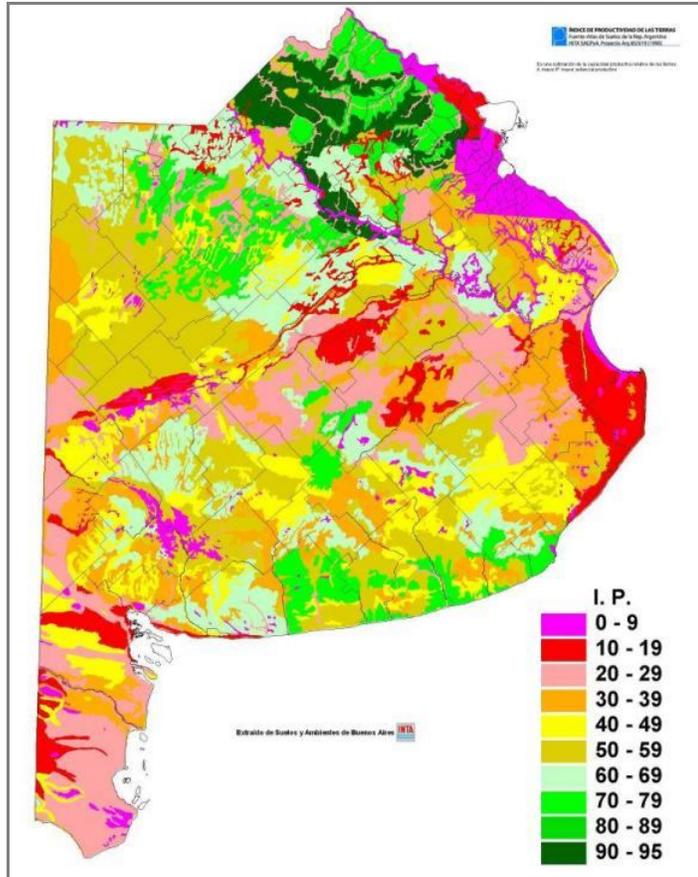
En los mapas siguientes se presentan los principales suelos de la provincia a la escala indicada, según surge de SAGyP-INTA (1989), con información extraída del Mapa de Suelos y Ambientes (Cruzate et al., 2008). También se presenta el Índice

de Productividad de los suelos, y la Aptitud de uso general (agrícola o ganadero), que resulta de los anteriores.



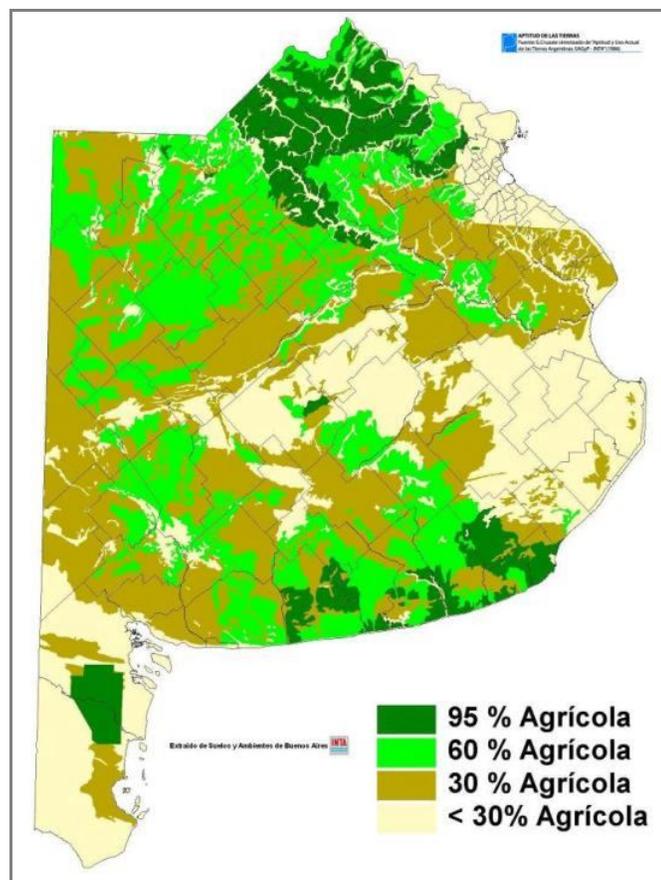
**Mapa 5. Principales suelos clasificados a nivel de Gran Grupo**

Fuente: *Soil Taxonomy* (1975), según mapa de suelos escala 1:500 000 (SAGyP-INTA, 1989); y Cruzate et al. (2008)



**Mapa 6. Índice de Productividad de los suelos**

Fuente: Mapa de suelos (SAGyP-INTA, 1989); y (Cruzate et al., 2008)

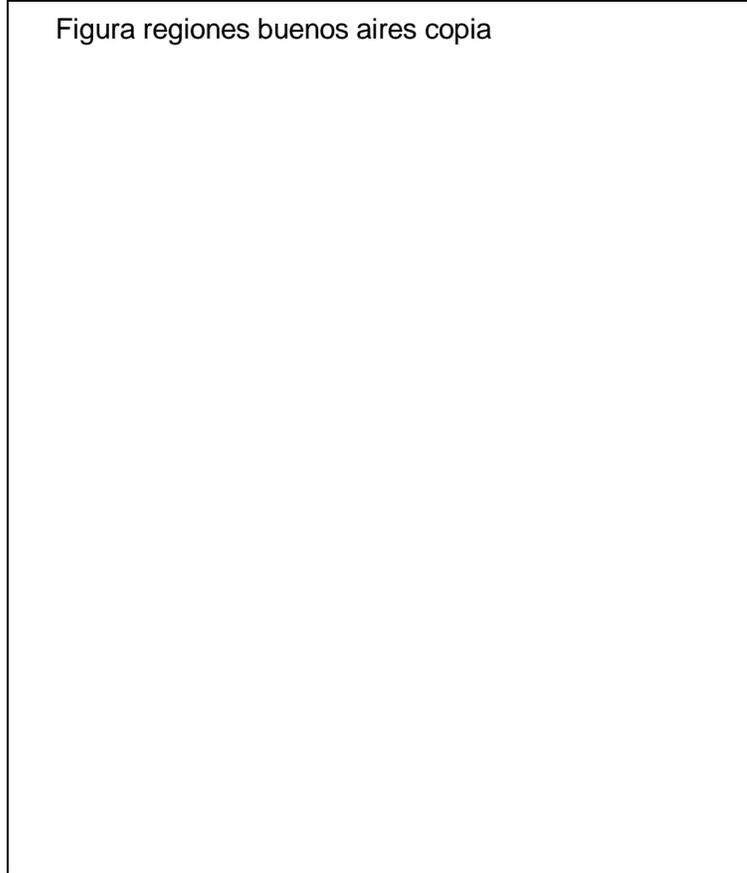


**Mapa 7. Aptitud de Uso de los suelos**

Fuente: Mapa de suelos, escala 1:500 000 (SAGyP-INTA, 1989); y Cruzate et al. (2008)

Esto ha dado origen a un gran número de ambientes a nivel provincial, tales como los que se describen en el mapa siguiente, extraído de MAA (2007).

Figura regiones buenos aires copia



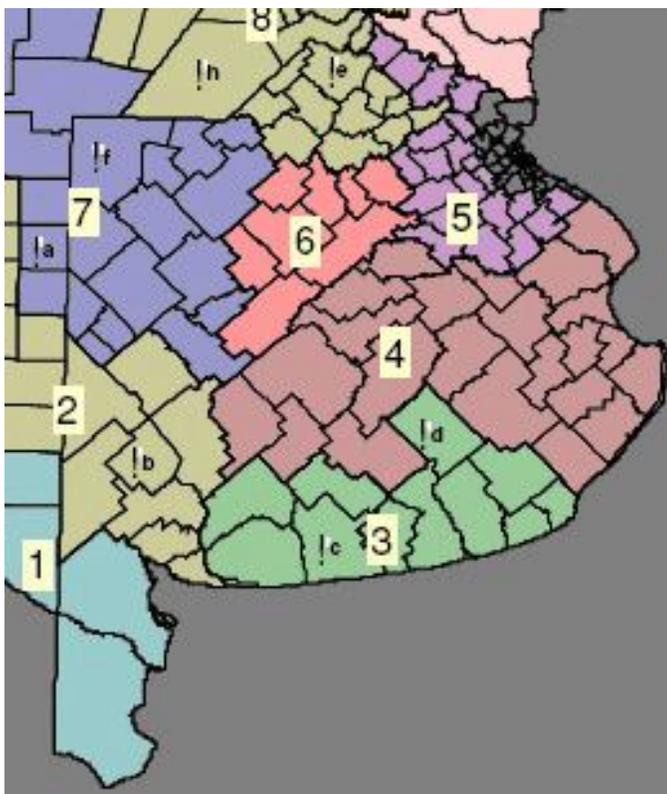
**Mapa 8. Ambientes de la provincia de Buenos Aires**

Fuente: MAA (2007)

Otra regionalización que resulta de considerar diversos elementos del paisaje es la realizada por la Oficina de Riesgo Agropecuario de la Secretaría de Agricultura (ORA-SAGPyA, 2005). Se presentan allí las 8 Regiones Agroeconómicas Homogéneas en base a características de suelos, clima y uso, que se reconocen en la provincia de Buenos Aires.

Las zonas agroeconómicas son las siguientes: Zona 1: Zona de riego y ganadera árida; Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste de Buenos Aires; Zona 3: Zona mixta del centro Sur de Buenos Aires; Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado; Zona 5: Zona Noreste de Buenos Aires; Zona 6: Zona mixta del centro de Buenos Aires; Zona 7: Zona mixta del Noroeste de Buenos Aires y Sur de Córdoba; y Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Sureste de Córdoba (ORA-SAGPyA, 2006).

Este criterio de regionalización es el adoptado en el Proyecto de Fortalecimiento Institucional para el Desarrollo Rural de la Provincia de Buenos Aires por parte del Ministerio de Asuntos Agrarios (MAA) de la Provincia de Buenos Aires (PROINDER, 2004).



**Mapa 9. Regiones Agroeconómicas de la provincia de Buenos Aires**

Fuente: (ORA-SAGPyA, 2006) (*denominaciones de zonas en texto*)

Magrin et al. (2006) efectúan un estudio sobre la vulnerabilidad de la región Pampeana argentina a cambios en el clima, considerando 12 zonas de acuerdo a las características edafo-climáticas, uso actual y potencial del suelo, tomando como base la zonificación de la región Pampeana presentada en párrafo precedente, realizada por la Oficina de Riesgo Agropecuario de la Secretaría de Agricultura (ORA-SAGPyA, 2006), y el índice de productividad de los suelos (en adelante, IP) publicado en el Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1995 en Magrin et al., 2006).

La superficie total que consideran los autores es de 60Mha, de la cual el 30% está dedicado a los cultivos de soja, trigo, maíz y girasol. De la superposición de esta información definen luego la aptitud de cada zona (agrícola, agrícola-ganadera, ganadera-agrícola), estableciendo cinco categorías por IP, y seleccionando las series representativas a cada nivel de IP y zona. Los rangos de IP que establecen son: menor de 40: suelos no aptos para agricultura; entre 40 y 54: suelos ganadero-agrícola; entre 55 y 69: suelos agrícola-ganadero; entre 70 y 84: suelos agrícolas; y entre 85 y 100: suelos aptos para agricultura intensiva.

Se conforma de este modo una base de datos con las características físico-químicas de 48 series de suelos que, junto a variables climáticas, de manejo y cultivares, son requeridas por los modelos DSSAT (modelos de simulación de la producción de cultivos) a fin de definir la incidencia en los rendimientos de diferentes escenarios ambientales.

La información edáfica que incorporan al modelo de referencia es la siguiente: a) las características generales de cada perfil: drenaje, escurrimiento, evaporación, albedo y capacidad de mineralización; y b) las características intrínsecas de cada horizonte: espesor de la capa; contenido de humedad en los límites inferior, superior y de saturación; distribución relativa de raíces; pH, densidad aparente y contenido de carbono orgánico.

La Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA), presenta también una regionalización basada en Zonas Homogéneas de Capacidad de Producción ([http://www.ora.gov.ar/riesgo\\_zonas.php](http://www.ora.gov.ar/riesgo_zonas.php)), elaborada por el Departamento de Suelos de INTA Castelar, en función de los objetivos del Proyecto de la ORA. Bajo este criterio, se valora la capacidad productiva de las tierras en función de las condiciones macro climáticas y características edáficas relevadas por el INTA en distintas etapas.

Las áreas homogéneas en cuanto a su productividad agrícola actual, a escala semidetallada, se elaboraron a partir del agrupamiento de las Unidades Cartográficas de los Mapas de suelos escala 1:50.000, y están constituidas por Asociaciones y Complejos de suelos clasificados a nivel de Serie, de acuerdo al Sistema *Soil Taxonomy* (*National Resource Conservation Service, USDA 1999 2ª. Edición*).

El criterio adoptado para el agrupamiento de las unidades de los mapas de suelos fue el de intervalos por IP, ponderados de cada una de las unidades, y expresados en Clases de Capacidad Productiva Agrícola (ICAP), (INTA, Castelar, en ORA).

En esta publicación se indica que, para la definición de las clases de ICAP a la escala semidetallada, se tomó como referencia el comportamiento del conjunto de los cultivos principales del área pampeana, definidos en términos de nivel tecnológico y de rendimientos potenciales. Para el nivel tecnológico, se considera: Medio a Alto (tareas mecanizadas, semilla certificada, agroquímicos y fertilización, a dosis medias). Para los Rendimientos Potenciales se consideran: Trigo 4,0 t/ha; Maíz 9,0 t/ha; Soja de 1ª 3,5 t/ha; Girasol 3,0 t/ha. Los rangos de IP son iguales a los indicados precedentemente en ORA-SAGPyA (2006) aunque se indica que dichos rangos corresponden a las Clases de ICAP: muy alta, entre 85 y 100; alta, entre 70 y 84; media, entre 55 y 69; baja, entre 40 y 54; y no agrícola, menor de 40.

Asimismo, dentro de cada Clase de ICAP se indica que se establecieron sub-áreas correspondientes al ámbito de predominancia de Series de Suelo representativas, tal como se presenta en la tabla siguiente. Los suelos que allí se consignan fueron seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios: i) Dominancia del componente ó porcentaje de participación en la unidad cartográfica, ii) Grado de homogeneidad de las Unidades Cartográficas que integran y, iii) Superficie abarcada por la unidad cartográfica ó importancia relativa<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Las características de las series pueden ser consultadas en [www.geointa.gov.ar](http://www.geointa.gov.ar) o en <http://www.inta.gov.ar/suelos/cartas>.

CLASE DE ICAP	SERIES PREDOMINANTES
	<b>Buenos Aires Norte, Centro-Norte y Centro-Oeste</b>
<b>MUY ALTA</b>	Arroyo Dulce, Chacabuco, Delgado, Rojas, Santa Isabel.
<b>ALTA</b>	Arredifes, Gouin, Mercedes, Ortiz de Rozas, Pergamino, Bragado, Estación Naón
<b>MEDIA</b>	Junín, Portela, Ramallo, Río Tala, Solís, Bolívar, Cañada Seca, Carlos Tejedor
<b>BAJA</b>	Nueve de Julio, Saforcada, Santa Lucía, Suipacha

**Tabla II-4. Provincia de Buenos Aires. Series de suelos características de las Clases de Capacidad Productiva Agrícola (ICAP)**

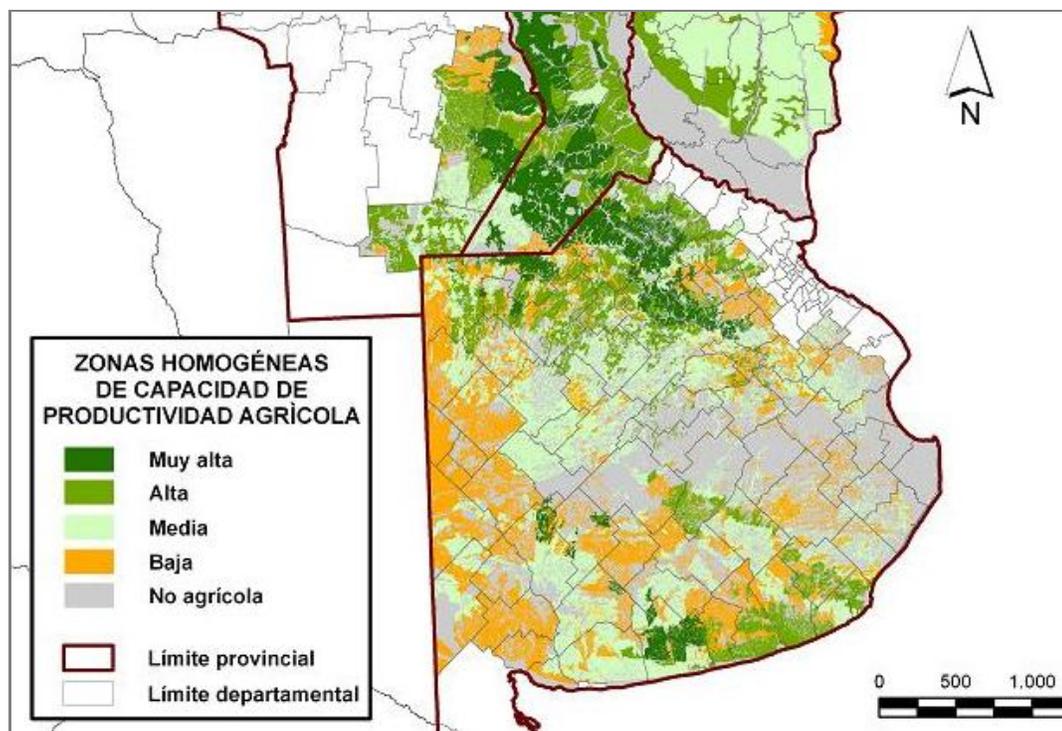
Fuente: INTA Castelar, en ORA

Asimismo, en este trabajo se analiza la correspondencia de lo obtenido a partir de las cartas de suelo con las imágenes satelitales LANDSAT, incluyendo un análisis pormenorizado de todas las unidades agrupadas por ICAP y de las Series que las componen, efectuando correcciones que permitieron calificar a las unidades con valores acordes a lo observado en las imágenes.

Así, en el sector oeste de la provincia de Buenos Aires, se ajustó por el cambio de uso respecto a las cartas de suelo elaboradas en el año 1960. Igualmente, se efectuaron ajustes de ICAP a partir de la zonificación por riesgo de inundación realizada por el Instituto de Clima y Agua, se modificaron algunos límites, y se eligió como suelo representativo a la serie cuyo IP se adaptaba más a los valores asignados. Asimismo, en el sector Norte de la provincia de Buenos Aires se detectó una zona en la que los valores de ICAP eran superiores a lo que sugerían las imágenes actuales en función de la utilización de la tierra, realizándose los ajustes pertinentes en base a la elección de las series representativas.

En el mapa siguiente se presentan las zonas de capacidad de productividad agrícola correspondientes a Buenos Aires, extraída de:

[http://www.ora.gov.ar/riesgo\\_zonas.php](http://www.ora.gov.ar/riesgo_zonas.php).



**Mapa 10. Zonas Homogéneas de Capacidad de productividad agrícola obtenida a partir de cartas de suelo 1:50 000, e imágenes satelitales**

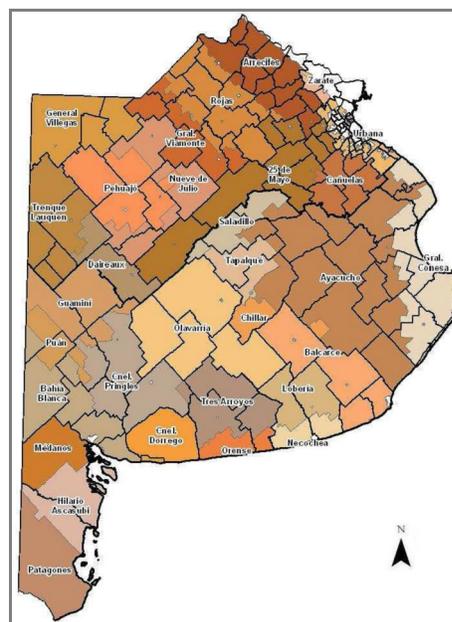
Fuente: [http://www.ora.gov.ar/riesgo\\_zonas.php](http://www.ora.gov.ar/riesgo_zonas.php)

Otra zonificación es la comentada por Bonett (2001), en la cual se sugiere efectuar una Zonificación Agroecológica considerando el suelo, clima, uso actual y potencial, y destacando como variables del suelo -en base a la limitación que presenten posibilita la zonificación homogénea- a las siguientes: tipo de suelo, profundidad de la tosca, deficiencia de fósforo, heladas tempranas y tardías, y niveles de evapotranspiración.

Se aprecia entonces que la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) presenta diferentes propuestas de estudio que, si bien en principio parecen tener un origen común de regionalización que surge de la caracterización edafo-climática efectuada por el INTA Castelar, debe ser analizado con más detalle a fin de unificar el criterio que mejor se adapte o contribuya a los fines del presente proyecto de obtención de la Huella Hídrica.

Otra regionalización se presenta en el “Estudio socioeconómico de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales de Buenos Aires”, que presentan

Álvarez et al. (2009). Estos autores señalan que su trabajo se basó en la diferenciación y descripción de zonas cuyas condiciones agronómicas y económicas pueden ser consideradas relativamente homogéneas, para lo cual tomaron la diferenciación en Zonas Agroeconómicas Homogéneas (ZAH) realizada en el marco del Proyecto RIAN (Red de Información Agroeconómica Nacional, 2006). En el estudio, los autores diferencian 5 Macro regiones ó Eco regiones, 15 Regiones (coincidentes con las áreas de influencia de cada uno de los Centros Regionales del INTA) y un total de 30 ZAH (Zonas Agroeconómicas Homogéneas), que se presentan a continuación.



**Mapa 11. Provincia de Buenos Aires. Zonas Agroeconómicas Homogéneas (ZAH)**

Fuente: Álvarez et al. (2009)

### **g.-Regionalizaciones-zonificaciones por cultivos**

Los principales cultivos anuales de la provincia de Buenos Aires (soja, trigo, maíz y girasol) presentan zonas específicas a las cuales se adapta en mejor medida uno u otro cultivar, y diferencias en características del ciclo, fenológicas (p.e. manejo), todas las cuales influyen sobre el rendimiento. En general, y a los fines de la presente clasificación, las condiciones climáticas ha sido la principal característica considerada.

Respecto a los mapas por cultivos se destacan los que se presentan en la página web de la Oficina de Riesgo Agropecuario.

([http://www.ora.gov.ar/riesgo\\_mapas.php](http://www.ora.gov.ar/riesgo_mapas.php)).

En ellos se analiza la incidencia del déficit hídrico por cultivo en función de su fenología específica. Así, se analiza la probabilidad de sequía para cada cultivo en particular en base a sus requerimientos hídricos. Igualmente sucede con los excesos acumulados en un período, ya que los niveles de lluvia en principio considerados excesivos dependen en realidad de variables tales como el mayor o menor consumo de la cobertura vegetal y la capacidad del suelo de incorporar agua, entre otras. Se opta entonces por considerar la variable “reserva o almacenaje de agua en el suelo”, en lugar de la variable básica “precipitación”, para la evaluación de riesgo de sequía o excesos.

Por su parte, la estimación de la variable “reserva” puede realizarse por distintos métodos. En esta propuesta metodológica se indica la necesidad de analizar datos diarios en relación al suelo, de cultivo y climáticos, de modo de establecer diariamente cual es el almacenaje del suelo y a partir de allí elaborar los mapas de déficit y excesos hídricos por cultivos. Se propone entonces la utilización de modelos de balance hídrico diario, basados en registros diarios de precipitación.

Se utilizó luego la zonificación por suelos realizada por el Instituto de Suelos del INTA Castelar. Para cada una de las unidades cartográficas se identificó una serie patrón (serie de suelo predominante), de la cual se dispone de datos tales como: tipo y profundidad de horizontes, textura, pendiente, tipo de drenaje, de escurrimiento y de permeabilidad, porcentaje de arcilla, de limo, de arena y humedad equivalente por horizonte, etc. Asimismo, se indicaron las fórmulas adecuadas para el cálculo de la capacidad de campo (CC) y del agua útil máxima (AU) en función del porcentaje

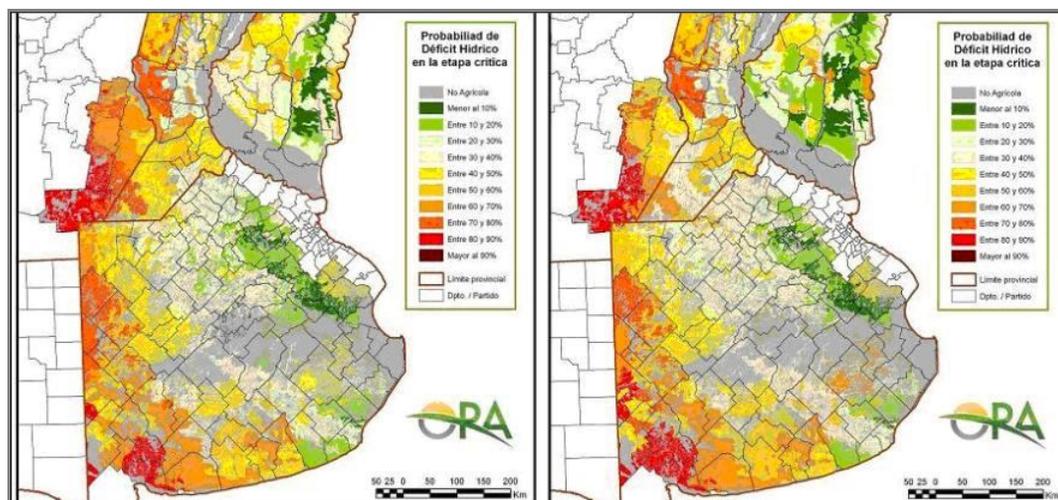
de arcilla, la humedad equivalente y la profundidad de cada horizonte, y se procedió al cálculo del punto de marchitez permanente ( $PMP=CC - AU$ ) y de un nivel tentativo de sequía condicional ( $NSC=PMP + 0,25 AU$ ). Se registran además, parámetros del cultivo y meteorológicos, y con éste cúmulo de información se elaboran los balances hídricos diarios<sup>5</sup>.

En este estudio se obtuvo el almacenaje diario de cada unidad de zonificación entre el 01/01/1970 y el 31/12/2003. A partir de ello, se identifica la cantidad de veces en que el almacenaje estuvo por debajo de un cierto valor durante el periodo crítico de estrés hídrico de cada cultivo. En base a lo que se denomina sequía condicional, (período crítico con reservas por debajo del punto de marchitez permanente), se establece la probabilidad de ocurrencia del fenómeno para todos los cultivos principales, y para todas las unidades cartográficas de la Zona Piloto, lo que arroja como resultado un mapa de riesgo para cada uno de los cultivos considerados.

En el mapa siguiente se presenta un ejemplo de lo anteriormente descrito para el cultivo de trigo.

---

<sup>5</sup> Información detallada puede consultarse en [http://www.ora.gov.ar/riesgo\\_mapas.php](http://www.ora.gov.ar/riesgo_mapas.php).



**Mapa 12. Probabilidad de ocurrencia de sequía en Trigo Siembra temprana (izq.) y Trigo Siembra tardía (der.)**

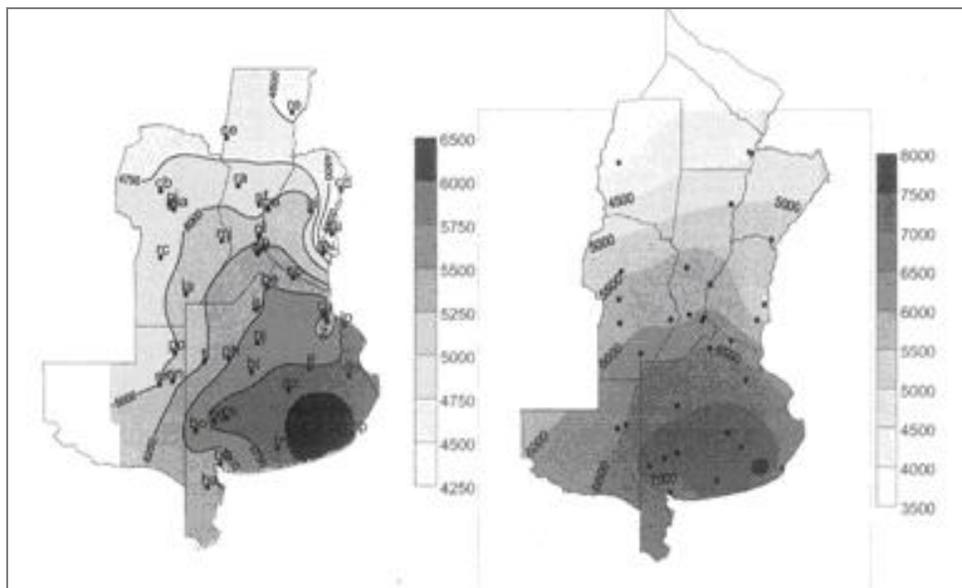
Fuente: [http://www.ora.gov.ar/riesgo\\_mapas.php](http://www.ora.gov.ar/riesgo_mapas.php)

Otra propuesta metodológica que considera los efectos del clima en los cultivos es la planteada por Straschnoy *et al.* (2006), respecto a la cual los autores indican que puede ser utilizada en diversas áreas de interés, e integrarse asimismo con otras fuentes de información (e.g. topografía, previsiones climáticas) a fin de mejorar las posibilidades de análisis y evaluación de los diversos fenómenos que afectan la producción agropecuaria. Según estos autores, la metodología propuesta permite caracterizar la frecuencia e intensidad de heladas u ocurrencia de estrés hídrico en la región pampeana a través de indicadores generados a partir de la utilización de información satelital y complementaria.

Otros criterios de regionalizaciones o zonificaciones de cultivos son los que se presentan, a modo de ejemplo, en los mapas siguientes. En ellos se muestran las zonas trigueras y los rendimientos potenciales medios para dos cultivares (Pro-INTA Oasis; y Baguette) en el periodo 1970-2003. Según Magrin, en esta zonificación se aprecia una influencia regional de los rendimientos dependiendo del cultivar considerado.



Mapa 13. Zonas trigueras en la región pampeana

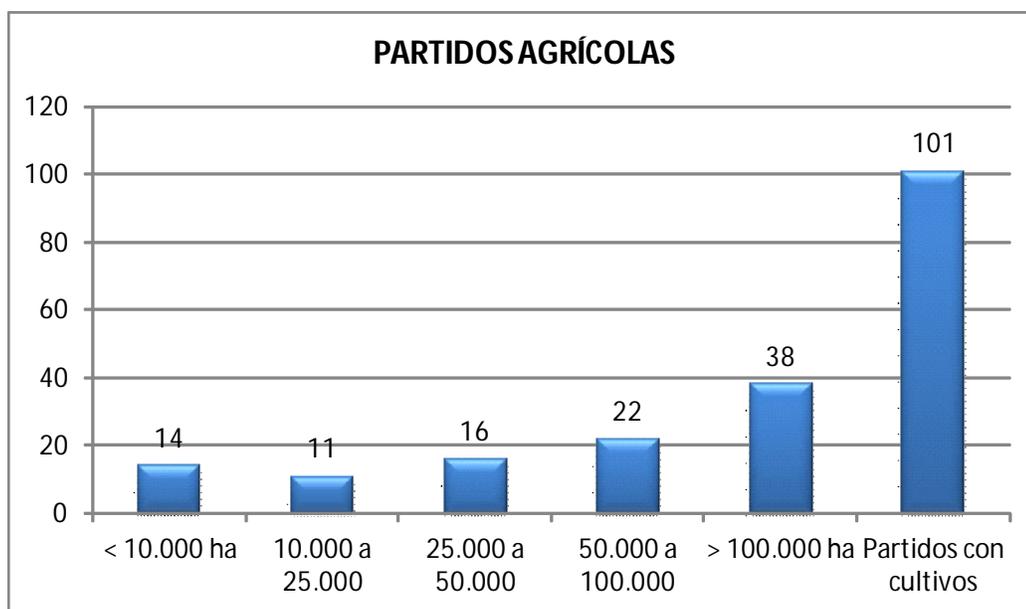


Mapa 14. Rendimientos potenciales medios para dos cultivares. Pro-INTA Oasis (izq.) y Baguette (der.). Período 1970-2003

En base al conjunto de criterios anteriores, y a los fines de proceder a la regionalización de los cultivos de interés en la Provincia, se realizaron un conjunto

de consideraciones que permitieron reducir la cantidad de partidos analizados de acuerdo a su importancia en cuanto a la presencia o no de dichos cultivos.

En tal sentido, se estableció una diferencia entre “partidos agrícolas” y “partidos no agrícolas”. El siguiente gráfico detalla la cantidad de partidos de la Provincia con registros de superficies implantadas con uno o más de los cuatro cultivos de interés, considerando las hectáreas promedio implantadas para el quinquenio comprendido entre las campañas 2006/2007 y 2010/2011, que son los datos más actuales publicados por el Sistema Integrado de Información Agropecuaria (SIIA). Como puede observarse, 101 partidos registraron superficies cultivadas. De ellos 14 exhibieron superficies inferiores a las 10.000 ha promedio anual; 11 presentaron superficies entre 10.000 ha y 25.000 ha, y del mismo modo con las restantes rangos.



**Gráfico II-1. Provincia de Buenos Aires. Partidos con cultivos agrícolas de interés en el último quinquenio**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

En consecuencia se asume, para la prosecución de los análisis de regionalización, producción y rendimientos, que los “partidos agrícolas” en la provincia de Buenos Aires se corresponden con aquellos que registran uno o varios de los cultivos de interés, sin considerar un umbral de superficie promedio mínima para el quinquenio

de referencia. Dicha selección se corresponde entonces con 101 partidos, los cuales se detallan en el listado presentado a continuación (ordenado en forma decreciente por cantidad de hectáreas cultivadas).

Partidos considerados como agrícolas según la últimas cinco campañas agrícolas			
TRES ARROYOS	AZUL	ROQUE PEREZ	MERCEDES
GENERAL VILLEGAS	GENERAL PINTO	TORNQUIST	GENERAL MADARIAGA
NECOCHEA	BALCARCE	SAN ANTONIO DE ARECO	MAR CHIQUITA
TRENQUE LAUQUEN	DAIREAUX	ALBERTI	LUJAN
RIVADAVIA	CARLOS CASARES	SAN ANDRES DE GILES	EXALTACION DE LA CRUZ
CORONEL DORREGO	GENERAL ARENALES	NAVARRO	AYACUCHO
ADOLFO ALSINA	SALTO	TRES LOMAS	CASTELLI
TANDIL	JUAREZ	LOBOS	TAPALQUE
CORONEL SUAREZ	SAAVEDRA	SAN NICOLAS	DOLORES
PEHUAJO	CHIVILCOY	SALLIQUELO	MARCOS PAZ
PERGAMINO	OLAVARRIA	CAPITAN SARMIENTO	CAMPANA
LINCOLN	GENERAL VIAMONTE	GENERAL PUEYREDON	MAGDALENA
SAN CAYETANO	FLORENTINO AMEGHINO	CARMEN DE ARECO	GENERAL LAS HERAS
LOBERIA	25 DE MAYO	GENERAL ALVEAR	PILA
GONZALEZ CHAVES	ARRECIFES	LAS FLORES	GENERAL RODRIGUEZ
9 DE JULIO	PUAN	MONTE	GENERAL PAZ
GUAMINI	SALADILLO	GENERAL BELGRANO	BRANDSEN
JUNIN	HIPOLITO YRIGOYEN	BAHIA BLANCA	GENERAL GUIDO
CORONEL PRINGLES	VILLARINO	CNEL DE MARINA L. ROSALES	GENERAL LAVALLE
CHACABUCO	GENERAL LAMADRID	LAPRIDA	LA PLATA
PATAGONES	COLON	ZARATE	SAN VICENTE
CARLOS TEJEDOR	RAMALLO	CHASCOMUS	PILAR
BOLIVAR	GENERAL ALVARADO	RAUCH	TORDILLO
ROJAS	PELLEGRINI	CANUELAS	
LEANDRO N ALEM	SAN PEDRO	MAIPU	
BRAGADO	BARADERO	SUIPACHA	

**Tabla II-5. Provincia de Buenos Aires. Partidos agrícolas**

En cuanto a la distribución de dichos partidos en zonas homogéneas, se parte en primera instancia de la suministrada por la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA), dependiente del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP). Del documento “Zonificación Agroeconómica y Sistemas Productivos Predominantes” (2006) de dicho organismo, se transcriben los siguientes fundamentos: “...en 1986, el INDEC, como tarea preparatoria del CNA88, solicitó a un grupo de técnicos del INTA un estudio de evolución y situación actual del sector agropecuario de la región pampeana. En dicho estudio, una de las primeras tareas fue zonificar el espacio agropecuario definido como Región Pampeana. Como resultado de ello, la región fue dividida en 11 Áreas Ecológicas Homogéneas: la primera (I), de características predominantemente agrícolas (núcleo agrícola); otra (II), de aptitud y uso ganadero (Cuenca del Salado); y (III) nueve subáreas más con suelos de aptitud predominantemente mixta, pero con diferentes climas y usos

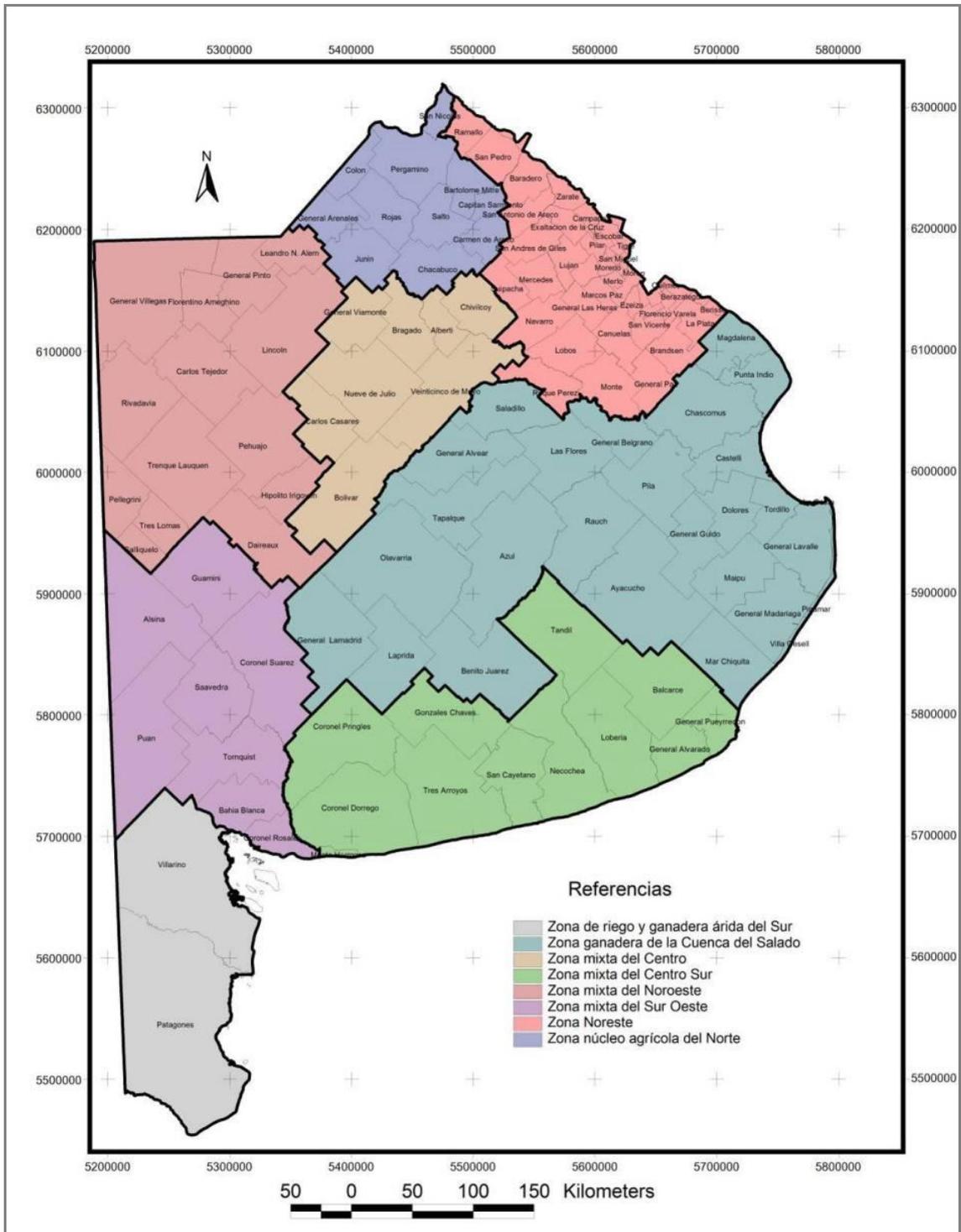
*actuales. Dicha zonificación se realizó utilizando información preexistente de seis Centros Regionales del INTA... Así pudieron fácilmente delimitarse áreas homogéneas que cruzaban límites de dos o tres provincias. En todos los casos las áreas homogéneas fueron ajustadas a los límites políticos de partidos y departamentos para facilitar la recopilación de información posterior... El resultado de esta tarea de zonificación para la Provincia de Buenos Aires se corresponde con ocho (8) Zonas Agroeconómicas Homogéneas (ZAH) en la Provincia”.*

En cada una de las ZAH, las características de la producción primaria responden a las particularidades de los cultivos involucrados y a la subregión en la cual se genere cada uno de ellos, existiendo una interrelación entre las variables edafoclimáticas que definen la región y la dinámica propia del cultivo en cuestión.

La regionalización por producción y rendimiento para cada cultivo se realizó en concordancia con el “Manual de Evaluación de la Huella Hídrica”, el cual recomienda tomar los datos de rendimiento promedio por partido (división política de nivel adecuado para las determinaciones objeto del presente trabajo) considerando las últimas cinco campañas (2006/2007 a 2010/2011) informadas por el SIIA. En tal sentido, se agrupó a los partidos de acuerdo a zonificación antes listada, totalizando los valores de producción.

Esta regionalización inicial permite inferir el aporte productivo de las diferentes subregiones, debiendo luego contrastarse las mismas con las caracterizaciones edafoclimáticas que se identifiquen en las ZAH, delimitación que permitirá obtener la huella hídrica con mayor precisión dadas las variables intervinientes en la producción primaria.

A continuación se presenta el mapa a la provincia de Buenos Aires con la zonificación descripta. En las páginas siguientes se detallan, en tablas sucesivas, las toneladas totales producidas para los cuatro cultivos principales en cada ZAH, con sus respectivos valores brutos a precios “FOB puerto argentino” en dólares estadounidenses, para las últimas cinco campañas registradas (período 2006/07 – 2010/11).

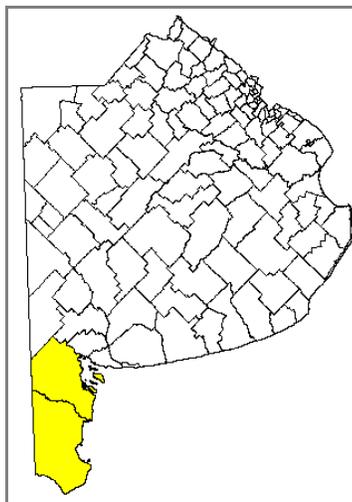


**Mapa 15. Regionalización Provincia de Buenos Aires**

### h.- ZAH 1: Zona de Riego y Ganadera Árida

Esta zona comprende dos partidos, Villarino y Patagones con una superficie total de 2.500.000 ha (según datos del IGN), con un promedio anual de 241.138 ha sembradas, correspondiendo el 91% a trigo, 7% a girasol, 2% a maíz, en tanto que la soja registra un porcentaje inferior al 1%.

La tabla siguiente contiene el detalle de producción (tn) y valor bruto promedio (VBP) anual. Así, se observa que sobre un VBP de U\$S70.952.000, el trigo, con U\$S58.180.000 aporta el 82%, mientras que el girasol lo hace con el 15%; en tanto que el maíz y la soja aportan menos del 2% cada uno.



Zona 1: Zona de riego y ganadera árida				
Campaña	Girasol		Maíz	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	37.971	12.779	6.300	1.018
2007/2008	30.578	16.146	3.190	656
2008/2009	25.102	8.191	20.350	3.426
2009/2010	8.387	3.801	4.340	845
2010/2011	21.945	13.149	5.560	1.588
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>24.797</b>	<b>10.813</b>	<b>7.948</b>	<b>1.507</b>
Campaña	Soja		Trigo	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	1.950	615	478.135	116.114
2007/2008	800	362	249.115	75.328
2008/2009	307	123	43.283	9.549
2009/2010	838	341	56.301	14.190
2010/2011	1.698	820	253.621	75.719
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>1.119</b>	<b>452</b>	<b>216.091</b>	<b>58.180</b>

Mapa 16. Producción y Valor Bruto para la ZAH 1

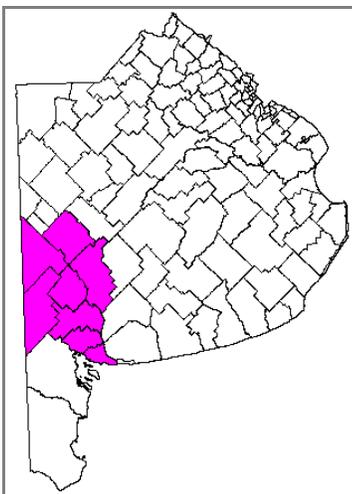
Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

### i.- ZAH 2: Zona mixta del sur oeste

Esta zona agrupa ocho partidos (Bahía Blanca, Puán, Adolfo Alsina, Coronel Suárez, Coronel Rosales, Guaminí, Saavedra y Tornquist) comprendiendo 3.404.100 ha, y registra un promedio anual de 1.025.735 ha sembradas. En el período relevado, el trigo ocupó el 46%, siendo la soja el segundo cultivo en importancia, explicando el

26% de las hectáreas totales. Al girasol le correspondió el 21%, mientras que el maíz tan sólo se siembra en el 7% de la superficie cultivada.

La tabla siguiente contiene el detalle de producción y valor bruto promedio anual. Sobre un VBP de U\$587.750.000, el trigo explicó el 37%, mientras que la soja lo hizo con el 30%, y el girasol, con 28%. Por último, el maíz tan solo contribuyó con el 5%.



Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste				
Campaña	Girasol		Maíz	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$)
2006/2007	371.150	124.911	143.170	23.124
2007/2008	520.120	274.631	187.080	38.483
2008/2009	256.464	83.683	40.600	6.835
2009/2010	228.294	103.473	101.350	19.727
2010/2011	377.150	225.983	180.630	51.592
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>350.636</b>	<b>162.536</b>	<b>130.566</b>	<b>27.952</b>
Campaña	Soja		Trigo	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$)
2006/2007	460.250	145.060	844.420	205.066
2007/2008	500.384	226.561	1.138.865	344.374
2008/2009	223.826	89.568	611.379	134.882
2009/2010	456.215	185.454	223.272	56.273
2010/2011	504.347	243.491	1.191.028	355.582
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>429.004</b>	<b>178.027</b>	<b>801.793</b>	<b>219.235</b>

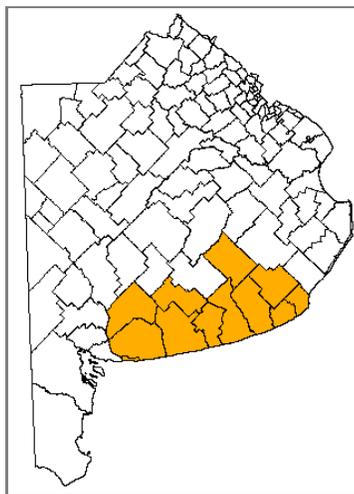
**Tabla II-6. Producción y Valor Bruto para la ZAH 2**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

### **j.- ZAH 3: Zona Mixta del Centro Sur**

En esta zona se ubican once partidos (Gonzáles Chaves, Balcarce, Coronel Dorrego, Coronel Pringles, Lobería, General Pueyrredón, General Alvarado, Necochea, San Cayetano, Tandil y Tres Arroyos) totalizando 4.487.100 ha, con 2.295.797 ha cultivadas, ocupando el trigo el 45%, la soja 28%, el girasol 21% y el maíz 4%.

El VBP totaliza en promedio U\$1.767.123.000 anuales, aportando el trigo el 47%, la soja el 28%, girasol el 21% y el maíz sólo el 4%.



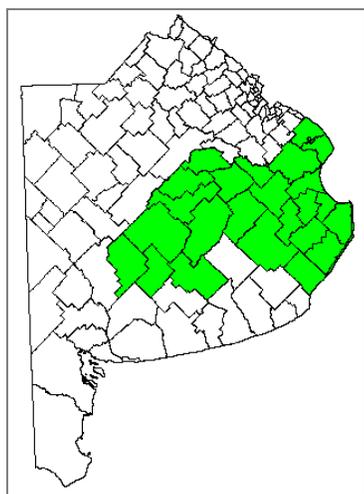
Zona 3: Zona mixta del centro Sur				
Campaña	Girasol		Maíz	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	786.035	264.541	239.050	38.610
2007/2008	1.172.425	619.057	413.700	85.099
2008/2009	579.041	188.938	144.390	24.309
2009/2010	647.388	293.424	348.550	67.844
2010/2011	884.430	529.937	490.860	140.200
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>813.864</b>	<b>379.180</b>	<b>327.310</b>	<b>71.212</b>
Campaña	Soja		Trigo	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	856.035	269.802	3.875.765	941.221
2007/2008	786.893	356.284	2.770.830	837.854
2008/2009	490.928	196.455	2.321.580	512.184
2009/2010	2.182.234	887.089	2.328.734	586.928
2010/2011	1.565.439	755.770	4.153.633	1.240.070
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>1.176.306</b>	<b>493.080</b>	<b>3.090.108</b>	<b>823.651</b>

**Tabla II-7. Producción y Valor Bruto para la ZAH 3**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

#### **k.- ZAH 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado**

Se agrupan aquí veintitrés partidos (Ayacucho, Azul, Castelli, Chascomús, Dolores, General Alvear, General Belgrano, General Guido, General La Madrid, General Lavalle, General Madariaga, Benito Juárez, Laprida, Las Flores, Magdalena, Maipú, Mar Chiquita, Olavarría, Pila, Rauch, Saladillo, Tapalqué y Tordillo). La actividad agrícola totaliza 901.462 ha sembradas, sobre una superficie total de 7.864.700 ha. La soja es el cultivo principal, ocupando el 54%, seguido por el trigo con un 23%, maíz (14%) y girasol (9%). El VBP repite porcentajes similares para los cuatro cultivos, con un total de U\$S796.331.000.



<b>Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado</b>				
<b>Campaña</b>	<b>Girasol</b>		<b>Maiz</b>	
	<b>Producción (Tn)</b>	<b>VBP (Miles de U\$S)</b>	<b>Producción (Tn)</b>	<b>VBP (Miles de U\$S)</b>
2006/2007	129.352	43.534	522.810	84.442
2007/2008	168.671	89.061	482.270	99.204
2008/2009	111.723	36.455	228.420	38.456
2009/2010	155.523	70.490	758.620	147.662
2010/2011	215.850	129.334	703.660	200.981
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>156.224</b>	<b>73.775</b>	<b>539.156</b>	<b>114.149</b>
<b>Campaña</b>	<b>Soja</b>		<b>Trigo</b>	
	<b>Producción (Tn)</b>	<b>VBP (Miles de U\$S)</b>	<b>Producción (Tn)</b>	<b>VBP (Miles de U\$S)</b>
2006/2007	870.800	274.456	877.880	213.191
2007/2008	699.702	316.806	488.660	147.763
2008/2009	391.366	156.613	580.740	128.122
2009/2010	1.584.582	644.140	507.288	127.856
2010/2011	1.606.681	775.681	862.190	257.407
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>1.030.626</b>	<b>433.539</b>	<b>663.352</b>	<b>174.868</b>

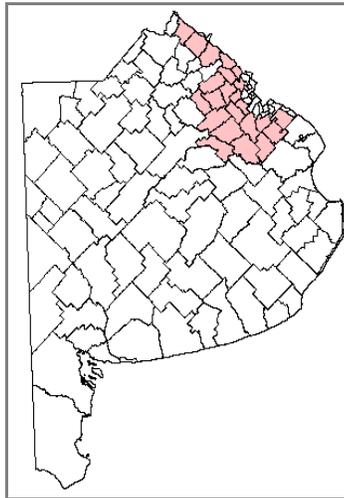
**Tabla II-8. Producción y Valor Bruto para la ZAH 4**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

### **I.- ZAH 5: Zona del Noreste**

Se ubican en ella veintitrés partidos (Baradero, Brandsen, Campana, Cañuelas, Exaltación de La Cruz, General Las Heras, General Paz, General Rodríguez, La Plata, Lobos, Luján, Marcos Paz, Mercedes, Monte, Navarro, Pilar, Ramallo, Roque Pérez, San Andrés de Giles, San Pedro, San Vicente, Suipacha y Zárate) ocupando 2.852.000 ha, y con una superficie cultivada de 671.292 ha. En el período considerado, la soja representó el 70%, en tanto que el trigo y el maíz ocuparon 14% cada uno. El girasol tiene presencia en sólo el 2% del área cultivada.

El VBP ha presentado un promedio de U\$S788.221.000, correspondiendo el 70% a la soja, 16% al maíz, 12% al trigo y 2% al girasol.



Zona 5: Zona Noreste				
Campaña	Girasol		Maíz	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	24.565	8.267	677.970	109.503
2007/2008	36.200	19.114	577.230	118.737
2008/2009	32.365	10.561	257.070	43.280
2009/2010	43.425	19.682	765.170	148.937
2010/2011	54.265	32.515	709.310	202.594
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>38.164</b>	<b>18.028</b>	<b>597.350</b>	<b>124.610</b>
Campaña	Soja		Trigo	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	1.331.710	419.724	391.980	95.191
2007/2008	1.220.448	552.586	381.390	115.326
2008/2009	516.712	206.773	232.935	51.390
2009/2010	1.734.034	704.893	345.052	86.966
2010/2011	1.844.463	890.478	350.308	104.585
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>1.329.473</b>	<b>554.891</b>	<b>340.333</b>	<b>90.692</b>

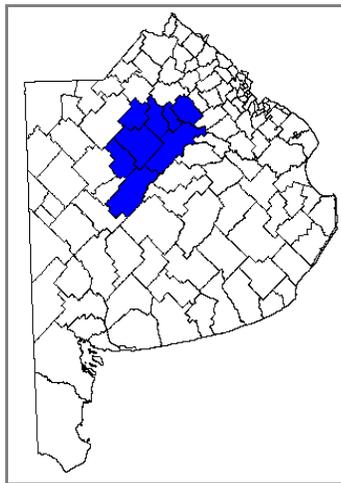
**Tabla II-9. Producción y Valor Bruto para la ZAH 5**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

#### **m.- ZAH 6: Zona Mixta del Centro**

Agrupación de ocho partidos (Bolívar, Bragado, Alberti, Chivilcoy, Carlos Casares, General Viamonte, Nueve de Julio y Veinticinco de Mayo) con una superficie total de 2.416.700 ha. Los cultivos ocupan 1.024.988 ha, siendo la soja el más importante con 69%, seguido de maíz 16%, trigo 13% y girasol 3%.

La actividad ha tenido un VBP de U\$S1.162.233.000, donde la soja representa el 66%, maíz 20%, trigo 11% y girasol 3%.



Zona 6: Zona mixta del centro				
Campaña	Girasol		Maíz	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	44.220	14.882	1.023.520	165.315
2007/2008	69.650	36.776	1.014.760	208.737
2008/2009	63.435	20.699	479.520	80.731
2009/2010	67.335	30.519	1.426.940	277.747
2010/2011	83.930	50.290	1.550.910	442.974
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>65.714</b>	<b>30.633</b>	<b>1.099.130</b>	<b>235.101</b>
Campaña	Soja		Trigo	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	1.708.014	538.326	624.400	151.634
2007/2008	1.792.630	811.655	511.660	154.718
2008/2009	926.374	370.707	397.100	87.608
2009/2010	2.696.248	1.096.038	320.660	80.818
2010/2011	2.099.766	1.013.735	593.720	177.255
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>1.844.606</b>	<b>766.092</b>	<b>489.508</b>	<b>130.407</b>

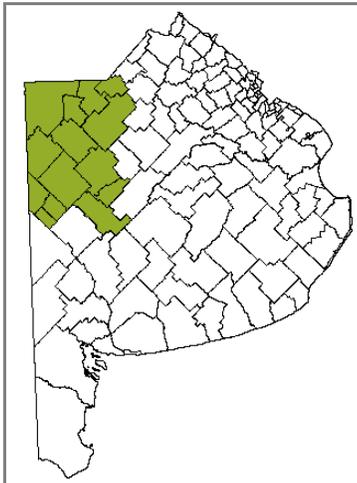
**Tabla II-10. Producción y Valor Bruto para la ZAH 6**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

#### **n.- ZAH 7: Zona Mixta del Noroeste**

Comprende catorce partidos (Carlos Tejedor, Daireaux, Florentino Ameghino, General Pinto, General Villegas, Hipólito Yrigoyen, Leandro N. Alem, Lincoln, Pehuajó, Pellegrini, Rivadavia, Salliqueló, Trenque Lauquen y Tres Lomas) con una superficie total de 4.623.800 ha. Los cultivos ocupan 2.330.883 ha, con 62% de soja, 19% de maíz, 12 % de trigo y 7% de girasol.

Con un VBP de U\$S2.428.033.000, la soja representa el 59%, el maíz 23%, trigo 11% y girasol 7%.



Zona 7: Zona mixta del Noroeste				
Campaña	Girasol		Maíz	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	261.480	88.001	1.899.070	306.730
2007/2008	378.900	200.065	2.822.180	580.526
2008/2009	329.620	107.553	1.652.480	278.209
2009/2010	341.400	154.737	3.478.700	677.113
2010/2011	555.135	332.629	3.489.170	996.583
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>373.307</b>	<b>176.597</b>	<b>2.668.320</b>	<b>567.832</b>
Campaña	Soja		Trigo	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	3.027.201	954.103	1.183.060	287.303
2007/2008	3.682.532	1.667.352	1.308.940	395.802
2008/2009	2.269.709	908.270	935.240	206.331
2009/2010	4.423.443	1.798.152	463.010	116.696
2010/2011	3.682.530	1.777.869	1.025.424	306.141
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>3.417.083</b>	<b>1.421.149</b>	<b>983.135</b>	<b>262.455</b>

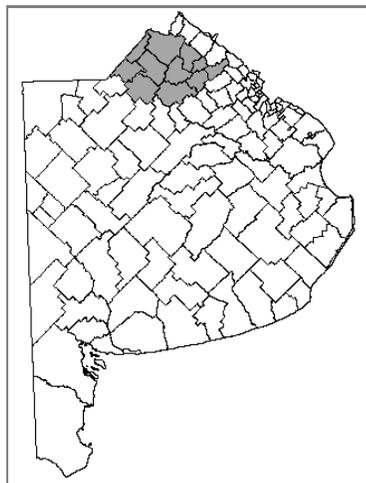
**Tabla II-11. Producción y Valor Bruto para la ZAH 7**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

#### **o.- ZAH 8: Zona núcleo agrícola del norte**

Con doce partidos (Arrecifes, Capitán Sarmiento, Carmen de Areco, Chacabuco, Colón, General Arenales, Junín, Pergamino, Rojas, Salto, San Antonio de Areco y San Nicolás) que ocupan 1.842.900 ha, los cultivos totalizan 1.367.581 ha, siendo la soja el mayoritario, con 76% de la superficie dedicada, seguido por el trigo con 12%, maíz con 11% y girasol con 1%.

La producción tiene un valor bruto de U\$S1.856.936.000, correspondiéndole a la soja el 76%, 14% al maíz, 9% al trigo y 1% al girasol.



Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte				
Campaña	Girasol		Maiz	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	21.535	7.248	1.583.360	255.738
2007/2008	31.145	16.445	1.576.850	324.360
2008/2009	22.065	7.200	800.570	134.783
2009/2010	27.500	12.464	1.245.180	242.369
2010/2011	27.610	16.544	1.096.680	313.236
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>25.971</b>	<b>11.980</b>	<b>1.260.528</b>	<b>254.097</b>
Campaña	Soja		Trigo	
	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)	Producción (Tn)	VBP (Miles de U\$S)
2006/2007	3.397.315	1.070.754	744.060	180.693
2007/2008	3.562.412	1.612.965	821.020	248.263
2008/2009	1.924.171	769.996	388.550	85.721
2009/2010	3.977.355	1.616.815	532.345	134.171
2010/2011	4.160.300	2.008.529	758.282	226.386
<b>Prom. 5 a.</b>	<b>3.404.311</b>	<b>1.415.812</b>	<b>648.851</b>	<b>175.047</b>

**Tabla II-12. Producción y Valor Bruto para la ZAH 8**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

### p.- Resumen de indicadores de producción y valor bruto por ZAH

La siguiente tabla contiene un resumen de las superficies sembradas por ZAH para cada cultivo y los totales correspondientes, como así también los valores relativos.

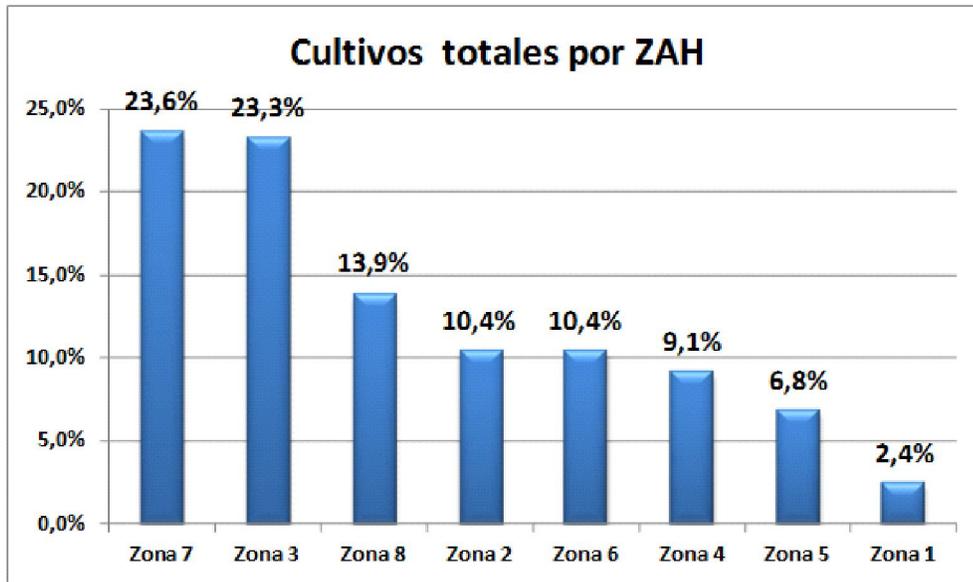
Superficies cultivadas por ZAH y total provincial. Promedio última cinco campañas										
ZAH	Girasol (ha)	%	Maiz (ha)	%	Soja (ha)	%	Trigo (ha)	%	Total (ha)	%
Zona 1	15.920	1,5%	4.800	0,4%	1.008	0%	219.410	8%	241.138	2,4%
Zona 2	219.964	21%	71.460	6%	264.693	5%	469.618	18%	1.025.735	10,4%
Zona 3	521.644	49%	90.060	8%	648.459	13%	1.035.634	40%	2.295.797	23,3%
Zona 4	80.850	8%	121.970	11%	488.438	10%	210.204	8%	901.462	9,1%
Zona 5	15.610	1%	94.920	8%	469.469	9%	91.294	4%	671.292	6,8%
Zona 6	26.860	3%	164.403	14%	702.709	14%	131.017	5%	1.024.988	10,4%
Zona 7	168.204	16%	434.443	38%	1.445.972	29%	282.264	11%	2.330.883	23,6%
Zona 8	10.510	1%	151.780	13%	1.045.121	21%	160.170	6%	1.367.581	13,9%
<b>Total</b>	<b>1.059.562</b>	<b>100%</b>	<b>1.133.836</b>	<b>100%</b>	<b>5.065.868</b>	<b>100%</b>	<b>2.599.610</b>	<b>100%</b>	<b>9.858.876</b>	<b>100%</b>

**Tabla II-13. Superficie de cada cultivo por ZAH y total provincial**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

Las ZAH 7 y 3 presentan las mayores superficies sembradas, representando cada una de ellas algo más del 23% del total provincial. La tercera zona en el orden (Zona 8) totaliza 14% de los cultivos, mientras que a las ZAH 2 y 6 les corresponde el 10%. Las ZAH 4 y 5 tienen una importancia relativa del 9% y 7% respectivamente, en

tanto que a la Zona 1 le corresponde solo el 2% de los cultivos sembrados. El siguiente gráfico representa dichas cantidades relativas.



**Gráfico II-2. Importancia relativa de las ZAH por superficies totales sembradas**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

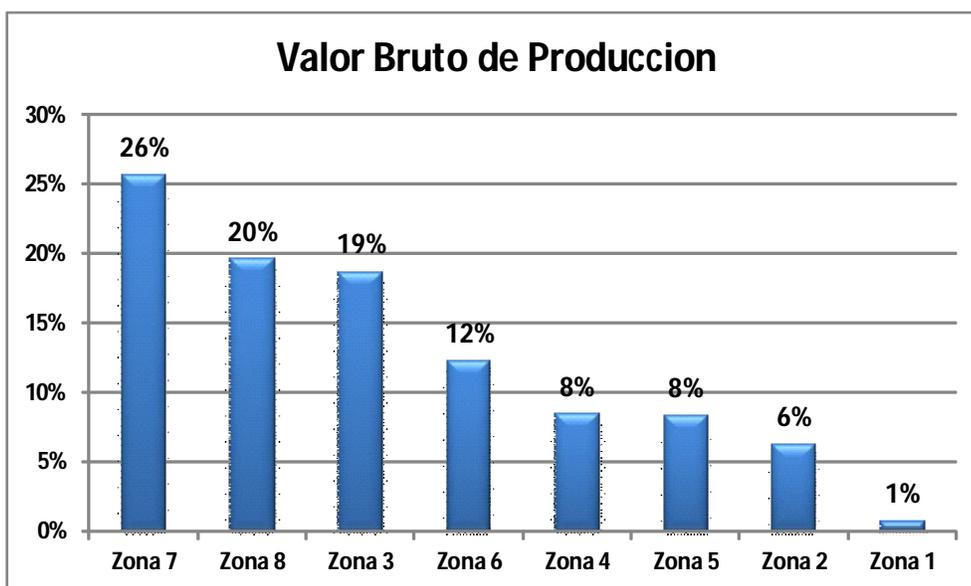
En cuanto a la importancia relativa entre las superficies sembradas con cada uno de los cuatro cultivos, la soja explica el 51% de las hectáreas cultivadas, seguida por el trigo con 26%, maíz (12%) y girasol (11%).

La siguiente tabla contiene el detalle de Valor Bruto de Producción (VBP) por ZAH y el total provincial. Las ZAH 7, 8 y 3, en ese orden, totalizan los mayores aportes, seguidos de la Zona 6. La Zona 1 presenta un VBP de poca importancia relativa, tal como se observa en el gráfico presentado a continuación de la tabla, y como los cultivos en secano no tienen relevancia relativa, no fue considerada a los fines del presente trabajo.

Zona Agroeconómica Homogénea	Valor Bruto de Producción (U\$S)
Zona 1: Zona de riego y ganadera árida	70.951.749
Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste	587.750.365
Zona 3: Zona mixta del centro Sur	1.767.123.483
Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado	796.330.644
Zona 5: Zona Noreste	788.220.570
Zona 6: Zona mixta del centro	1.162.233.000
Zona 7: Zona mixta del Noroeste	2.428.033.224
Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte	1.856.935.608
<b>Total</b>	<b>9.457.578.642</b>

**Tabla II-14. Valor Bruto de Producción promedio anual por ZAH y total provincial**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA



**Gráfico II-3. Importancia relativa del VBP por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

#### q.- Análisis por cultivo

En este apartado se realiza un análisis para cada uno de los cuatro cultivos objeto del presente estudio, considerando los valores promedio anuales de las últimas cinco campañas para las superficies sembradas, la producción lograda y el valor bruto correspondiente, y diferenciando por ZAH.

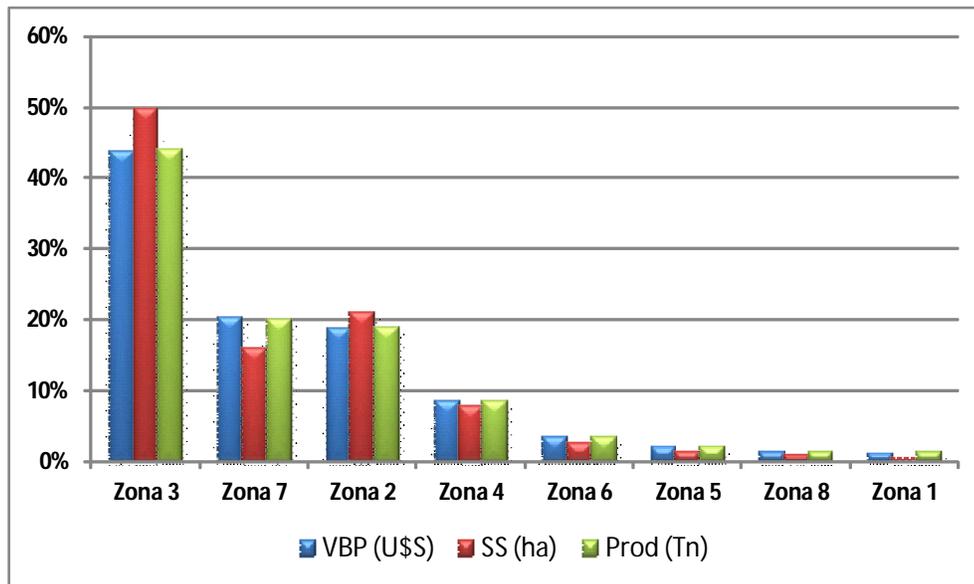
### 1) Girasol

La siguiente tabla detalla los indicadores para el girasol. El gráfico posterior detalla los porcentajes de VBP, superficie sembrada (SS) y producción por ZAH.

GIRASOL			
ZAH	Superficie sembrada (ha)	Producción (Tn)	VBP (U\$S)
Zona 1: Zona de riego y ganadera árida	15.920	24.797	10.813.189
Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste	219.964	350.636	162.536.040
Zona 3: Zona mixta del centro Sur	521.644	813.864	379.179.629
Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado	80.850	156.224	73.774.564
Zona 5: Zona Noreste	15.610	38.164	18.027.782
Zona 6: Zona mixta del centro	26.860	65.714	30.633.154
Zona 7: Zona mixta del Noroeste	168.204	373.307	176.597.072
Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte	10.510	25.971	11.980.006
<b>Total</b>	<b>1.059.562</b>	<b>1.848.676</b>	<b>863.541.436</b>

**Tabla II-15. Girasol. Superficies sembradas, producción y VBP por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA



**Gráfico II-4. Girasol. Importancia relativa del VBP, superficie sembrada y producción por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

Se observa que, sobre un VBP total promedio anual de U\$S863.541.436, la Zona 3 representa el 44%, seguida por las ZAH 7 y 2, con 20% y 19% respectivamente. El resto de las ZAH son de menor importancia relativa para este cultivo, evidenciado en

el hecho de que las tres ZAH inicialmente mencionadas totalizan el 83% de VBP de girasol en la provincia.

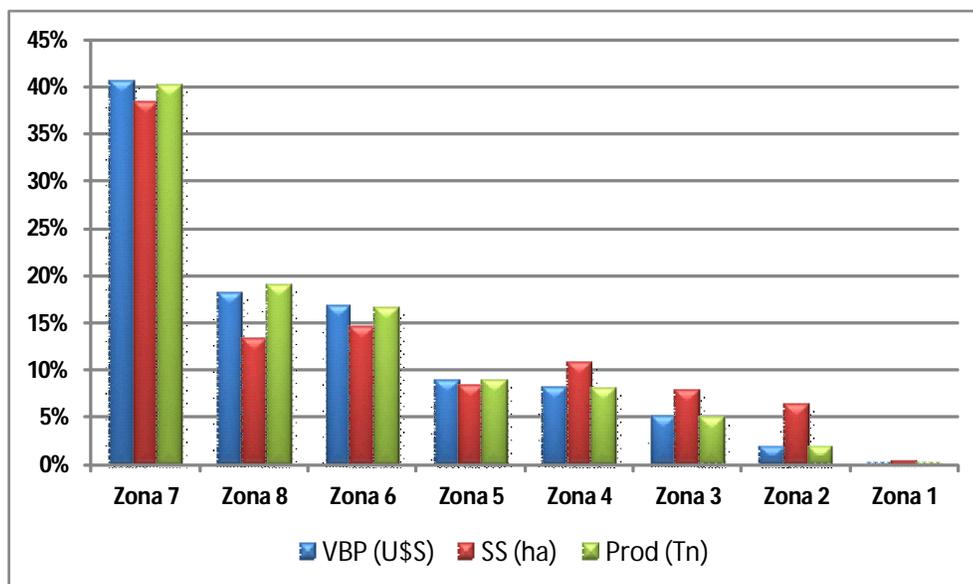
## 2) Maíz

Los detalles del cultivo de maíz se observan en la siguiente tabla. Con un VBP promedio anual de U\$S1.396.460.527, la Zona 7 aporta aproximadamente el 41%, siguiéndola en importancia las ZAH 8 y 6. El gráfico posterior a la tabla indica los valores relativos para las tres variables en todas las ZAH.

MAÍZ			
ZAH	Superficie sembrada (ha)	Producción (Tn)	VBP (U\$S)
Zona 1: Zona de riego y ganadera árida	4.800	7.948	1.506.530
Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste	71.460	130.566	27.952.274
Zona 3: Zona mixta del centro Sur	90.060	327.310	71.212.453
Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado	121.970	539.156	114.148.939
Zona 5: Zona Noreste	94.920	597.350	124.610.213
Zona 6: Zona mixta del centro	164.403	1.099.130	235.100.904
Zona 7: Zona mixta del Noroeste	434.443	2.668.320	567.832.220
Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte	151.780	1.260.528	254.096.995
<b>Total</b>	<b>1.133.836</b>	<b>6.630.308</b>	<b>1.396.460.527</b>

**Tabla II-16. Maíz. Superficies sembradas, producción y VBP por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA



**Gráfico II-5. Maíz. Importancia relativa del VBP, superficie sembrada y producción por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

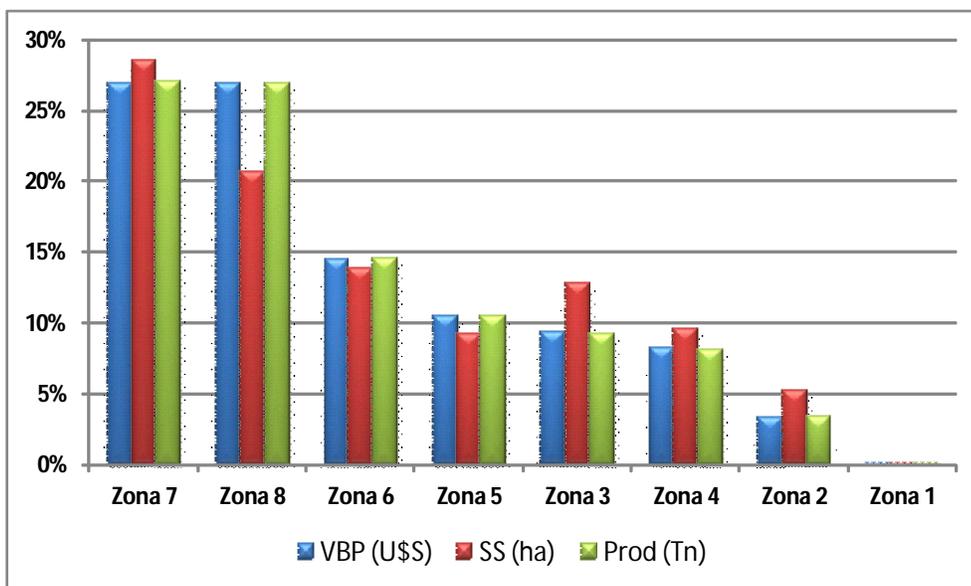
### 3) Soja

El cultivo de soja ha reportado un VBP promedio por año superior a los U\$S5.000 millones, aportando las ZAH 7 y 8 prácticamente la misma proporción (27% cada una), tal como se observa en el gráfico posterior. La Zona 6 es la tercera en importancia (15%), mientras que las ZAH 3, 4 y 5 aportan en un rango bastante aproximado entre sí (8% a 11%).

SOJA			
ZAH	Superficie sembrada (ha)	Producción (Tn)	VBP (U\$S)
Zona 1: Zona de riego y ganadera árida	1.008	1.119	452.017
Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste	264.693	429.004	178.026.740
Zona 3: Zona mixta del centro Sur	648.459	1.176.306	493.080.001
Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado	488.438	1.030.626	433.539.312
Zona 5: Zona Noreste	469.469	1.329.473	554.890.941
Zona 6: Zona mixta del centro	702.709	1.844.606	766.092.270
Zona 7: Zona mixta del Noroeste	1.445.972	3.417.083	1.421.149.119
Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte	1.045.121	3.404.311	1.415.811.740
<b>Total</b>	<b>5.065.868</b>	<b>12.632.528</b>	<b>5.263.042.141</b>

**Tabla II-17. Soja. Superficies sembradas, producción y VBP por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA



**Gráfico II-6. Soja. Importancia relativa del VBP, superficie sembrada y producción por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

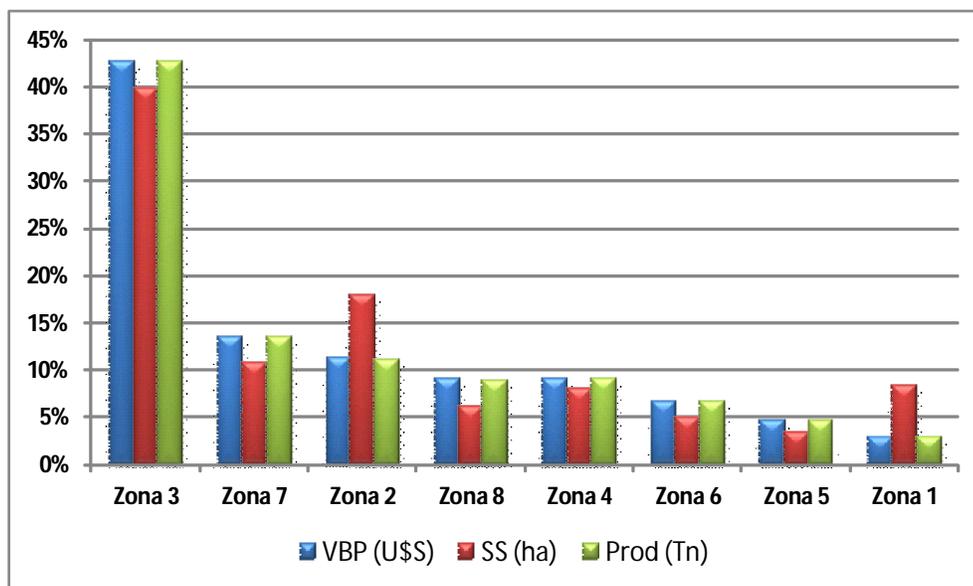
#### 4) Trigo

El cultivo de trigo totaliza anualmente un VBP cercano a los U\$S2.000 millones, correspondiéndole a la Zona 3 el 43% de dicho valor. Las ZAH 7 y 2 aportan respectivamente el 14% y el 11%. En un rango similar entre sí se encuentran las ZAH 4, 6 y 8 (7% a 9%). El gráfico presentado a continuación de la tabla detalla los valores relativos para todas las ZAH.

TRIGO			
ZAH	Superficie sembrada (ha)	Producción (Tn)	VBP (U\$S)
Zona 1: Zona de riego y ganadera árida	219.410	216.091	58.180.014
Zona 2: Zona mixta del Sur Oeste	469.618	801.793	219.235.311
Zona 3: Zona mixta del centro Sur	1.035.634	3.090.108	823.651.399
Zona 4: Zona ganadera de la Cuenca del Salado	210.204	663.352	174.867.829
Zona 5: Zona Noreste	91.294	340.333	90.691.633
Zona 6: Zona mixta del centro	131.017	489.508	130.406.672
Zona 7: Zona mixta del Noroeste	282.264	983.135	262.454.814
Zona 8: Zona núcleo agrícola del Norte	160.170	648.851	175.046.866
<b>Total</b>	<b>2.599.610</b>	<b>7.233.171</b>	<b>1.934.534.538</b>

**Tabla II-18. Trigo. Superficies sembradas, producción y VBP por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

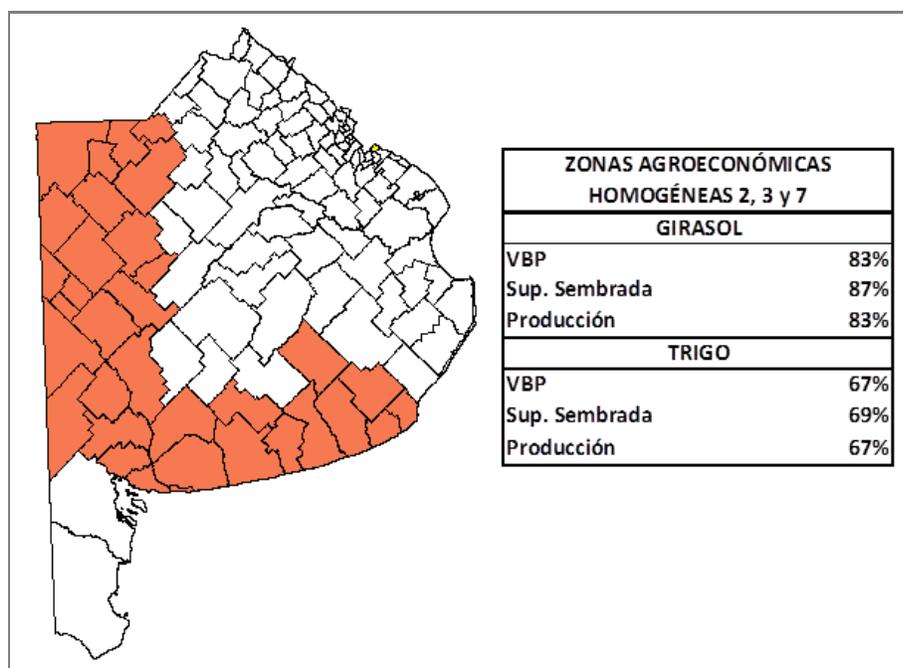


**Gráfico II-7. Trigo. Importancia relativa del VBP, superficie sembrada y producción por ZAH**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

### r.- Valor bruto de producción y superficies sembradas. Resumen

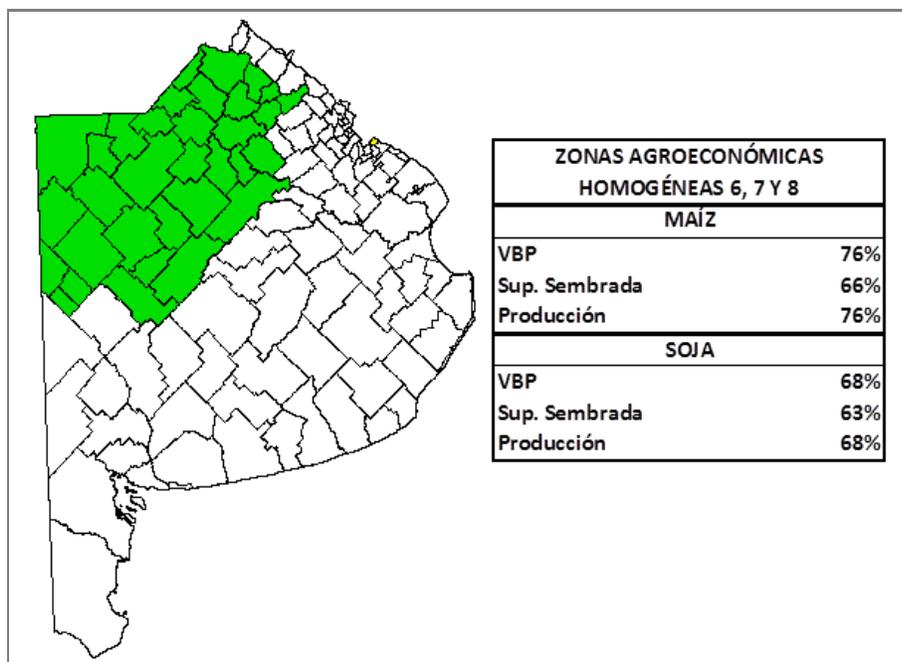
A modo de resumen de los VBP, superficies sembradas y producciones, los siguientes mapas indican, para cada cultivo, las tres ZAH aportantes principales en la provincia. Puede observarse que, en el caso de girasol y trigo, las ZAH son coincidentes, aportando 83% y 67% respectivamente sobre el VBP total de cada uno de ellos.



**Mapa 17. Girasol y Trigo. Ubicación e importancia relativa de las tres principales ZAH según VBP, superficie sembrada y producción**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

Una situación parcialmente similar se registra para maíz y soja, pues también para ellos son tres las ZAH principales en cuanto a su aporte (ZAH 6, 7 y 8), totalizando 76% en el caso del maíz, mientras que para soja la incidencia es del 68% sobre el VBP total provincial.



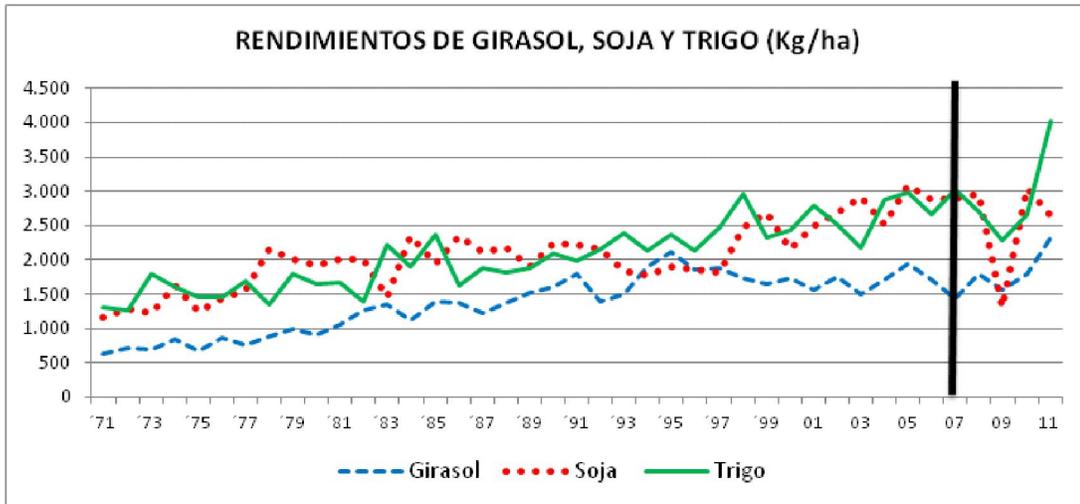
**Mapa 18. Maíz y Soja. Ubicación e importancia relativa de las tres principales ZAH según VBP, superficie sembrada y producción**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

En cuanto al rendimiento de los cultivos, este depende de un conjunto de factores ambientales, así como también de las particularidades del propio cultivo, del manejo y de su dotación genética.

En lo referente a factores del ambiente, el rendimiento es función de las propiedades del suelo (textura, estructura, fertilidad, posición en el paisaje, etc.); y del clima, entre los cuales las lluvias, las temperaturas y la radiación solar (específicamente la radiación fotosintéticamente activa) tienen la mayor incidencia.

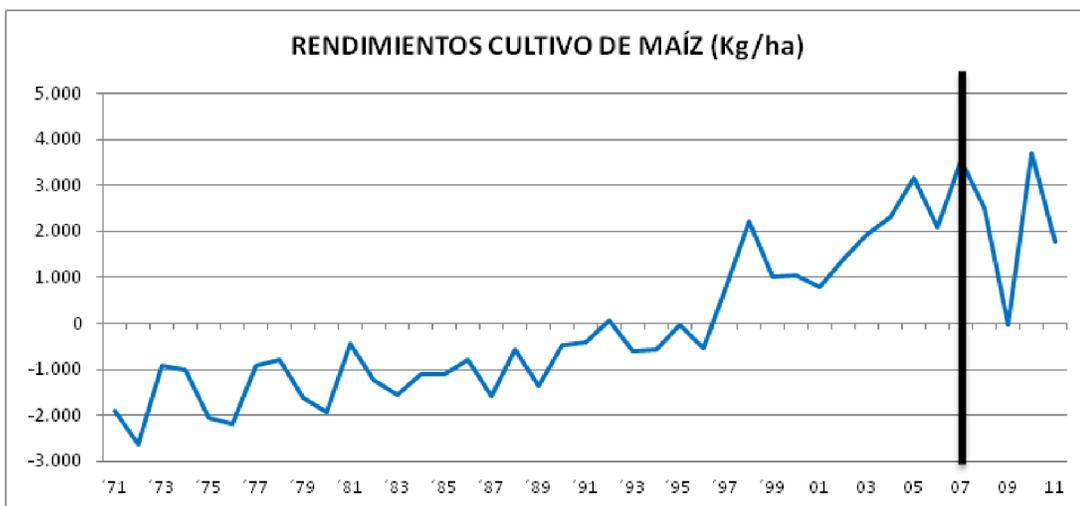
Los datos proporcionados por el SIIA para la provincia de Buenos Aires incluyen rendimiento promedio anual por cultivo y por partido. Dichos rendimientos surgen de las estimaciones de los especialistas, con el consiguiente componente subjetivo. No obstante, dado el carácter regional del presente estudio, estas estimaciones de referencia resultan de gran utilidad a fin de contrastar los resultados de las modelaciones realizadas con dichas estadísticas. El siguiente gráfico detalla el rendimiento promedio anual provincial para girasol, soja y trigo en el período 1970-2011.



**Gráfico II-8. Girasol, Soja y Trigo. Rendimiento promedio provincial para el período 1970 - 2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

Tal como se observa en el gráfico precedente, se ha registrado un crecimiento sostenido en los rendimientos de estos tres cultivos en el período de los últimos cuarenta años. Además, puede observarse la importante incidencia negativa que tuvo la sequía acaecida en la campaña 08/09, especialmente sobre soja y trigo, aunque no tan acusado para el girasol. En el caso del maíz, que se presenta en forma separada en el siguiente gráfico (debido a la diferente magnitud de sus rendimientos por hectáreas respecto al resto de cultivos) se observan las mismas condiciones de aumento sostenido y el fuerte efecto de la sequía en los rendimientos obtenidos en el verano de 2009.



**Gráfico II-9. Maíz. Rendimiento promedio provincial para el período 1970 - 2011**

INFORME FINAL

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

Cabe consignar que, en el caso del maíz, los valores anuales graficados corresponden a las diferencias entre el rendimiento de referencia de cada campaña respecto a la media del período. Como se observa, hasta la campaña 1995/96 los rendimientos se muestran debajo de la media del período, mientras que el lapso posterior los exhibe sensiblemente por encima de la misma, indicando un salto tecnológico del cultivo. El resto de cultivos muestra tendencia similar, aunque el posible salto tecnológico en el caso del girasol se observa tres años antes. Este salto tecnológico se asocia no sólo con medidas de manejo más eficientes, sino también con la incorporación de especies transgénicas.

En ambos gráficos se ha indicado, mediante una barra vertical continua de color negro, el período de las últimas cinco campañas indicadas en el Manual de Cálculo de la Huella Hídrica como rendimientos (posibles) de referencia a utilizar para el cálculo a realizar. Dicho período incluye el fuerte efecto negativo de la sequía, considerada como un evento poco usual en períodos de una o dos décadas, lo cual afecta sensiblemente el promedio anual. Este inconveniente estadístico puede atenuarse mediante procedimientos tales como tomar un período de referencia mayor (la última década aparece como plausible, dada la manifiesta tendencia estable de los rendimientos en dicho plazo); o bien realizar una ponderación para cada año de la campaña asignando probabilidad de ocurrencia del factor climático lluvia, y otorgando un bajo valor de probabilidad al año de la sequía, con la consiguiente pérdida de influencia de los rendimientos de dicha campaña en los valores promedio.

No obstante el hecho de que estas decisiones metodológicas se efectuarán con el desarrollo de las modelaciones requeridas para el estudio, en este apartado se utilizarán los rendimientos promedio de las últimas diez campañas, a los efectos de caracterizar mediante esta variable a las ZAH e indicar las diferencias significativas que existan entre ellas para cada uno de los cultivos, incluyendo en los cálculos (promedios) el efecto de la sequía ocurrida en la campaña 2008/09.

En consecuencia, para cada cultivo de interés se realizó el contraste de diferencias entre medias muestrales ( $\mu$ ) (con diferente número de observaciones por ZAH, dado que los partidos que las integran no coinciden en cantidad) y varianzas desconocidas. El objetivo era observar si la diferencia entre las medias de dos ZAH

es significativa o no; esto es, comprobar si se podía aceptar que  $\mu_1 = \mu_2$ , o por el contrario, rechazar la hipótesis nula, y aceptar que  $\mu_1 < \mu_2$ .

Debido a que las desviaciones (varianzas) de las poblaciones son desconocidas y sólo se conocen las desviaciones muestrales, se utilizó la distribución *t* de Student para realizar el contraste estadístico, considerando que un nivel de significancia igual o inferior a 20% permitiría rechazar la hipótesis nula, apoyando la hipótesis de que las dos ZAH en comparación exhiben rendimientos estadísticamente diferentes.

#### 1) Cultivos de girasol

Las diferencias de rendimientos resultaron significativas entre las ZAH, excepto para las ZAH 7 y 8.

Entre las ZAH 1 y 4 el nivel de significancia fue del 20%; entre las ZAH 5 y 7 fue del 15%, en tanto que entre las ZAH 1 y 3, y entre las ZAH 6 y 7, la significancia resultó ser del 10%. En el resto de los casos, la significancia fue del 5%, tal como se observa en detalle en la siguiente tabla.

GIRASOL - Diferencias entre medias									
Zona	Media	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8
Z 1	1.834		5%	10%	20%	5%	5%	5%	5%
Z 2	1.485	5%		5%	5%	5%	5%	5%	5%
Z 3	1.654	10%	5%		5%	5%	5%	5%	5%
Z 4	1.942	20%	5%	5%		5%	5%	5%	5%
Z 5	2.229	5%	5%	5%	5%		5%	15%	5%
Z 6	2.361	5%	5%	5%	5%	5%		10%	NS
Z 7	2.280	5%	5%	5%	5%	15%	10%		5%
Z 8	2.380	5%	5%	5%	5%	5%	NS	5%	

Tabla II-19. Girasol. Diferencias de medias por ZAH

Fuente: elaboración propia con datos del SIA

#### 2) Cultivos de maíz

Las diferencias de rendimientos resultaron significativas entre las ZAH, excepto entre las ZAH 1 y 3 y entre las ZAH 5 y 7.

La diferencia de rendimientos resultó significativa entre las ZAH 1 y 3 con un nivel de significancia del 10%. En el resto de los casos, la significancia fue del 5%. El detalle completo se observa en la siguiente tabla.

Maíz - Diferencias entre medias									
Zona	Media	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8
Z 1	5.451		5%	NS	10%	5%	5%	5%	5%
Z 2	3.977	5%		5%	5%	5%	5%	5%	5%
Z 3	5.405	NS	5%		5%	5%	5%	5%	5%
Z 4	5.842	10%	5%	5%		5%	5%	5%	5%
Z 5	7.039	5%	5%	5%	5%		5%	NS	5%
Z 6	7.620	5%	5%	5%	5%	5%		5%	5%
Z 7	7.075	5%	5%	5%	5%	NS	5%		5%
Z 8	8.087	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	

**Tabla II-20. Maíz. Diferencias de medias por ZAH para el cultivo de maíz**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

### 3) Cultivos de soja

No se encontraron diferencias de rendimiento estadísticamente significativas entre las ZAH 1, 2 y 3, y entre las ZAH 5 y 6.

En el resto de los casos, la diferencia entre rendimientos fue significativa con un nivel de significancia del 5%, tal como se observa en detalle en la siguiente tabla.

Soja - Diferencias entre medias									
Zona	Media	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8
Z 1	1.658		NS	NS	5%	5%	5%	5%	5%
Z 2	1.643	NS		NS	5%	5%	5%	5%	5%
Z 3	1.728	NS	NS		5%	5%	5%	5%	5%
Z 4	2.185	5%	5%	5%		5%	5%	5%	5%
Z 5	2.855	5%	5%	5%	5%		NS	5%	5%
Z 6	2.779	5%	5%	5%	5%	NS		5%	5%
Z 7	2.569	5%	5%	5%	5%	5%	5%		5%
Z 8	3.229	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	

**Tabla II-21. Soja. Diferencias de medias por ZAH**

Fuente: Elaboración propia con datos del SIIA

### 4) Cultivos de trigo

Las diferencias de rendimientos resultaron significativas entre las ZAH, excepto entre las ZAH 3, 4 y 5 y entre las ZAH 6 y 8.

La diferencia de rendimientos resultó significativa con un nivel de significancia del 10% entre las ZAH 1 y 2; 3 y 6; 3 y 7; 4 y 6; 5 y 7. En el resto de los casos, la significancia fue del 5%. El detalle completo se observa en la siguiente tabla.

Trigo - Diferencias entre medias									
Zona	Media	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8
Z 1	1.559		10%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Z 2	1.781	10%		5%	5%	5%	5%	5%	5%
Z 3	3.208	5%	5%		NS	NS	10%	10%	5%
Z 4	3.234	5%	5%	NS		NS	10%	5%	5%
Z 5	3.179	5%	5%	NS	NS		5%	10%	5%
Z 6	3.415	5%	5%	10%	10%	5%		5%	NS
Z 7	3.017	5%	5%	10%	5%	10%	5%		5%
Z 8	3.443	5%	5%	5%	5%	5%	NS	5%	

Tabla II-22. Trigo. Diferencias de medias por ZAH

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

#### 5) Resumen de las pruebas de significancia de diferencia de rendimientos

Como se detalló anteriormente, no se registraron diferencias de rendimientos estadísticamente significativas entre algunas ZAH para los cultivos de interés. Sin embargo, tal como se detalla en la siguiente tabla, se encontraron diferencias significativas en al menos dos cultivos entre las ZAH 1 y 3 y entre las ZAH 6 y 8. La comparación entre el resto de ZAH arroja diferencias entre tres de los cultivos, y en la mayoría de los casos, para los cuatro cultivos.

De lo anterior se sigue que la regionalización en base a la utilización de las ZAH listadas anteriormente resulta apropiada para el presente estudio, pues existe evidencia estadística de diferencias significativas de rendimientos entre todas ellas en al menos dos cultivos.

Cultivos con diferencias de medias de rendimiento								
Zona	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7	Z 8
Z 1		3	2	4	4	4	4	4
Z 2	3		3	4	4	4	4	4
Z 3	2	3		3	3	4	4	4
Z 4	4	4	3		3	4	4	4
Z 5	4	4	3	3		3	3	4
Z 6	4	4	4	4	3		4	2
Z 7	4	4	4	4	3	4		4
Z 8	4	4	4	4	4	2	4	

**Tabla II-23. Cantidad de cultivos entre ZAH que muestran diferencias significativas de rendimientos**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

### **III. ENFOQUE METODOLÓGICO PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA**

#### **1º. - Revisión de Metodologías para el estudio de la Huella Hídrica**

Si bien el concepto de Huella Hídrica es relativamente nuevo, numerosos trabajos en distintas partes del mundo dan cuenta del análisis de la problemática del agua como recurso vital, escaso y, desde esta perspectiva, de la importancia del cálculo para racionalizar su uso.

En el estudio “La Huella Hídrica de España” (Moratilla et al., 2010), se plantea el cálculo de la huella hídrica del país, definida como el volumen de agua utilizada directa e indirectamente para la elaboración de productos y servicios consumidos por sus habitantes según lo establecido en Hoekstra y Hung (2002). Para ello, los autores se valen del concepto de Agua Virtual, al que definen como el volumen de agua necesaria para elaborar un producto o facilitar un servicio (Allan, 1998; citado por Moratilla et al., 2012, p. 21).

En el mencionado estudio, se toma en consideración el agua virtual de todos los sectores productivos de las diferentes regiones del país y, a su vez, se estudian y computan los flujos de agua virtual que salen y entran del país a consecuencia de las relaciones comerciales con el exterior. Para llegar al Agua Virtual primero se contabiliza el Agua Directa (AD), tomada como la cantidad de agua requerida únicamente en el proceso productivo, y luego el Agua Indirecta, la cual tiene en cuenta la entrada de varias materias primas, productos intermedios y una serie de servicios en las distintas etapas del proceso productivo. Ambas constituyen el agua total empleada en el producto final, lo que se conoce como Agua Virtual (AV).

En el cálculo del AV de una determinada región, los autores consideran los valores de Agua Virtual correspondientes a los productos consumidos en ella, tanto si éstos se han producido dentro o fuera del territorio considerado. Por lo tanto, el concepto de Agua Virtual utilizado para el cálculo de la Huella Hídrica corresponde al Agua Virtual de consumo interior de la región. Así, el cálculo del Agua Virtual de consumo interior de una región es estimado a partir del Agua Virtual asociada a la producción de dicha región, el Agua Virtual procedente de los productos que importa y el Agua

Virtual de los productos que exporta, productos que, aunque se han generado en la región, son consumidos fuera de ella, por lo que este agua se ha de restar a los otros dos tipos de agua citados. De este modo, definen la Huella Hídrica Total de un país como el volumen de agua necesario para la producción de los bienes y servicios consumidos por los habitantes de dicho país.

Finalmente, adoptan el enfoque de indicador Huella Hídrica como la expresión de agua consumida internamente en una región en relación al número de sus habitantes, definiendo luego a la Huella Hídrica interna de una región como el volumen de agua anual de los recursos hídricos regionales utilizados para producir los bienes y servicios que dicha región consume. Asimismo, los autores definen la Huella Hídrica externa de una región como el volumen anual de recursos hídricos utilizados en otras regiones para producir bienes y servicios consumidos por los habitantes de dicha región. De este modo, puede conocerse el indicador (valor) del Agua Virtual total detrayendo, del valor y el volumen total de Agua Virtual importada desde otras regiones, el volumen total de Agua Virtual exportada a otras regiones.

Al momento de realizar los cálculos, los autores utilizan una Tabla Input-Output (TIO), que es una matriz que muestra las interrelaciones entre los sectores económicos de una determinada región, referida a un período de tiempo (generalmente un año) definiendo como Modelo Input-Output a la serie de cálculos matriciales que se realizan a partir de los datos de entrada -una TIO y los datos de agua requeridos- para estimar la Huella Hídrica de la región que represente la TIO utilizada. Utilizan un modelo general, que integra tanto el Modelo Input-Output como el resto de cálculos necesarios para estimar la Huella Hídrica total de una determinada región. Debido a que estos cálculos refieren a los datos de entrada de agua necesarios en el Modelo Input-Output, el modelo general finalmente utilizado es el proceso de cálculo que engloba y conecta a todas las metodologías que intervienen en la estimación de la Huella Hídrica.

Según el procedimiento establecido para calcular la Huella Hídrica de España, primero se estima el Agua Directa de cada uno de los sectores productivos, cuyo volumen asociado es el agua requerida por cada uno de ellos para llevar a cabo todos los procesos de elaboración de los sus productos finales. Este valor se estima

de forma independiente para los sectores: “Agricultura”, “Ganadería”, “Silvicultura”, “Industria y servicios” (varios sectores integrados), “Consumo humano” y “Turismo”, diferenciando entre los distintos tipos de agua según su procedencia. Para el cómputo total del Agua Directa de cada sector se considera únicamente el Agua verde y el Agua azul, excluyendo el volumen de Agua gris del cálculo total por considerar que el Agua gris es un tipo de agua con un marcado carácter teórico, que introduce una gran cantidad de agua en el modelo y que, al integrarla en el cómputo total, produce una distorsión significativa en los resultados. Aun así, los autores incluyen los datos referentes al volumen de Agua gris, ya que permite calcular el valor per cápita de Agua Virtual gris de Consumo Interior, que se concibe como un indicador de contaminación.

Para cada uno de los sectores mencionados se utiliza una metodología específica en la estimación de su Agua Directa. En lo que respecta al sector agrícola, el Agua Directa es el volumen de agua utilizada para elaborar los productos agrícolas que se generan en España, considerando tanto los productos que se consumen dentro de las fronteras españolas como los productos destinados a consumirse en otros países (productos que se exportan). La estimación de este volumen de agua se realiza en función del agua asociada a cada cultivo y su producción, para los distintos municipios españoles. Para realizar el cálculo del Agua Indirecta los autores tienen en cuenta la venta de los productos (materias primas) entre sectores, que son necesarias para obtener los productos finales. Así, cada sector ofrecerá sus productos elaborados con el Agua Directa utilizada y con las materias primas (y su Agua Indirecta asociada) que han incorporado a su producción, dando como resultado el Agua Virtual asociada a cada uno de sus productos. La justificación de la metodología Input-Output se basa en que estas tablas contabilizan todas estas transacciones intersectoriales de productos y servicios en unidades monetarias. Para la determinación del Agua Indirecta de los productos, primero homogeneizan los sectores de las TIO. Una vez obtenida una estructura e información comparable, se transforman los datos económicos en datos volumétricos de agua.

La metodología que adoptan finalmente se basa en el procedimiento establecido para modelar los flujos de agua interindustriales. Ésta metodología asimila el flujo físico de productos en términos económicos (directamente o a través de coeficientes

correctores) al flujo de agua entre los diferentes sectores. De este modo, se logra determinar el volumen total del Agua Virtual utilizada en cada sector a partir del Agua Directa utilizada por todos los sectores con los que se relaciona. El primer paso del Modelo Input-Output para conocer el Agua Indirecta es determinar el coeficiente de uso directo de agua de una actividad económica. Considerando que un sector económico por lo general requiere entradas intermedias en su proceso de producción, se introduce un coeficiente de uso total de agua por unidad. Si a este agua se le resta el agua correspondiente a los productos que se exportan a otras regiones y países, y se le suma lo que se importa para poder satisfacer la demanda de los consumidores de la región, se obtiene la Huella Hídrica de una región, calculada como la cantidad de agua que consume en sus condiciones culturales y de desarrollo actuales. La agregación de los resultados por sectores conduce a la Huella Hídrica por sectores, la cual una vez adicionada el Agua Directa para consumo humano totaliza la Huella Hídrica global, expresada en  $m^3/año$ . Finalmente, al dividir por el número de habitantes de la región estudiada, obtienen la Huella Hídrica per cápita, expresada en  $m^3/hab/año$ .

Otro estudio, también realizado en España y previo a la publicación del Manual de Huella Hídrica publicado por Hoekstra, introduce como conceptos innovadores a considerar para el cálculo del metabolismo hídrico (MH) y de los flujos de agua virtual. En una aplicación al sector frutihortícola de Andalucía (Madrid y Velázquez, 2008), partiendo de una visión más social que económica y tomando el recurso hídrico como un bien ecosocial, los autores establecen que la consideración de los flujos de agua en los análisis económicos y sociales se puede hacer estudiando el MH de una determinada economía, mediante la aplicación de los conceptos de Agua Virtual y Huella Hídrica. En este sentido, definen al MH como “aquel proceso que recoge los flujos de agua de una sociedad-economía en dos dimensiones: (1) flujos internos: referido a los flujos que tienen lugar entre una economía y el sistema hídrico del territorio donde ésta se aloja y; (2) flujos con el exterior: entendiendo por éstos a los flujos desde (importación) y hacia (exportación) otros sistemas hídricos”. De este modo, los flujos internos serían la extracción doméstica, el vapor de agua y los vertidos producidos por los procesos de elaboración de los bienes y servicios consumidos dentro del territorio. Por su lado, los flujos al exterior vienen determinados por las importaciones y exportaciones de Agua Virtual (AV).

Según explican las autoras, el concepto de MH posee tres características principales. La primera es la inclusión de la territorialidad y la temporalidad, importante porque la disponibilidad del recurso depende de parámetros físicos que varían en función de la localización y la estacionalidad (tales como el clima o el tipo de suelo). A su vez, por el impacto derivado de la explotación del recurso, la territorialidad y la temporalidad dependen también del lugar y el momento en el que el éste se consume. En segundo lugar, sostienen que el estudio del MH debe ayudar no sólo a integrar los aspectos territoriales en la gestión del agua, sino también a integrar el agua en los análisis territoriales. Para ello, proponen introducir las variables territoriales mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Por último, se menciona la interconexión entre los flujos físicos y monetarios, referida al hecho de que a la vez que se producen flujos de agua en un sentido, se producen flujos monetarios en sentido contrario. Por este motivo, sostienen, es importante incorporar ambas dimensiones al estudio del MH, y relacionar ambos tipos de flujo.

La metodología que utilizan se basa en la estimación de los flujos físicos de agua incorporando el indicador de AV en el marco del MH, el cual se propone como el más adecuado para el análisis de los flujos de agua de una economía completa (o de una parte de ella). En este trabajo, la metodología se aplica a un único sector productivo, el sector de frutas y hortalizas en Andalucía (España), para el año 2004. Para su realización, se requirieron datos referidos a parámetros físicos (clima y suelo), superficie de cultivo, producción de cultivo y exportación e importación por cultivo, en tanto que los requerimientos de agua del cultivo, rendimientos del cultivo y requerimiento específico de agua, surgen a partir de estimaciones. Todos estos parámetros son utilizados para determinar el AV.

Por otro lado, y en el marco del “Estudio Nacional de Huella Hídrica Colombia, Sector Agrícola” (Arévalo et al., 2011) se aplicó -para el cálculo de la Huella Hídrica- la metodología estándar propuesta por la *Water Footprint Network* según el Manual de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2009). En el documento se hace énfasis en el análisis individual de cada huella (verde, azul y gris), intentando determinar información sobre su impacto asociado a variables económicas, sociales y ambientales de los sectores productivos y consumidores de la zona estudiada, apoyado en el carácter geográfico del indicador.

En tanto, el estudio “Manejo del riego en frutales en condiciones de restricción hídrica”, editado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) de Chile, ha sido una referencia bibliográfica del presente estudio, y forma parte de una serie de investigaciones realizadas por dicho país en relación al cálculo de la huella hídrica de productos sensibles dentro del conjunto de sus exportaciones.

En nuestro país el concepto de Huella Hídrica aún no se ha difundido profusamente, estando limitado a reductos académicos específicos. Sin embargo, recientemente se ha publicado el trabajo “Cuantificación y valoración económica del uso consuntivo del agua en los principales productos de las Cadenas Lácteas de La Pampa y San Luis” (Manazza, 2012). La temática es abordada en el mencionado estudio principalmente debido a que, al tratarse de una región semiárida, se hace imprescindible evaluar la eficiencia del recurso hídrico y su flujo en la cadena agroalimentaria. En el trabajo se estudian y determinan las huellas hídricas de la leche UHT (*Ultra High Temperature*) y el queso, principales productos de la cadena, comparando los resultados de sistemas de tambo promedio con tres sistemas con diverso grado de intensificación, escala y tecnología de riego. Su ecoeficiencia hídrica en términos de producción de leche es comparada utilizando la metodología Evaluación del Ciclo de Vida (*LCA*; ó *Life Cycle Assesment*, por sus siglas en inglés), sobre la base de indicadores de agua virtual.

Según afirma el autor, la Evaluación del Ciclo de Vida es hoy una de las metodologías más utilizadas para la evaluación de impacto ambiental, homologada internacionalmente por las normas ISO 14040-14043, y es considerada una herramienta consistente para determinar la ecoeficiencia de los sistemas. Se la define como “un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando materiales, la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final” (SETACs, 1993 citado por Iglesias, 2004; p. 8; citado por Manazza, 2012, p. 20).

El autor reconoce el valor de la huella hídrica como indicador de uso del recurso, pero critica la ausencia de factores de caracterización con vistas a la determinación de impactos ambientales. En el trabajo se sugiere redefinir la unidad de medida volumétrica de la huella hídrica a partir de un índice que involucre factores de impacto. Debe mencionarse, sin embargo, que de este modo el indicador de huella hídrica perdería su funcionalidad original, ya que su cálculo requiere de información de volúmenes reales de consumo definidos en tiempo y espacio.

Los resultados alcanzados en el estudio demuestran una relación negativa entre la productividad por hectárea y el AV, lo cual hace imprescindible contemplar -en las estimaciones de huella hídrica- las heterogeneidades entre sistemas. Realizado el estudio, el principal contribuyente a la huella hídrica de los productos lácteos analizados resultó ser la base alimentaria animal, especialmente la suplementación. A pesar de ello, en ambos productos el menor valor del indicador de Agua Virtual se presentó en las variables de abastecimiento de sistemas intensivos, lo cual permitiría inferir que la productividad del sistema compensa la intensidad de uso del recurso. En cuanto a la valoración económica de la ecoeficiencia hídrica, se afirma que mejora la competitividad relativa en costos de los sistemas intensivos ecoeficientes, incluidos aquellos que utilizan riego permanentemente.

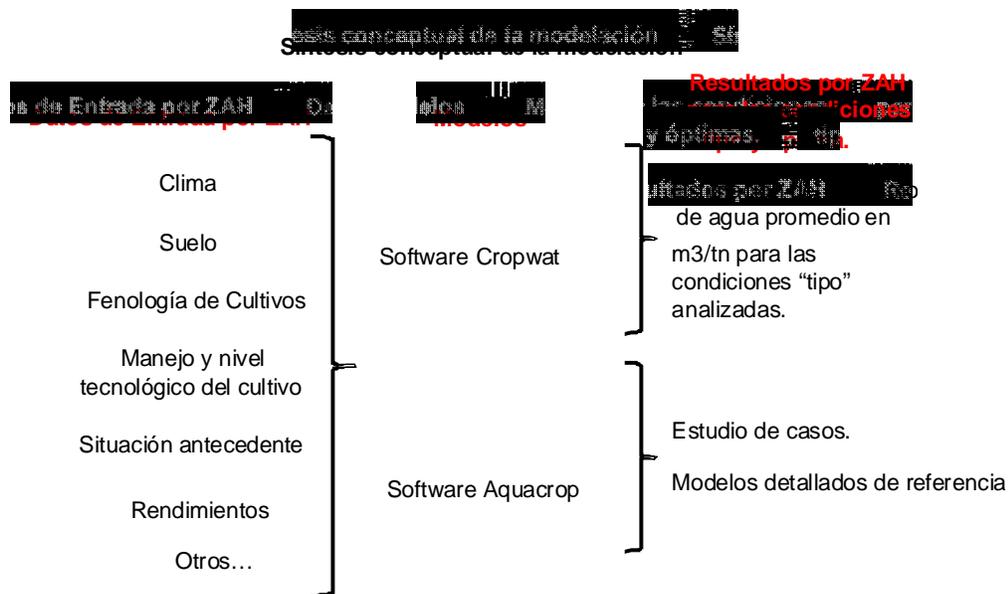
Como puede observarse de los desarrollos relevados, existen diferentes modos de abordar un estudio de huella hídrica según los alcances y objetivos puntuales de cada investigación. Lo cierto es que el concepto es nuevo, y requiere de permanentes ajustes y correcciones que van ajustándose con la práctica por lo que, en la medida en que se vayan realizando investigaciones, se irán perfeccionando los métodos de calcular la huella hídrica, lo cual a su vez incrementará su utilidad para la toma de decisiones a futuro en relación a un recurso estratégico y vital como lo es el agua.

2º. - **Enfoque utilizado para el cálculo de la Huella Hídrica**  
**s.- Consideraciones Generales**

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó la metodología propuesta en el manual *“The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard”* (Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen, 2011). En relación a los programas de software utilizados para los cálculos, se decidió trabajar con dos abordajes metodológicos. Para el cálculo en todo el territorio provincial, se tomó como base el software CropWat, centrándose hacia un uso extensivo para toda la provincia y en base a datos secundarios y estimaciones expertas en lo referente a rendimientos para cada zona por serie de suelo.

Por otra parte, se trabajó con un segundo abordaje metodológico tomando como base el software AquaCrop, orientándose a estudios de caso sobre información primaria provista por la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) en base a ensayos propios, lo cual permitió modelar con más detalle y establecer un chequeo respecto del primer abordaje metodológico.

Seguidamente se presenta un esquema conceptual que sintetiza el trabajo propuesto.



**Tabla III-1. Esquema conceptual del estudio**

## t.-Metodología tomando como base el CropWat

### 1) Introducción

El Manual de Evaluación de la huella hídrica indica que *“el agua verde se refiere a la precipitación sobre la tierra que no provoque escorrentía o se sume a las aguas subterráneas, pero que se mantenga en el suelo o su superficie o la vegetación. Finalmente, esta es la parte de la precipitación que se evaporará o que transpiran las plantas”*.

Consecuentemente con la definición anterior, la huella hídrica verde del proceso de crecimiento de un cultivo ( $HH_{VERDE}$ ,  $m^3/ton$ ) se calcula como el requerimiento de agua verde por parte del cultivo ( $RAC_{VERDE}$ ,  $m^3/ha$ ) dividido por su rendimiento ( $Y$ ,  $Tn/ha$ ). Es decir:

$$HH_{VERDE} = \frac{RAC_{VERDE}}{Y}$$

La fórmula representa el cociente entre un volumen de agua utilizada por el cultivo, y la masa producida.

Para estimar el uso (demanda) de agua de los cultivos analizados, se utilizó el software desarrollado por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas (AGL) de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) denominado CropWat 8.0. El creador de la versión original es el Dr. Martín Smith, del Servicio de Manejo y Desarrollo de Recursos Hídricos de la AGL. Este software permitió estimar el requerimiento de agua de los cultivos que, en conjunto con el rendimiento máximo esperado, determinan la huella hídrica verde.

Las capacidades generales del programa prestan servicios para calcular:

- La evapotranspiración de referencia.
- Las necesidades de agua de los cultivos.
- Las necesidades de riego de los cultivos.
- Las necesidades de riego de un sistema de riego multicultivo.

También se utiliza para preparar alternativas para la programación del riego bajo diferentes hipótesis de manejo y de condiciones ambientales; y estimar la producción bajo condiciones de secano y el efecto de las sequías.

El modelo CropWat ofrece dos opciones diferentes para calcular la evapotranspiración: la del "requisito de agua de los cultivos" (suponiendo que las condiciones son óptimas) y la "opción de programación de riego" (incluyendo la posibilidad de especificar la oferta de riego en tiempo real).

Por lo tanto, para los cuatro (4) cultivos de interés (maíz, soja de primera, trigo y girasol) se calcularon las huellas hídricas verdes para los diferentes polígonos (superficies de territorio) de la Provincia de Buenos Aires, que surgen del entrecruzamiento de las siguientes capas temáticas representadas en el Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) utilizado:

- Mapa de estaciones meteorológicas que permiten calcular la Evapotranspiración de Referencia ( $ET_0$ ).
- Mapa de estaciones meteorológicas con registro de precipitaciones que permitieron estimar lluvias correspondientes a años húmedos, normales y secos.
- Mapa de series de suelos con aptitud agrícola.
- Mapa de cultivos por Zonas Agroeconómicas Homogéneas (ZAH), en base a la zonificación suministrada por la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA), dependiente del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP).

Los resultados obtenidos con CropWat y el respectivo cálculo de huella hídrica verde realizados se corresponden con 380 polígonos distribuidos entre las ZAH 2 a la 8, según el detalle presentado en la siguiente tabla.

ZAH	Cantidad de Polígonos	Superficie representada (ha)
Zona 2	55	1.424.004
Zona 3	68	2.527.151
Zona 4	70	1.528.459
Zona 5	30	1.013.352
Zona 6	37	1.238.793
Zona 7	81	2.853.034
Zona 8	39	1.075.250
<b>Polígonos Totales</b>	<b>380</b>	<b>11.660.044</b>

**Tabla III-2. Polígonos con Huella Hídrica Verde calculada presentados**

La superficie total representada correspondiente a los polígonos detallados en la tabla anterior es de 11.660.044 ha. Para dar un orden de magnitud a esta cifra, es válido señalar que, en las últimas campañas realizadas, se sembraron en la provincia, con los cuatro cultivos de interés, aproximadamente 10.000.000 ha.

Como ya se mencionó, CropWat 8.0 es un programa de computación que puede ser utilizado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos en base a datos climáticos y de cultivo. Estos datos fueron ingresados directamente en CropWat, mencionándose que para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), el programa requiere de datos relativos a evapotranspiración ( $ET_o$ ), datos de precipitación (utilizados por CropWat para calcular la precipitación efectiva), datos de fenología de cultivos, y datos de suelo.

El programa CropWat se organiza en diferentes módulos, algunos de los cuales son de entrada de datos, en tanto otros son de cálculo (ver al respecto Manual de CropWat). Los módulos de entrada de datos de CropWat son los siguientes:

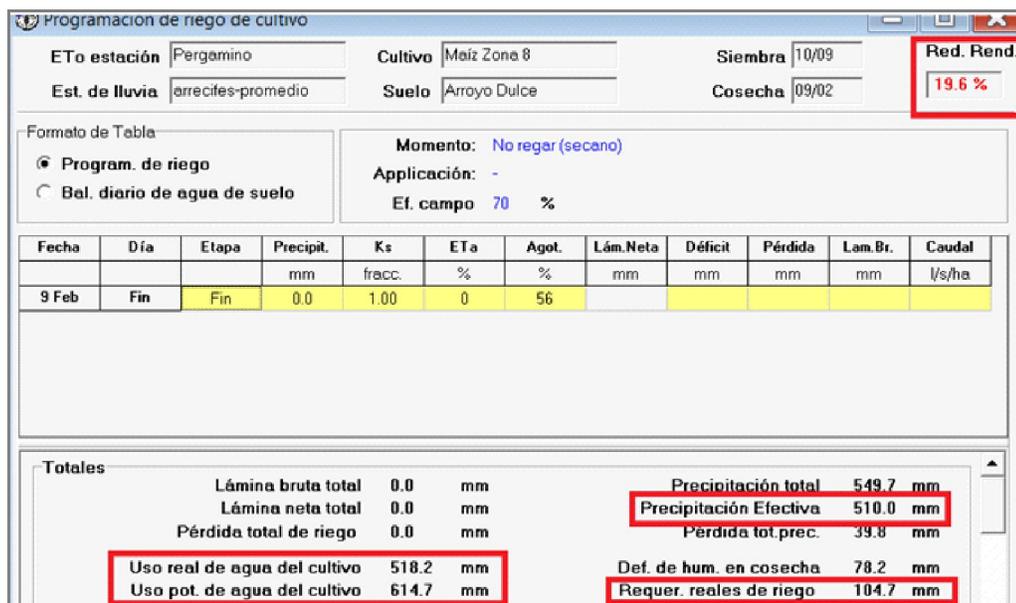
1. Módulo Clima/ $ET_o$ : utilizado para ingresar datos medidos de  $ET_o$  o datos climáticos que permitan el cálculo de la  $ET_o$  Penman-Monteith. A los efectos del presente estudio, se ingresó información en base mensual.
2. Módulo Precipitación: utilizado para ingresar datos de precipitación y para el cálculo de la precipitación efectiva. Los datos de precipitación total observada se ingresaron sobre una base mensual. Respecto al concepto de precipitación efectiva, el manual de CropWat 8.0 expresa que *“desde el punto de vista de producción agrícola, la precipitación efectiva se refiere a la parte de la precipitación que puede*

*ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la Escorrentía Superficial (ES) y de la Percolación Profunda (PP). Cuánta agua se infiltra en realidad en el suelo depende del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo".* Para el cálculo de la precipitación efectiva se seleccionó, en el menú de la aplicación, la ecuación desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (*USDA Soil Conservation Service*, ó USCS, por sus siglas en inglés).

3. Módulo Cultivo: utilizado para ingresar datos del cultivo y de la fecha de siembra. Se requirieron los siguientes datos en forma obligatoria: fecha de siembra, Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), etapas de crecimiento, profundidad radicular, fracción de agotamiento crítico, y factor de respuesta del rendimiento. La fecha de cosecha es calculada automáticamente por la aplicación en base a la fecha de siembra y a la duración total del ciclo de cultivo de acuerdo con la información ingresada sobre la duración de las fases del cultivo. Para el estudio se ingresaron fechas de siembra, coeficientes  $K_c$  y etapas de crecimiento para cada cultivo, diferenciado por ZAH, utilizándose para el resto de los parámetros los valores que el programa contiene por defecto. La altura del cultivo -variable de carácter opcional- no fue incluida.

4. Módulo Suelo: utilizado para ingresar datos de suelo. Los parámetros ingresados para cada serie de suelo fueron: agua disponible total (mm/m), tasa máxima de infiltración diaria (mm/día), profundidad radicular efectiva, agotamiento inicial de humedad del suelo (como % del agua disponible total). El programa calcula automáticamente la humedad de suelo inicialmente disponible a partir del porcentaje de agotamiento inicial.

El módulo de cálculo de CropWat utilizado fue el de "Programación" para el cálculo de los calendarios de riego, el cual permite obtener datos de usos potencial y real de agua por el cultivo, precipitación efectiva, requerimiento de riego o déficit de humedad, y disminución de rendimiento por estrés hídrico, expresado como un porcentaje de la producción máxima alcanzable en la zona en condiciones óptimas, calculada con referencia a toda la temporada de cultivo, tal como se indica en la siguiente ilustración.



**Ilustración III-1. Módulo de programación utilizado en el CropWat**

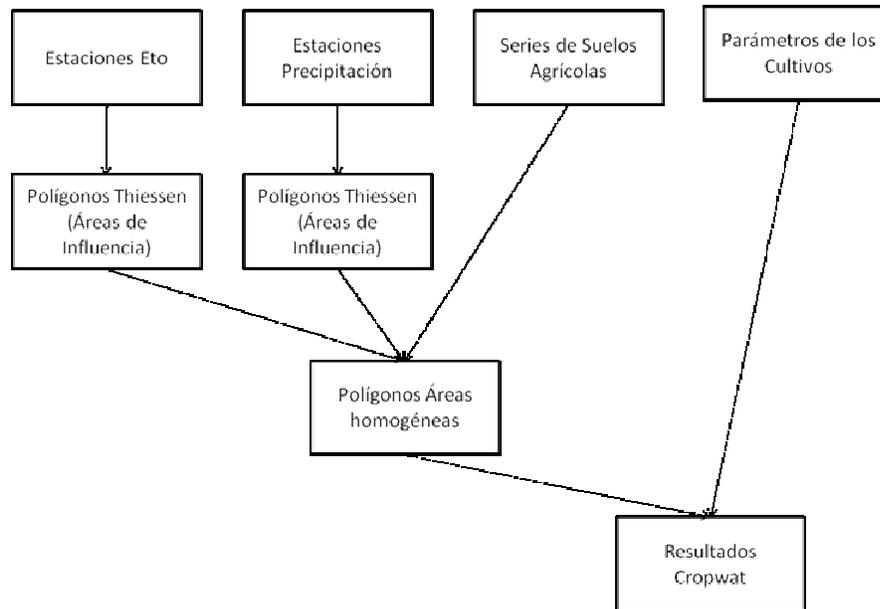
Mayores detalles sobre las características del software pueden consultarse en el manual para el uso práctico del programa CropWat, disponible en línea (FAO, 2010b).

2) Generación de información en base GIS para datos de entrada del Cropwat

El programa Cropwat fue diseñado para estimar los requerimientos de agua de un cultivo para una determinada condición de evapotranspiración, precipitación y suelo en un sitio específico. A fin de realizar el modelado espacial se confeccionaron los correspondientes mapas, cuya superposición determina zonas homogéneas, y que a los efectos del presente trabajo se denominan Polígonos de Áreas Homogéneas para  $E_{t_0}$ , precipitación y suelos.

Posteriormente, se consideran como datos de entrada del programa los parámetros de los cultivos, determinados para cada ZAH.

A continuación se esquematiza conceptualmente el procedimiento llevado a cabo para la obtención de los resultados en relación al origen espacial de los datos.



**Ilustración III-2. Pasos metodológicos seguidos para la determinación de polígonos homogéneos**

i) Estaciones de Precipitación

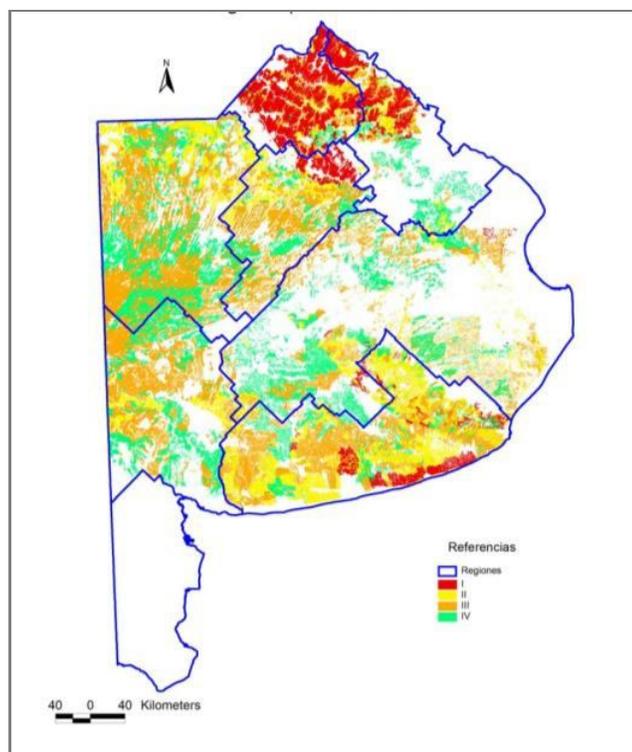
Para la modelación de precipitaciones se dispone de 137 estaciones con datos de precipitación en la provincia de Buenos Aires, a partir de las estaciones meteorológicas relevadas.

ii) Series de Suelos Agrícolas

A partir de las unidades cartográficas de suelos del INTA, en escala 1:50.000, se seleccionaron aquellas con capacidad de uso agrícolas: Clases I, II, III y IV.

Cada unidad cartográfica de suelo está compuesta por una o más series de suelos. En el presente estudio, y para la asignación de los datos requeridos por el programa CropWat, se seleccionó la serie que ocupa más del 50% de cada unidad cartográfica.

Por otra parte, se determinó la superficie ocupada por cada serie en el total de la provincia y se describieron las más representativas. De este modo quedaron seleccionadas 61 series, que ocupan cada una más de 75.000 ha en toda la provincia.



**Mapa 19. Series de suelos agrícolas según capacidad de uso**

Para obtener los polígonos homogéneos se trabajó mediante la superposición de los mapas previos, donde quedaron determinados los polígonos a los cuales se le asignaron los datos de salida del programa CropWat. Los datos de cultivo fueron determinados para cada una de las zonas agroeconómicas homogéneas (ZAH) en que fue dividida la provincia.

Los datos de salida del software CropWat son, entre otros, el uso actual de agua del cultivo, (para años húmedos, normales y secos), y el porcentaje de disminución del rendimiento (para años húmedos, normales y secos), a partir de lo cual, usando el rendimiento máximo de los cultivos, se calculan las huellas hídricas.

Para obtener el valor de requerimiento de agua de los cultivos, y de acuerdo a lo detallado anteriormente, se generaron los archivos correspondientes a los módulos de entrada de datos en correspondencia con las diferentes clases de mapas GIS ya mencionadas, para los cuatro cultivos de interés, en tanto que para el módulo de resultados se utilizó la opción de “secano” (no habiéndose encontrado diferencias apreciables al utilizarse la opción de programación de “riego”).

Cabe agregar finalmente que el uso actual de agua por parte del cultivo puede ser mayor que la precipitación efectiva durante el período de siembra a cosecha, dada la humedad disponible en el perfil del suelo en el momento de la siembra. Posteriormente se presentan los principales resultados obtenidos y los análisis estadísticos correspondientes.

3) Otros aspectos considerados en la modelación utilizando el CropWat.

1º) Aspectos de Clima.

### **Introducción**

El procedimiento para calcular la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración del cultivo a partir de datos meteorológicos y coeficientes del cultivo (procedimiento presentado por primera vez en la publicación de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO N° 24 “Las Necesidades de Agua de los Cultivos”), se denomina “Enfoque de  $K_c E_t_o$ ”, donde los efectos del clima sobre los requerimientos de agua del cultivo vienen reflejados en la evapotranspiración ( $E_{T_o}$ ) del cultivo de referencia, y el efecto del cultivo se incorpora en el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ).

En mayo de 1990, la FAO organizó una consulta de expertos e investigadores, con la colaboración de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y la Organización Meteorológica Mundial, con el objetivo de revisar las metodologías de FAO para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos y producir lineamientos para la revisión y actualización de los procedimientos utilizados.

El panel de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como el nuevo procedimiento estándar para la evapotranspiración de referencia e indicó los procedimientos para calcular los distintos parámetros incluidos en el método. Se desarrolló entonces el Método de FAO Penman-Monteith, definiendo el cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia de la superficie de  $70 \text{ s } m^{-1}$ ; y un albedo de 0,23 m, lo que asemeja a la evaporación que ocurre en una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y bien regada. El nuevo método supera las limitaciones del método anterior (Método de Penman) utilizado por la FAO, y produce valores que son más consistentes con datos reales de uso del agua de los cultivos obtenidos mundialmente. Además, se han desarrollado procedimientos y recomendaciones para la utilización del método de la FAO Penman-Monteith con

datos climáticos limitados, eliminando por lo tanto la necesidad de utilizar otros métodos para la estimación de la evapotranspiración, y creando de este modo una base consistente y transparente para la estandarización universal de los cálculos de los requerimientos de agua de los cultivos (Estudio FAO “Riego y drenaje”, nº 56).

En el enfoque del “ $K_c E_t_o$ ”, las diferencias en la vegetación del cultivo y en la resistencia aerodinámica con respecto al cultivo de referencia están consideradas en el coeficiente del cultivo. El coeficiente  $K_c$  sirve entonces como una integración de todas las diferencias físicas y fisiológicas entre los cultivos.

### **El proceso de evapotranspiración**

Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por transpiración del cultivo

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante. El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

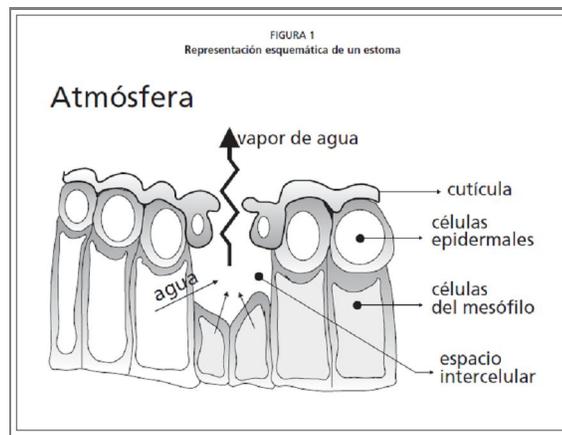
Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponible en la superficie evaporante son también factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo. En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas. Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es amplio y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca. Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control sobre la evaporación del suelo. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo.

Por su parte, la transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas (pequeñas aberturas en

la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera (ver ilustración siguiente). Prácticamente la totalidad del agua absorbida del suelo se pierde por transpiración, y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

La transpiración, al igual que la evaporación directa, depende de factores tales como el aporte de energía, el gradiente de presión del vapor, y la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo, el agua de riego, las características del cultivo, el medio donde se produce, y las prácticas de cultivo.

Clases de plantas diferentes pueden tener distintas tasas de transpiración. Por otra parte, no solamente el tipo de cultivo sino también su estado de desarrollo, el medio donde se produce y su manejo, deben ser considerados al evaluar la transpiración.

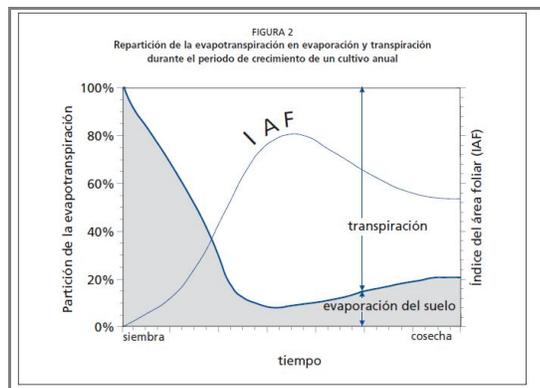


**Ilustración III-3. Representación esquemática del estoma**

### **Evapotranspiración (ET)**

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua

en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el follaje del cultivo proyecta más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo, y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En la ilustración siguiente se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, en tanto que cuando la cobertura vegetal es completa, más del de 90% de la ET ocurre como transpiración.



**Ilustración III-4. Transpiración y Evaporación por etapa del cultivo**

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, un día, 10 días, un mes, ó incluso un período completo de cultivo o un año.

Debido a que una hectárea tiene una superficie de 10.000m<sup>2</sup> y 1 milímetro es igual a 0,001m, una pérdida de 1mm de agua corresponde a una pérdida de 10m<sup>3</sup> de agua por hectárea. Es decir que 1mm día<sup>-1</sup> es equivalente 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

La altura del agua se puede expresar también en términos de la energía recibida por unidad de área. Este último concepto refiere a la energía o calor requerido para

vaporizar el agua. Esta energía, conocida como calor latente de vaporización ( $\alpha$ ), es una función de la temperatura del agua. Por ejemplo, a 20°C,  $\alpha$  tiene un valor cercano a 2,45 MJ Kg<sup>-1</sup>. Es decir que 2,45 MJ son necesarios para vaporizar 1 kilogramo (ó 0,001 m<sup>3</sup>) de agua. Por lo tanto, un aporte de energía de 2,45 MJ por m<sup>2</sup> puede vaporizar 0,001 m (ó 1 mm) de agua, y entonces 1 mm de agua es equivalente a 2,45 MJ m<sup>-2</sup>. La evapotranspiración expresada en unidades del MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> se representa por  $\alpha ET$ , denominado flujo del calor latente.

### Factores que afectan la evapotranspiración

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración.

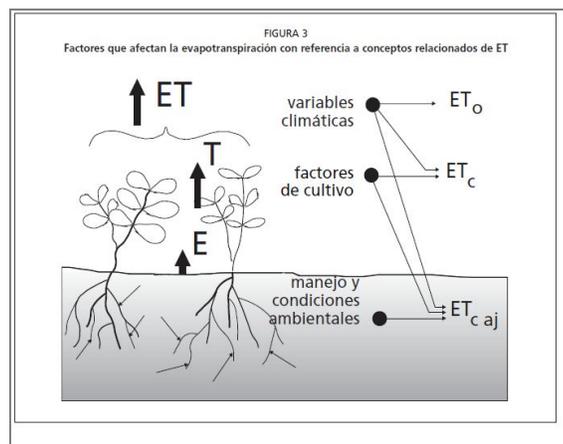


Ilustración III-5. Factores que afectan la evapotranspiración

#### Variables climáticas

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros. La fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ), indicador que representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar.

#### Factores de cultivo

El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas

grandes y bien manejadas. Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET en diversos tipos de cultivos aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas. La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) se refiere a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en superficies extensas bajo condiciones óptimas de agua en el suelo, con características adecuadas tanto de manejo como ambientales, y que alcanzan la producción potencial bajo las condiciones climáticas dadas.

#### Manejo y condiciones ambientales

Factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos, y el mal manejo del suelo, pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. Otros factores que deben considerarse al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo. El efecto del contenido en agua en el suelo sobre la ET está determinado primeramente por la magnitud del déficit hídrico y por el tipo de suelo. Por otra parte, demasiada agua en el suelo dará lugar a la saturación de este, lo cual puede dañar el sistema radicular de la planta y reducir su capacidad de extraer agua del suelo por la inhibición de la respiración.

Cuando se evalúa la tasa de ET se debe considerar, adicionalmente, la gama de prácticas locales de manejo que actúan sobre los factores climáticos y de cultivo afectando el proceso de ET. Las prácticas del cultivo y el método de riego pueden alterar el microclima y afectar tanto las características del cultivo como la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo. Por ejemplo, una barrera rompevientos reduce la velocidad del viento y disminuye la tasa de ET de la zona situada directamente después de la barrera. El efecto puede ser significativo especialmente en condiciones ventosas, calientes y secas, aunque la evapotranspiración de los mismos árboles podría compensar cualquier reducción en el campo. El uso de coberturas, especialmente cuando el cultivo es pequeño, es otra manera de reducir sustancialmente la evaporación del suelo.

Cuando las condiciones de campo difieran de las condiciones estándar, son necesarios factores de corrección para ajustar  $ET_c$  ( $ET_{c,aj}$ ). Estos factores de corrección reflejan el efecto del ambiente y del manejo cultural de las condiciones de campo.

### **ET calculada con datos meteorológicos**

La ET del cultivo bajo condiciones estándar se determina utilizando los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) que relacionan la  $ET_c$  con la  $ET_0$ . La ET de superficies cultivadas bajo condiciones no estándar puede ajustarse mediante un coeficiente de estrés hídrico ( $K_s$ ), o modificando el coeficiente de cultivo.

El análisis del funcionamiento y la dispersión de resultados obtenidos por varios métodos de cálculo revelan la necesidad de formular un único método estándar para el cómputo de la  $ET_0$ . Dado el mejor comportamiento y consistencia del método FAO Penman-Monteith en el ámbito global, este es el único que se recomienda como método estándar de cálculo. Esto se debe a que existe una elevada probabilidad de que este método prediga correctamente los valores de  $ET_0$  en una amplia gama geográfica y climática, y a que cuenta con previsiones para su uso en situaciones de falta de datos. En este sentido, no se aconseja el uso de las antiguas ecuaciones de FAO o de otra ecuación para el cálculo de  $ET_0$ .

La ecuación combinada de Penman-Monteith es:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

**Ecuación 1. Ecuación combinada de Penman Monteith**

donde:

$R_n$  es la radiación neta,

$G$  es el flujo del calor en el suelo,

$(e_s - e_a)$  representa el déficit de presión de vapor del aire,  
 $\rho_a$  es la densidad media del aire a presión constante,  
 $c_p$  es el calor específico del aire,  
 $\Delta$  representa la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación,  
 $\gamma$  es la constante psicométrica, y  
 $r_s$  y  $r_a$  son las resistencias superficial (total) y aerodinámica.

En la práctica, no es probable esperar que alguna de las ecuaciones formulada para el cálculo de la evapotranspiración, y basada en datos climáticos, determine exactamente la evapotranspiración bajo diferentes situaciones climáticas específicas. Ello se debe principalmente a la simplificación en la formulación y a los errores en la recopilación de los datos climáticos. Es probable que instrumentos de precisión, bajo condiciones ambientales y biológicas completamente controladas, demuestren que la ecuación de FAO Penman-Monteith se desvía ocasionalmente de mediciones reales de la  $ET_0$ . Sin embargo, el panel de expertos acordó utilizar la definición hipotética del cultivo de referencia sobre el que se basa la ecuación FAO Penman-Monteith como un valor de comparación homogeneizado de modo tal que los datos de diferentes zonas del mundo sean comparables entre sí.

Usando la definición de  $ET_0$  sobre la que se basa la ecuación FAO Penman-Monteith, se pueden determinar los coeficientes del cultivo relacionando la evapotranspiración medida del cultivo ( $ET_c$ ) con la  $ET_0$  calculada, es decir:

$K_c = ET_c/ET_0$ . Tomando como base el concepto de coeficiente de cultivo, consideran incluidas dentro del coeficiente de cultivo las diferencias del follaje del cultivo y la resistencia aerodinámica con relación al cultivo hipotético de referencia. El factor  $K_c$  representa entonces el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre cada uno de los cultivos y la definición de cultivo de referencia.

El método de FAO Penman-Monteith para estimar  $ET_0$ , puede ser derivado de la ecuación original de Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

$ET_0$	evapotranspiración de referencia (mm día <sup>-1</sup> )
$R_n$	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
$R_s$	radiación extraterrestre (mm día <sup>-1</sup> )
$G$	flujo del calor de suelo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
$T$	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
$u_2$	velocidad del viento a 2 m de altura (m s <sup>-1</sup> )
$e_s$	presión de vapor de saturación (kPa)
$e_a$	presión real de vapor (kPa)
$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
$\Delta$	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C <sup>-1</sup> )
$\gamma$	constante psicrométrica (kPa °C <sup>-1</sup> )

### Ecuación 2. Ecuación original de Penman Monteith

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a 2m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua.

### Datos climáticos requeridos para el cálculo de la Evapotranspiración

Además de la localización del sitio, para llevar adelante cálculos diarios, semanales, de diez días ó mensuales de  $ET_0$  se requieren datos de temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación y velocidad del viento.

El procesamiento y la metodología de cálculo de los datos requeridos para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) se realizó con el programa CropWat de FAO, siguiendo los lineamientos recomendados para su determinación.

En tal sentido, se estima que en aquellos casos en los que los datos disponibles sólo incluyan la temperatura máxima y mínima del aire, se pueden obtener estimaciones razonables de  $ET_0$  con la ecuación de FAO Penman-Monteith para periodos de diez días o mensuales. Los datos de radiación se pueden derivar de la diferencia de temperatura del aire, ó bien pueden extrapolarse desde una estación meteorológica próxima utilizando los datos de velocidad del viento y humedad atmosférica. Los datos de humedad se pueden estimar también a partir de la temperatura mínima

diaria del aire. Una vez evaluada la validez del uso de datos de otra estación, pueden efectuarse las estimaciones de  $ET_0$  para periodos de diez días o mensuales.

Los procedimientos para estimar datos faltantes se deben validar en el ámbito regional. Esto es posible -para estaciones meteorológicas que cuentan con series de datos completas- comparando la  $ET_0$  calculada con todos los datos con la  $ET_0$  calculada con datos estimados. El cociente debe estar cerca de 1. En los casos en que el cociente se desvíe perceptible y consistentemente de 1, dicho cociente puede utilizarse como factor de corrección para las estimaciones hechas con los datos estimados. En los casos en que el error estándar de la estimación exceda el 20% del valor de  $ET_0$  calculada con datos completos y en forma inconsistente, se debe realizar un análisis de sensibilidad para determinar causas (y límites) para el método utilizado, a fin de estimar los datos faltantes. La validación se debe realizar para cada mes y cada variable, así como para estimaciones diarias de  $ET_0$ .

### Relación del viento con la altura

La velocidad del viento a diversas alturas sobre la superficie del suelo tiene valores diferentes. La fricción superficial tiende a reducir la velocidad del viento que atraviesa la superficie, por lo que la velocidad del viento es menor cerca de la superficie y aumenta con altura. Por esta razón los anemómetros se colocan en una altura estándar elegida (10m en meteorología, y 2 ó 3m en agrometeorología). Para el cálculo de la evapotranspiración, se requiere la velocidad del viento medida a 2m sobre la superficie. Para ajustar los datos de velocidad del viento obtenido de instrumentos situados a elevaciones diferentes a la altura estándar de 2m, se usará la siguiente relación logarítmica recomendada:

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)} \quad (47)$$

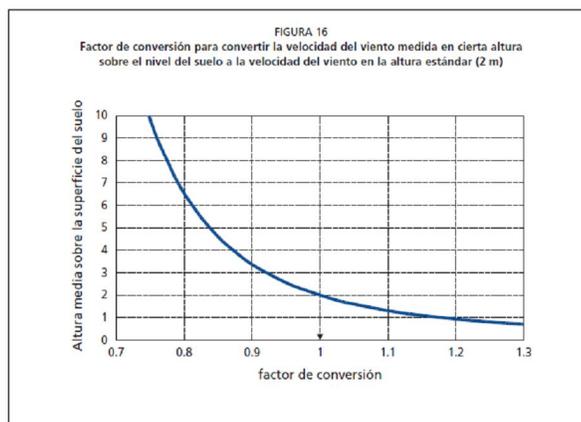
donde

$u_2$	velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [ $m s^{-1}$ ],
$u_z$	velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [ $m s^{-1}$ ],
$z$	altura de medición sobre la superficie [m].

**Ecuación 3. Fórmula de ajuste de velocidad del viento**

EJEMPLO 14 Ajuste de datos de velocidad del viento a la altura estándar			
Determine la velocidad del viento a la altura estándar de 2 m, si se conoce la velocidad del viento a 10 m sobre la superficie y cuyo valor es de 3,2 m s <sup>-1</sup>			
Para:	$u_1 =$	3,2	m s <sup>-1</sup>
y:	$z =$	10	m
entonces:	Factor de conversión = $4,87 / \ln(57,8 (10) - 5,42) =$	0,75	-
De la Ec. 47:	$u_2 = 3,2 (0,75) =$	2,4	m s <sup>-1</sup>
La velocidad del viento a 2 m sobre la superficie es de 2,4 m s <sup>-1</sup> .			

**Tabla III-3. Ejemplo de ajuste de velocidad del viento**



**Gráfico III-1. Cálculo de Factor de Conversión de Altura**

## Estaciones meteorológicas

Los datos tomados en estaciones no agrometeorológicas requieren, previo a su utilización, de un cuidadoso análisis de validez. Por ejemplo, en estaciones aeronáuticas, se miden los datos relevantes para la aviación. Sin embargo los aeropuertos se sitúan a menudo cerca de condiciones urbanas, y por ello las temperaturas pueden ser más altas que las encontradas en áreas agrícolas rurales. Por otra parte, en ese tipo de estaciones, la velocidad del viento se mide comúnmente a una altura de 10 m sobre la superficie.

Cuando sea posible, se debe acudir al servicio meteorológico nacional de cada país para conocer qué tipos de datos climáticos se tienen a disposición y de qué tipo de estaciones meteorológicas provienen. Los servicios climáticos nacionales comúnmente publican boletines meteorológicos que describen datos climáticos procesados de varias estaciones.

En anexos del Reporte 56 de FAO pueden observarse procedimientos para el análisis estadístico, la evaluación, corrección y llenado de datos parciales o perdidos:

- Datos de radiación solar de una estación meteorológica cercana

Este método se basa en el hecho de que para el mismo mes -y usualmente para el mismo día- las variables que afectan la radiación solar entrante ( $R_s$ ), y la duración de la insolación ( $n$ ), son similares a lo largo de una región dada. Para que esto último se cumpla, debe considerarse que: (i) el tamaño de la región considerada sea pequeño; (ii) los mecanismos atmosféricos que gobiernan la precipitación y la nubosidad son casi idénticos dentro de las partes analizadas de la región; y (iii) la fisiografía de la región sea casi homogénea.

Las diferencias en el relieve deben ser mínimas, ya que estas tienen mucha influencia en el movimiento de las masas de aire. Si se cumplen tales condiciones, es factible utilizar los datos de radiación observados en estaciones meteorológicas cercanas.

Se debe tener precaución al aplicar este método en áreas montañosas y costeras -donde las diferencias en exposición y altitud podrían ser relevantes- y también en zonas en que existe una gran variación en la precipitación debido a factores convectivos. Más aún, los datos de una estación cercana pero situada en el lado opuesto de una montaña podrían no ser transferibles, ya que las condiciones que determinan la radiación son diferentes. Se deben observar las condiciones climáticas en ambas localidades y conseguir información local referente a diferencias generales sobre la cobertura y tipos de nubes.

En casos en que la distancia norte-sur a una estación meteorológica dentro de la misma región homogénea excede los 50 kilómetros, el valor de  $R_a$  cambiará, y por ello los valores de  $R_s$  deben ajustarse usando el cociente de la radiación solar y la radiación extraterrestre,  $R_s/R_a$ :

$$R_s = \frac{R_{s,reg}}{R_{a,reg}} R_a$$

**Ecuación 4. Radiación solar entrante**

donde:

$R_{s,reg}$  radiación solar en la localidad situada en la región ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ),

$R_{a,reg}$  radiación extraterrestre en la localidad situada en la región ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ).

El método de estimación utilizando la ecuación precedente se recomienda para cálculos mensuales de  $ET_0$ . En cambio, si se usa este método para estimaciones diarias de  $ET_0$ , se debe realizar un análisis más cuidadoso de los datos climáticos de las estaciones meteorológicas desde las que se importa y exporta la información, a fin de verificar si ambas estaciones están en la misma región climática homogénea y si están lo bastante cercanas como para presentar condiciones similares en el mismo día. El análisis debe incluir la comparación de los datos climáticos diarios de ambas estaciones meteorológicas, particularmente de temperaturas máximas y mínimas, y humedad. Por último, la duración similar de la nubosidad y de la insolación se relacionan con semejanzas en las tendencias de temperatura y humedad.

- Datos faltantes de viento

La importación de datos de la velocidad del viento de una estación meteorológica cercana, al igual que la efectuada para los datos de radiación, se basa en el hecho de que el flujo de aire sobre una región homogénea puede tener variaciones relativamente grandes en el transcurso de un día pero variaciones pequeñas cuando se trata de periodos más largos al valor total del día. Los datos de una estación próxima pueden ser importados a zonas donde las masas de aire tienen el mismo origen o donde los mismos frentes gobiernan los flujos de aire en la región y el relieve fisiográfico sea similar. De ello se sigue que, al importar datos de velocidad de viento de otra estación meteorológica, se deben comparar el clima regional, las tendencias de variación de los otros parámetros meteorológicos y el relieve fisiográfico.

En caso de no tener disponibilidad de datos de viento dentro de la misma región, un valor de  $2\text{ m s}^{-1}$  se puede utilizar como estimación temporal. Este valor es el promedio de 2.000 estaciones meteorológicas en todo el mundo.

- Datos mínimos requeridos

Los datos de radiación solar, presión de vapor y velocidad del viento se pueden estimar en caso de no estar disponibles. La mayoría de los procedimientos sugeridos se basan en datos de la temperatura máxima y mínima del aire. Desafortunadamente, no existe un modo confiable de estimar la temperatura del aire cuando este dato falta. Por lo tanto, los datos diarios de temperatura máxima y

mínima del aire son los requerimientos mínimos de datos necesarios para aplicar el método FAO Penman-Monteith de estimación de  $ET_0$ .

Muchos programas informáticos utilizan ya la ecuación FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de referencia. Como ejemplo, se muestran a continuación los resultados generados por el programa CropWat:

FIGURA 18  
ET, calculada por CROPWAT

MONTHLY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION PENMAN MONTEITH							
Meteorstation: CABINDA				Country: Angola			
Altitude: 20 m.				Coordinates: -5.33 South 12.11 East			
Month	MinTemp °C	MaxTemp °C	Humid. %	Wind km/day	Sunshine Hours	Radiation MJ/m <sup>2</sup> /day	ET <sub>0</sub> -PenMon mm/day
January	22.8	29.6	81	78	4.0	15.7	3.4
February	22.7	30.3	82	69	4.6	16.9	3.7
March	23.0	30.6	80	78	5.1	17.4	3.8
April	23.0	30.2	82	69	5.0	16.4	3.5
May	22.0	28.6	84	69	3.8	13.5	2.9
June	19.2	26.5	81	69	3.3	12.2	2.6
July	17.6	25.1	78	78	3.2	12.3	2.6
August	18.6	25.3	78	78	2.6	12.4	2.6
September	20.5	26.5	78	104	2.0	12.4	2.8
October	22.5	28.0	79	130	2.2	12.9	3.1
November	23.0	28.7	80	104	3.2	14.4	3.3
December	23.0	29.1	82	95	3.8	15.2	3.4
Year	21.5	28.2	80	85	3.6	14.3	3.1

CROPWAT 7.0 Climate File: C:\PROF-P-1\CROPWAT\CROPWAT\CLI\CABINDA.PEH 03/07/98

Tabla III-4. Ejemplo de  $ET_0$  calculada por el CropWat

Puede observarse que el valor de la evapotranspiración de referencia calculada con datos meteorológicos mensuales medios es de hecho muy similar al promedio de los valores diarios de  $ET_0$  calculados con los datos medios diarios.

Los datos meteorológicos consisten en:

Temperatura del aire: son los datos de temperatura máxima ( $T_{max}$ ) y temperatura mínima ( $T_{min}$ ) promedio diaria, para periodos de diez días o mensuales.

Humedad del aire: es el promedio mensual o decadiario de la presión real de vapor ( $e_a$ ) derivada del psicrómetro, del punto de condensación o de los datos de humedad relativa.

Velocidad del viento: valores promedio decadiarios o mensuales de la velocidad diaria del viento medida a una altura de 2 m ( $u^2$ ).

Radiación: es el promedio decadiario o mensual de la radiación neta diaria ( $R_n$ ) calculada a partir de la media decadiaria ó mensual de la radiación de onda corta medida, ó de la duración real de las horas diarias de insolación ( $n$ ).

Como ya se ha indicado, la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ) se define y calcula a través de la ecuación de la FAO Penman-Monteith. El coeficiente del cultivo es básicamente el cociente entre la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  y la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_0$ , representando el efecto integrado de cuatro características principales que diferencian a un cultivo en particular del cultivo de referencia. Las características mencionadas son las siguientes:

Altura del cultivo: tiene influencia en el valor de la resistencia aerodinámica ( $r_a$ ), de la ecuación de Penman-Monteith, así como en la transferencia turbulenta del vapor del agua desde el cultivo hacia la atmósfera. El termino ( $r_a$ ) aparece en dos oportunidades en la versión completa de la ecuación de la FAO Penman-Monteith.

Albedo (reflectancia) de la superficie del cultivo y suelo: este valor está afectado por la porción del suelo cubierta por la vegetación, así como por la humedad presente en la superficie del suelo. El albedo de las superficies del cultivo y suelo afectan el valor de la radiación neta de la superficie ( $R_n$ ), la cual constituye la fuente principal de energía para el proceso de evapotranspiración.

Resistencia del cultivo: este valor es afectado por el área foliar (cantidad de estomas), edad y condición de la hoja, así como por el grado de control estomático. La resistencia de la vegetación tiene influencia en el valor de la resistencia de la superficie ( $r_s$ ).

Evaporación que ocurre en el suelo: especialmente en la parte expuesta del mismo.

#### 1°) Aspectos de Suelo

A continuación se referencian los datos utilizados por el módulo de suelos del CropWat. Se expresa asimismo qué es lo que se consigna en cada modelo y se explica, en cada caso, el significado y los valores asignados para el presente proyecto en la provincia de Buenos Aires:

### ***Agua Disponible Total- Total Available Water (TAW) (mm/m)***

Surge de considerar, hasta el metro de profundidad, el agua útil. El agua útil es la diferencia entre el agua retenida a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), estimada por horizonte (a partir de la textura) para todos los horizontes hasta el metro de profundidad (Porta et al., 2004, FAO).

***Máxima tasa de infiltración (Maximum infiltration rate) (mm/día)***

Hace referencia a la permeabilidad del suelo, que resulta de las características del perfil edáfico, y representa la lámina de agua que puede infiltrar en el suelo en un período de 24 horas en función del tipo de suelo, pendiente e intensidad de la precipitación o del riego. Los valores se estiman a partir de la escala dada por Etchevehere (1976).

***Profundidad efectiva - Maximum rooting depth (cm)***

Se refiere a la máxima profundidad de enraizamiento. Si el suelo posee limitantes se considera la profundidad a la cual se encuentra la limitante, por ejemplo, tosca.

***Agotamiento inicial de la humedad del suelo (% de ADT)***

El agotamiento inicial de la humedad del suelo indica la sequedad del suelo al inicio de la época de cultivo, que para el caso del presente estudio es la fecha de siembra. El agotamiento inicial de la humedad del suelo se expresa como un porcentaje del Agua Disponible Total (ADT), en términos del agotamiento de la Capacidad de Campo (CC).

2º) Aspectos Fenológicos del Cultivo.

La fenología de los cultivos seleccionados para la aplicación de la programación por CropWat se relaciona con la definición de las etapas de cultivo de interés para la determinación de la curva de Coeficiente de Cultivo (Kc).

La metodología propuesta por FAO establece etapas de crecimiento de cultivo que son necesarias para el cálculo de la demanda evapotranspirativa del cultivo en función del coeficiente único de cultivo. Las etapas del cultivo -dimensionadas en días desde la siembra- junto a la aplicación de los coeficientes únicos de cultivo, son las variables que utiliza la programación en CropWat. Estas variables, junto al resto de las aplicaciones que consideran la evapotranspiración potencial, las

precipitaciones y las características edáficas en las que se desarrolla el cultivo, permiten calcular los resultados necesarios para la estimación de la Huella Hídrica Verde de los productos.

### **Etapas de crecimiento del cultivo**

Por definición, a medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de  $K_c$  correspondiente a un cultivo determinado también variará a lo largo del período de crecimiento del mismo, ya que las etapas de crecimiento de los cultivos se vinculan directamente con la fenología de los mismos. Se describen a continuación las definiciones establecidas por FAO para la determinación de las etapas de crecimiento del cultivo.

#### *Etapas inicial*

La etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo. La longitud de la etapa inicial depende en gran medida del tipo de cultivo, la variedad del mismo, la fecha de siembra y el clima. El final de la etapa inicial ocurre cuando la vegetación verde cubre aproximadamente un 10% de la superficie del suelo. Durante el período inicial, el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación desde el suelo. La etapa inicial determina una parte de la curva de coeficiente de cultivo.

#### *Etapas de desarrollo del cultivo*

La etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% y hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa (máxima). Para una gran variedad de cultivos, el estado de cobertura completa ocurre al inicio de la etapa de floración. Debido a que es difícil determinar visualmente cuándo algunos tipos de vegetación densa y diseminada alcanzan la cobertura completa -como es el caso de los cereales de invierno- se utiliza la etapa de floración como un indicativo más simple para determinar la presencia de la cobertura completa. Otro modo de definir la ocurrencia de la cobertura completa es observar el momento en que el índice del área foliar (IAF) alcanza un valor de 3. Luego, durante la etapa de desarrollo del cultivo, el valor de

Kc se corresponderá con la cantidad de la cobertura del suelo y el desarrollo de la planta.

#### *Etapa de Medios de Temporada*

La etapa de mediados de temporada comprende el período de tiempo desde la cobertura completa y hasta el comienzo de la madurez. El comienzo de la madurez está indicado generalmente por el comienzo de la vejez, amarillamiento o senescencia de las hojas, caída de las hojas, o la aparición del color marrón en el fruto, hasta el grado de reducir la evapotranspiración del cultivo en relación con la  $ET_0$  de referencia. La etapa de mediados de temporada representa la etapa más larga para una gran variedad de cultivos anuales, y es en su transcurso cuando el coeficiente Kc alcanza su valor máximo. El valor de Kc en esta etapa ( $K_{c_{med}}$ ) es relativamente constante para la mayoría de los cultivos y prácticas culturales. La diferencias entre el valor de  $K_{c_{med}}$  con respecto al valor de referencia de 1 se deben principalmente a las diferencias en la altura del cultivo y la resistencia, entre la superficie del pasto de referencia y el cultivo agrícola, además de diferencias en las condiciones climáticas.

#### *Etapa de finales de temporada*

La etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores de Kc y  $ET_c$  finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado al natural, alcanza la completa senescencia, ó experimenta la caída de las hojas. El estado de senescencia es generalmente asociado a una conductancia menos eficiente de los estomas debido a los efectos del envejecimiento, lo que causa una reducción en el valor de Kc.

### 3°) Reducción de rendimiento del cultivo por estrés hídrico

La reducción del rendimiento por estrés hídrico se expresa como un porcentaje de la producción máxima alcanzable en la zona (en nuestro estudio definida por serie de suelo y ZAH) en condiciones óptimas. Puede ser calculada con referencia a una única etapa del ciclo de cultivo o para toda la temporada de cultivo.

El software CropWat calcula la reducción del rendimiento (en porcentaje) con la siguiente ecuación:

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_{c-aj}}{ET_c}\right)$$

**Ecuación 5. Cálculo de disminución de rendimiento en CropWat**

donde:

$K_y$ : factor de respuesta del rendimiento (adimensional)

$ET_{c-aj}$ : Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (mm/día)

$ET_c$ : Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (mm/día)

$Y_a$ : Rendimiento alcanzable en condiciones reales.

$Y_{max}$ : máximo rendimiento del cultivos alcanzable en caso de la plena satisfacción de los requerimientos de agua del cultivo.

Se trata de una ecuación simple, en la cual la reducción relativa de rendimiento ( $Y_a/Y_m$ ) se relaciona con la correspondiente reducción relativa en evapotranspiración ( $ET_{c-aj}/ET_c$ ). Este acercamiento para estimar la respuesta del rendimiento frente al aporte de agua fue publicado originalmente por FAO en 1979 (Doorenbos & Kassam) y desde entonces ampliamente utilizado.

#### *Factor de respuesta del rendimiento ( $K_y$ )*

La respuesta del rendimiento al aporte de agua se cuantifica mediante el factor de respuesta del rendimiento ( $K_y$ ), que se refiere a la reducción del rendimiento relativo al déficit de evapotranspiración relativa. Este factor captura la esencia de las relaciones complejas entre producción y agua utilizada por el cultivo, relaciones en la cuales están involucrados diversos procesos biológicos, físicos y químicos.

El déficit de agua de una determinada magnitud, expresado en la relación entre la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_{c-aj}$ ) y la Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ), puede ocurrir continuamente durante el período total de crecimiento del cultivo, o individualmente durante cualquiera de las etapas del cultivo.

Los valores de  $K_y$  para un cultivo específico varían durante la etapa de crecimiento de acuerdo con la etapa vegetativa con los siguientes rangos:

$K_y > 1$ : la respuesta del cultivo es muy sensible al déficit de agua resultando en importantes reducciones de rendimiento cuando se reduce la utilización de agua a causa del estrés.

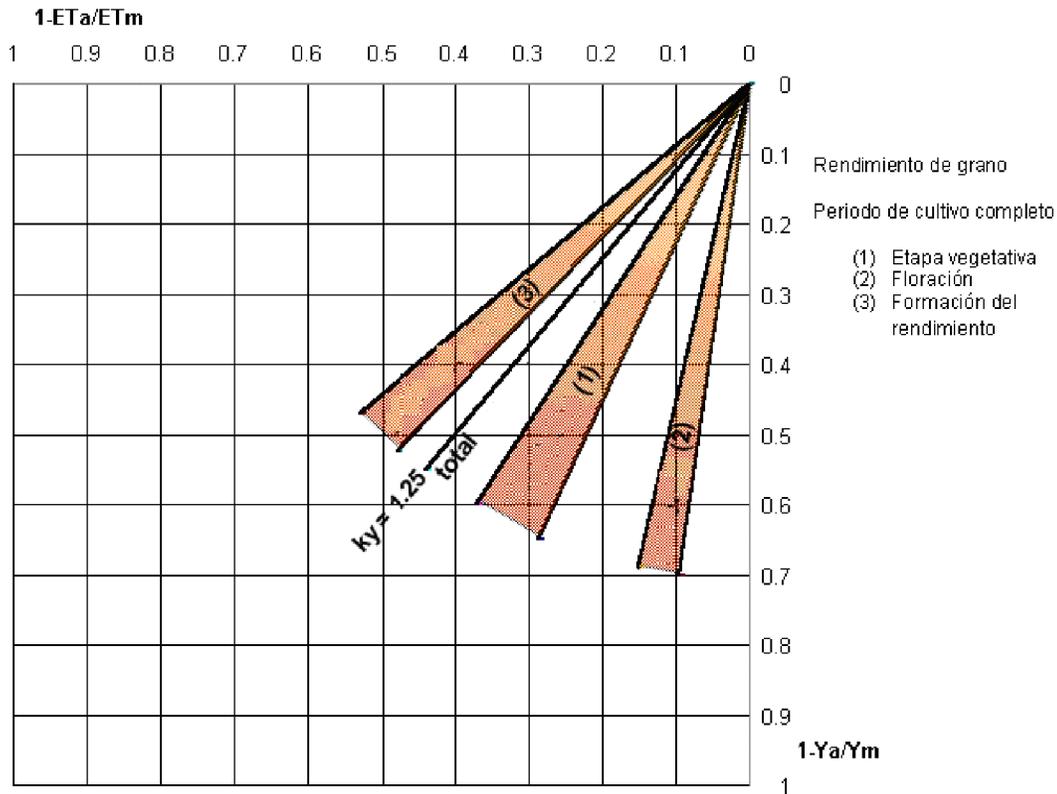
$K_y < 1$ : el cultivo es más tolerante al déficit de agua, recuperándose parcialmente del estrés, exhibiendo una reducción proporcional en rendimiento menor que la reducción de uso de agua.

$K_y = 1$ : la reducción de rendimiento es directamente proporcional a la reducción en el uso de agua.

En general, para todo el período de cultivo, la disminución en el rendimiento es proporcionalmente menor con el aumento del déficit de agua ( $K_y < 1$ ) para cultivos como soja, girasol, alfalfa, maní, cártamo y remolacha azucarera, si bien es proporcionalmente mayor ( $K_y > 1$ ) para cultivos como maíz, plátano y caña de azúcar.

Para cada uno de los períodos de cultivo, la disminución en el rendimiento debido al déficit de agua durante ese período es relativamente pequeña en el período vegetativo y de maduración, y relativamente grande durante la floración y período de formación de rendimiento.

El déficit de agua durante un período de cultivo en particular también puede ser expresado como el déficit de agua durante el período total cuando relación entre la  $ET_c$  de ese período y la  $ET_c$  del período completo del cultivo es conocida. El gráfico a continuación muestra ejemplos de la relación entre la evapotranspiración y el rendimiento relativo para las diferentes etapas vegetativas en maíz.



**Gráfico III-2. Relación entre la evapotranspiración y el rendimiento relativo para las diferentes etapas vegetativas en maíz**

Con base en el análisis de gran cantidad de estudios disponibles en la literatura acerca de la relación entre rendimiento, agua y déficit de humedad, FAO ha derivado los valores del coeficiente  $K_y$  para diversos cultivos. Típicamente, la etapa de llenado de grano es sensible al estrés, mientras que si el estrés ocurre durante las etapas vegetativas, el impacto del déficit es reducido, pudiendo el cultivo recuperarse del estrés en las etapas siguientes.

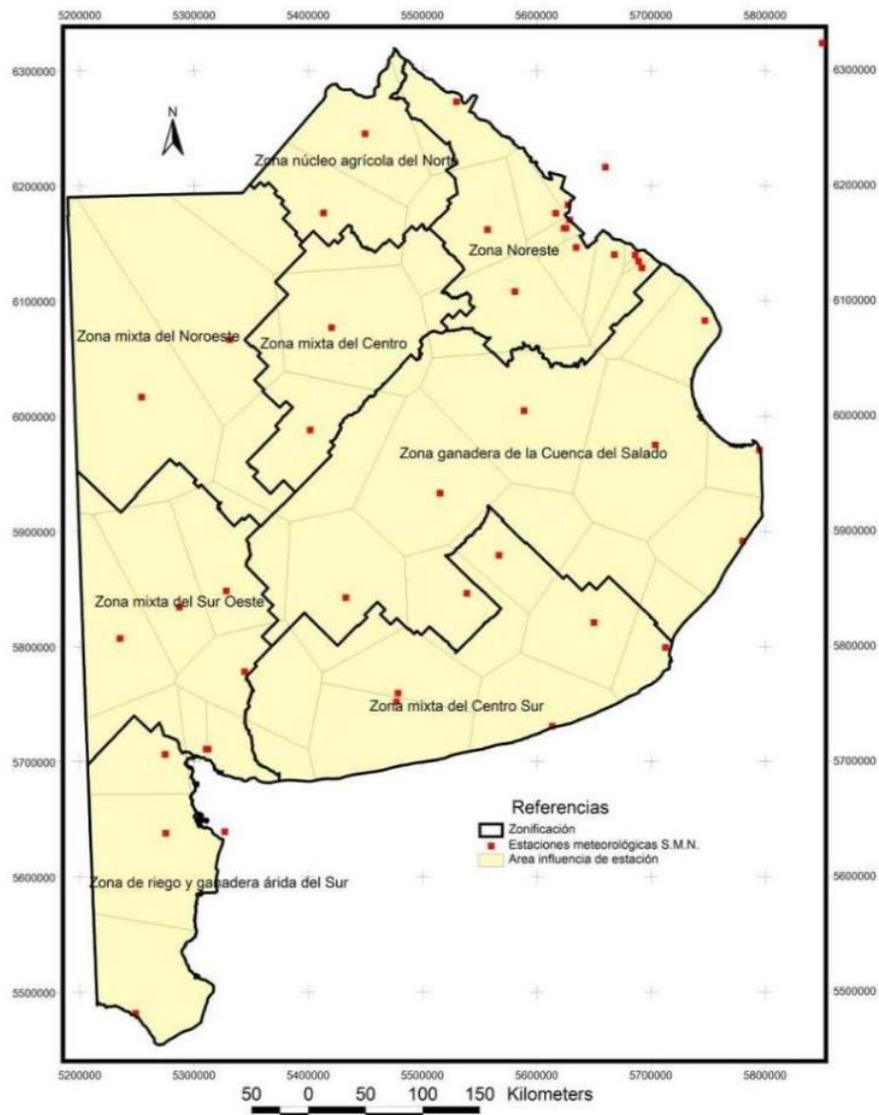
#### 4) Datos y supuestos utilizados en la modelación

A continuación se presenta la información de base introducida en el software CropWat.

##### 1º) Estaciones meteorológicas

En relación al clima, se tomaron los datos necesarios para el cálculo de los principales parámetros requeridos en base a la disponibilidad de información relevada.

Para el cálculo de  $ET_0$  se empleó la serie de treinta años del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), correspondientes a 46 localidades de la provincia de Buenos Aires, utilizándose datos de temperatura, humedad relativa, viento e insolación, entre otros. Posteriormente, se realizó una extrapolación al resto de las localidades vecinas que carecían de datos. La pertinencia de este procedimiento metodológico se evaluó y validó sobre la base de que los parámetros requeridos conservan –para zonas cercanas a las estaciones de las que son tomados los datos- un valor promedio razonablemente aplicable como *input* al análisis. En el mapa siguiente se observa la localización de las estaciones meteorológicas del SMN.



**Mapa 20. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Ubicación de estaciones meteorológicas**

2º) Procesamiento de datos de precipitación. Determinación de años secos, normales y húmedos

Como fue presentado anteriormente, y al ser tanto las actividades agropecuarias como sus rendimientos dependientes de las características agroclimáticas, se decidió focalizar la variable temporal en períodos que puedan representar un “año tipo seco”, un año tipo normal” y un “año tipo húmedo” para cada cultivo y zona agroecológica particular. La precipitación en un año húmedo, normal y seco es definida como las precipitaciones con 20, 50 y 80% de probabilidad de exceso respectivamente. El valor de años normales de lluvia (50 % de probabilidad) se aproxima, en general, al valor promedio de lluvia, por lo que se toma como normal (tal como lo indica la bibliografía consultada).

El objetivo de este abordaje es evaluar si existen diferencias en los valores representativos para estas condiciones en los cultivos estudiados.

Con el fin de determinar años húmedos, normales y secos se sigue la metodología propuesta en el manual de uso del software Cropwat. A continuación se presenta un ejemplo para la estación Pergamino, utilizando datos de precipitación para el periodo 1996-2011.

1.- Tabulación del total de lluvia anual para un periodo dado.

PERGAMINO (Pergamino)																	
Mes/Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Prom.
Total anual (mm)	870	971	854	854	1288	1396	1416	1180	684	619	948	968	590	1099	599	824	947

**Tabla III-5. Pergamino. Tabulación de lluvia para el período 1996/2011**

2.- Ordenamiento de los valores de manera decreciente de magnitud

3.- Tabulación de la posición de ploteo ( $F_a$ )

$$F_a = 100 * m / (N + 1)$$

donde:

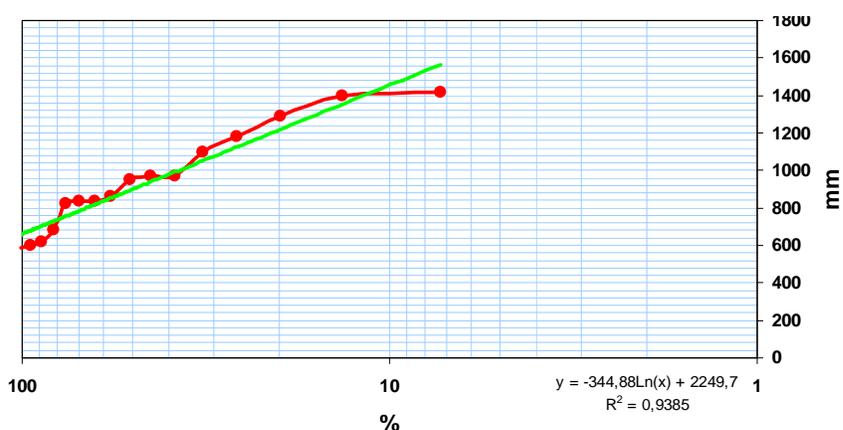
*N*: número de registros

*m*: número de ranking (ubicación)

Nro. Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
mm/año	1416	1396	1288	1180	1099	971	968	948	865	839	839	824	684	619	599	590
Fa (%)	7	14	20	26	32	39	45	51	57	64	70	76	82	89	95	101

**Tabla III-6. Pergamino. Tabulación de la posición de ploteo**

4.- Ploteo de valores en una escala logarítmica normal y obtención de la ecuación de regresión.



**Tabla III-7. Pergamino. Ploteo de los valores en escala log-normal y obtención de la ecuación de la regresión logarítmica**

5.- Cálculo del valor anual con un 20, 50 y 80% de probabilidad

Período	mm
Húmedo	1219
Normal	901
Seco	739

**Tabla III-8. Pergamino. Cálculo de precipitaciones anuales con probabilidades de 20, 50 y 80%**

6.- Determinación de los valores mensuales para el año seco según la siguiente relación:

$$P_{i\,dry} = P_{i\,av} * \frac{P_{dry}}{P_{av}}$$

**Ecuación 6. Cálculo de valores mensuales de precipitaciones**

Donde:  $P_{i\,av}$  = Precipitación promedio mensual para el mes i

$P_{i\,dry}$  = Precipitación mensual para el año seco del mes 1

$P_{av}$  = Precipitación promedio anual

$P_{dry}$  = Precipitación anual al 80% de probabilidad de exceso.

Los resultados se observan en la tabla siguiente.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Promedio (normal)	114	133	116	80	53	17	24	27	55	124	99	106	947
Seco	89	104	91	62	41	13	19	21	43	97	77	82	739
Húmedo	146	171	149	103	68	22	31	35	70	160	127	136	1219

**Tabla III-9. Pergamino. Resultados obtenidos**

Un cálculo similar se realizó para la determinación de años húmedos.

En general, para la determinación de años secos, normales y húmedos se utilizó la serie de datos de precipitación del período 1996/2011 del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Se eligió la misma por incluir una amplia distribución espacial (abarca casi todos los partidos de la provincia de Buenos Aires) y, además, porque la soja ha exhibido una gran expansión en dicho período, pasando a ser el cultivo con mayor superficie sembrada.

De esta manera, se obtuvieron los datos mensuales de precipitación real para años seco, normal y húmedo en las 136 estaciones meteorológicas presentadas.

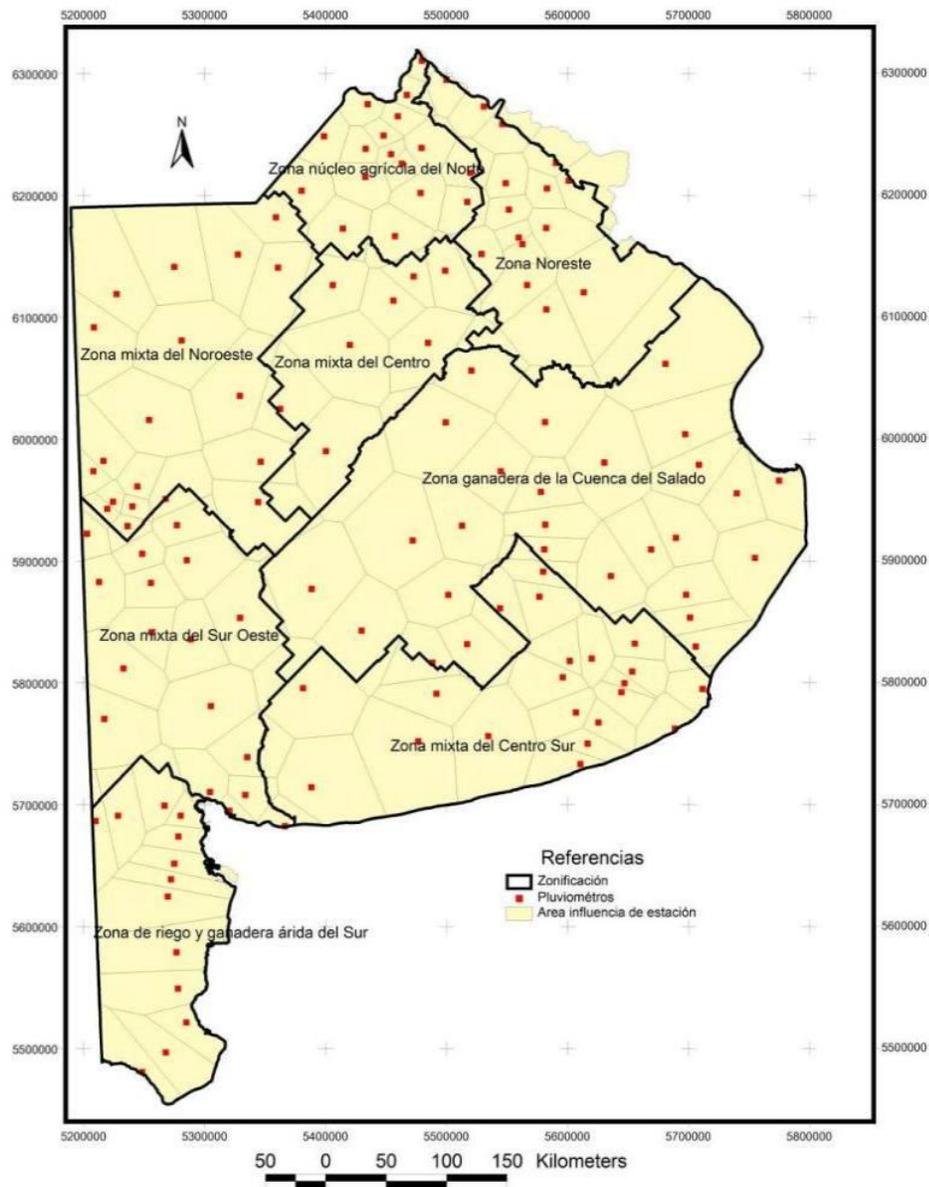
A continuación se presenta la recopilación de datos relevados y procesados del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), incluyendo localización, calidad de información y períodos comprendidos. En el mapa siguiente se observa la localización de los pluviómetros, información correspondiente al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca de la Nación.

	Registro de lluvias solamente	Registro de lluvia, vto., hdad. presión atm., etc.
LOCALIDADES	desde y hasta	desde y hasta
ALBERTI FC - A. VACCAREZZA	1908 - 2005	-
AYACUCHO FC	1889 - 1990	-
AZUL - AERO I	1900 - 2003	1961/70, 1971/80 Y 1981/90
AZUL - CACHARI FC	1888 - 1995	-
B. JUAREZ FC	1888 - 1990	-
BAHIA BLANCA - WHITE ING FC	1889 - 1991	-
BAHIA BLANCA - AERO	-	1961/70, 1971/80 Y 1981/90
BALCARCE FC	1893 - 1992	-
BALCARCE INTA	-	1971/80 Y 1981/90
C. TEJEDOR FC	1905 - 1999	-
CASARES CARLOS FC	1897 - 2005	-
CHASCOMUS FC	1888 - 2002	-
CNEL VIDAL FC	1889 - 2001	-
DOLORES FC	1890 - 1997	-
DOLORES AERO	-	1961/70, 1971/80 Y 1981/90
GONZALEZ CHAVES FC	1889 - 1992	-
GRAL. ALVEAR FC	1898 - 1993	-
GRAL. BELGRANO FC	1879 - 1993	-
GRAL. LAMADRID FC	1888 - 1996	-
GRAL. PAZ - RANCHOS FC	1888 - 1992	-
GRAL. VILLEGAS FC	1898 - 1993	-
LA PLATA - KORN ALEJANDRO FC - E.S. VICENTE	1888 - 1994	-
LAS FLORES FC	1888 - 1992	1961/70, 1971/80 Y 1981/90
LINCOLN - PASTEUR FC	1911 - 2002	-
LOBOS EMPALME FC	1892 - 1990	-
MAPU FC	1888 - 1993	-
MAR DEL PLATA FC	1888 - 1993	-
MAR DEL PLATA AERO	-	1961/70, 1971/80 Y 1981/90
MONTE FC	1893 - 1993	-
NUEVE DE JULIO	1902 - 2005	1961/70, 1971/80 Y 1981/90
NUEVE DE JULIO FC	1897 - 2005	-
PEHUAJO FC	1897 - 2005	-
PEHUAJO AERO	-	1961/70, 1971/80 Y 1981/90
RAUCH FC	1892 - 1993	-

PALOMAR AERO	-	1961/70
LOBOS QUINTAS	-	1960/65
LOS HORNOS	-	1961/70
MERCEDES QUINTAS	-	1961/70
PATAGONES	-	1961/66
S. CLEMENTE DEL TUYU	-	1961/68

Tabla III-10. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Series históricas de lluvias



**Mapa 21. Ministerio Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Ubicación de pluviómetros**

### 3º) Estimación de la Precipitación Efectiva

La precipitación efectiva se refiere a la fracción de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Ello significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la Escorrentía Superficial (ES) y de la Percolación Profunda (PP). La cantidad real de agua que se

infiltra en el suelo depende luego del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo.

Los valores de precipitación media basados en análisis estadísticos realizados sobre registros históricos, se ingresan en CropWat como datos de entrada.

Para estimar la precipitación efectiva a partir de los datos de lluvias de años seco, normal y húmedo en cada estación meteorológica, se utiliza la ecuación desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USCS), que se corresponde con valores mensuales de precipitación:

$$PPE = PP_m * \frac{25 - 0,2 * PP_m}{125} \quad \text{para } PP_m \leq 250 \text{ mm}$$

$$PPE = 125 + 0,1 * PP_m \quad \text{para } PP_m > 250 \text{ mm}$$

donde:

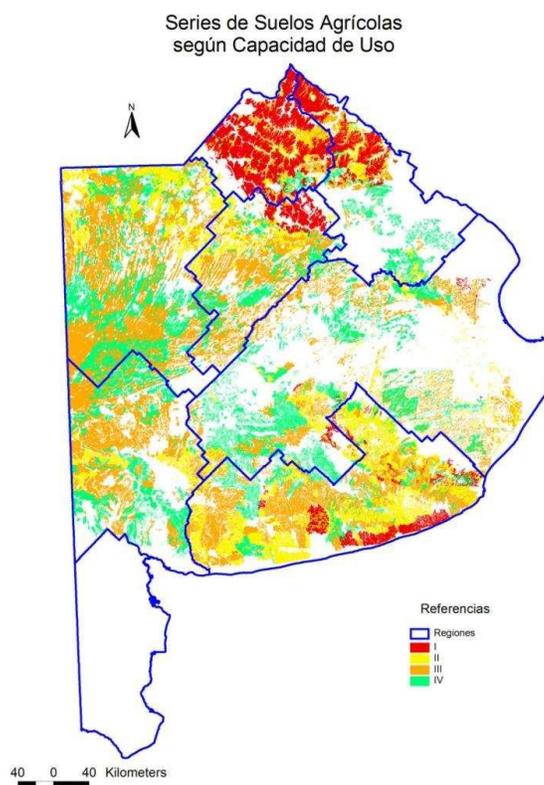
PPE: Precipitación Efectiva

PPm: Precipitación registrada mensual

Por su parte, en lo relativo a la distribución de las lluvias anuales, las mismas se consideraron según el ciclo fenológico de cada cultivo, representándose luego las lluvias ocurridas por ciclo productivo. Se evaluaron también los períodos críticos de cada cultivo, tanto de excesos como déficit hídricos. Cabe mencionar que el estrés hídrico en la etapa de floración (máxima etapa de requerimiento hídrico) produce disminución de los rendimientos. Adicionalmente, los excesos en etapas de siembra/cosecha pueden resultar en una menor obtención de plantas logradas, y/o menores rendimientos.

#### 4°)Series de Suelos Agrícolas

A partir de las unidades cartográficas de suelos del INTA, en escala 1:50.000, se seleccionaron aquellas con capacidad de uso agrícolas: Clases I, II, III y IV.



**Mapa 22. Síntesis de las capacidades de uso de suelos**

Cada unidad cartográfica de suelo está compuesta por una o más series de suelos. En el presente estudio, y para la asignación de los datos requeridos por el programa CropWat, se seleccionó la serie que ocupa más del 50% de cada unidad cartográfica.

Por otra parte, se determinó la superficie ocupada por cada serie en el total de la provincia y se describieron las más representativas. De este modo, de las 14 millones de hectáreas comprendidas por la totalidad de los polígonos de superficie susceptibles de ser analizados, quedaron seleccionadas 61 series de suelos, que ocupan individualmente al menos 75.000, y un total de 4.575.000 has. (32% del total) distribuidas en el territorio provincial.

### **ZAH 1: Zona de riego y ganadera árida**

Partidos: Villarino y Patagones, total de hectáreas de la región 2.500.000, hectáreas sembradas anualmente 240.000 (91% trigo, 7% girasol, 2% maíz y 1% de soja).

## ZAH 2: Zona mixta del sur oeste

Series de suelo seleccionadas: Epecuén, Bolívar, Tres Arroyos, Piedritas, Laguna Puán, Cascada, Erize, Puán, Estación Rivera, Chasicó, La Colina, Guaminí, Estancia Ojo de Agua.

En la Tabla siguiente se presentan las series finales seleccionadas para la ZAH 2. Se indica la clasificación taxonómica, aptitud de uso, y propiedades asociadas necesarias para el cálculo de la EVT en el CropWat.

SERIE ZAH 2	Sub grupo	Aptitud uso	1- agua disponible (mm/m) <sup>*1</sup>	2- Máxima tasa de infiltración (mm/día)	3-profundidad Efectiva (cm)
Estancia "Ojo de agua"	Paleudol Petrocálcico	IV s	63	23	37 cm Tosca
Guaminí	Hapludol Petrocálcico	III s	85	32	75 cm Tosca
La Colina	Hapludol típico	II s-III s	120	32	a 70 cm hidromorfismo y sodio
Chasicó	Paleustol petrocálcico	IV s	84	27	a 50 cm tosca
Estación Rivera	Hapludol Petrocálcico	III s	85	32	85 cm Tosca
Púan	Paleudol Petrocálcico	III s	90	32	85 cm Tosca
Erize	Paleustol Petrocálcico	III sc	104	27	a 80 cm tosca
Cascada	Paleudol Petrocálcico	III sc	77	25	a 60 cm tosca
Laguna Puán	Argiudol abruptico	II w	120	20	100 cm
Piedritas	Hapludol éntico	III s	97	36	a 80 cm hidromorfismo
Tres Arroyos	Paleudol petrocálcico	IVes	100	28	a 80 cm tosca
Bolívar	Hapludol éntico	III s	85	36	Sin limitantes, poner profundidad de enraizamiento por cultivo

**Tabla III-11. ZAH 2. Series de suelos seleccionadas**

### ZAH 3: Zona mixta del centro-sur

Series de suelo seleccionadas: Tres Arroyos, Mar del Plata, Tandil, Azul, Laprida, Semillero Buck, Balcarce, Ramón Santa Marina, Ochandio y Necochea.

SERIE ZAH 3	Sub grupo	Aptitud uso	1-agua disponible (mm/m)	2- máxima tasa de infiltración (mm/día)	3- profundidad efectiva (cm)
Ramón Santa Marina	Argiudol Típico	IIes	118	34	80 cm
Balcarce	Paleudol Petrocálcico	IIes	115	30	a 70 cm tosca
Semillero Buck	Argiudol Típico	III e	135	32	Sin limitante, poner prof. de enraizamiento por cultivo
Ochandio	Hapludol típico	II	85	34	100 masivo
Necochea	Argiudol típico	II	110	32	Sin limitante, poner prof. de enraizamiento por cultivo
Laprida	Argiudol Típico	IIc	130	30	100 cm tosca
Azul	Paleudol petrocálcico	III.s.	135	27	88 cm tosca
Tandil	Argiudol Típico	II es	150	30	Sin limitantes hasta 160 cm. prof. de enraizamiento por cultivo
Mar del Plata	Argiudol Típico	II e	155	32	Sin limitante, poner prof. de enraizamiento por cultivo
Tres Arroyos	Paleudol petrocálcico	IVes	100	28	80 cm tosca

**Tabla III-12. ZAH 3. Series de suelos seleccionadas**

#### ZAH 4: Zona ganadera del la Depresión del Salado y Depresión de Laprida

Series de suelo seleccionadas: Olavarría, Maipú, Bolívar, Tres Arroyos, Mar del Plata, La Tigra, Tandil, Udaondo, Ayacucho, Saladillo, La Loma, El Toro, La Delicia, Guillermo, Cobo, Las Armas, Egaña y Los Naranjos.

SERIE ZAH 4	Taxonomía	Capacidad de uso	1- agua disponible (mm/m)	2- máxima tasa de infiltración (mm/día)	3- profundidad efectiva (cm)
Los Naranjos	Hapludol tapto árgico	II w	130	32	85 cm. Hidromorfismo
Egaña	Argiudol típico	II w	125	33	Sin limitantes
Las Armas	Hapludol tapto nátrico	IV ws	135	<b>24</b>	40 hidromorfismo alcalinidad
Cobo	Argiudol abrupto	II w	130	<b>28</b>	78 cm. Hidromorfismo
Olavarría	Paleodol petrocálcico	IV es	100	26	66 cm. Tosca
Guillermo	Paleodol petrocálcico	III s	110	26	84 cm. Tosca
La Delicia	Paleodol petrocálcico	IV s	80	25	47 cm. Tosca
El Toro	Hapludol tapto árgico	II s	110	30	100 cm. Hidromorfismo
La Loma	Paleodol petrocálcico	III es	73	27	55 cm. Tosca
Saladillo	Hapludol tapto árgico	II w	120	31	70 cm. Hidromorfismo
Maipú	Argialbol	IV ws	135	29	44 hidromorfismo
Udaondo	Argiudol abrupto	III w	140	26	42 cm. Hidromorfismo
Tandil	Argiudol típico	II es	150	32	Sin limitantes hasta 160. poner prof. de enraizamiento por cultivo
Mar del Plata	Argiudol típico	II e	155	30	Sin limitante, poner prof. de enraizamiento por cultivo
Tres Arroyos	Paleodol petrocálcico	IV es	100	28	80 cm tosca
Bolívar	Hapludol éntico	III s	85	34	Sin limitante, poner prof. de enraizamiento por cultivo

Tabla III-13. ZAH 4. Series de suelos seleccionadas

## ZAH 5: Zona del Noreste.

Series de suelo seleccionadas: Río Tala, Mercedes, Solís, Guin, Capitán Sarmiento, Pórtela, Ramallo y Udaondo

SERIE ZAH 5	Taxonomía	Capacidad de uso	1- agua disponible (mm/m)	2- máxima tasa de infiltración (mm/día)	3- profundidad efectiva (cm)
Río Tala	Paleudol petrocálcico	III es	168	28	107 cm cementado
Mercedes	Argiudol típico	II w	132	34	Sin limitante poner prof. de enraizamiento por cultivo
Solis	Argiudol vértico	III w	180	26	Sin limitante
Guin	Argiudol ácuico	II w	180	27	poner prof de enraizamiento por cultivo
Capitán Sarmiento	Argiudol abruptico	II s	167	26	Sin limitante
Pórtela	Argiudol vértico	III s	195	26	poner prof. de enraizamiento por cultivo
Ramallo	Argiudol vértico	II w	170	26	Sin limitante poner prof. de enraizamiento por cultivo
Udaondo	Argiudol abruptico	III w	140	26	42 cm. Hidromorfismo

**Tabla III-14. ZAH 5. Series de suelos seleccionadas**

## ZAH 6: Zona mixta del centro.

Series de suelo seleccionadas: Estación Naón, Bragado, O'Higgins, Ortiz de Rosas, Chacabuco, Norumbega, y Bolívar.

SERIE ZAH 6	Taxonomía	Capacidad de uso	1-agua disponible (mm/m)	2-máxima tasa de infiltración (mm/día)	3-profundidad efectiva (cm)
Estación Naón	Hapludol típico	II s	110	36	Sin limitantes poner prof. de enraizamiento por cultivo
Bragado	Hapludol típico	II s	120	36	Sin limitantes poner prof. de enraizamiento por cultivo
O'Higgins	Argiudol típico	I.1	110	32	Sin limitantes poner prof. de enraizamiento por cultivo
Chacabuco	Argiudol típico	II w	130	32	Sin limitantes poner prof. de enraizamiento por cultivo
Norumbega	Hapludol éntico	III s	100	36	Sin limitantes poner prof. de enraizamiento por cultivo
Ortiz de Rosas	Hapludol thapto árgico	II w	118	28	35 cm hidromorfismo.
Bolívar	Hapludol éntico	III s	85	36	Sin limitante poner prof. de enraizamiento por cultivo

**Tabla III-15. ZAH 6. Series de suelos seleccionadas**

## ZAH 7: Zona mixta del noroeste.

Series de suelo seleccionadas: Bolívar, Piedritas, Lincoln, Ortiz de Rosas, Epecuén, Cañada Seca, Pichincha, Ameghino, Santa Isabel, El Abolengo, Carlos Tejedor, y Saforcada.

SERIE ZAH 7	Taxonomía	Capacidad de uso	1- agua disponible (mm/m)	2- máxima tasa de infiltración (mm/día)	3- profundidad efectiva (cm)
Carlos Tejedor	Hapludol típico		120	32	100 cm Sin limitantes
El Abolengo	Hapludol típico		120	34	100 cm Sin limitantes
Saforcada	Hapludol éntico	IV es	50	34	Sin limitantes
Santa Isabel	Hapludol típico	I-3	114	32	Sin limitantes
Ameghino	Hapludol típico	I-3	120	33	100 cm Sin limitantes
Pichincha			120	32	100 cm Sin limitantes
Cañada Seca	Hapludol típico		100	32	100 cm Sin limitantes
Epecuén			120	33	100 cm Sin limitantes
Ortiz de Rosas	Hapludol thapto árgico	II w	118	28	<b>35 cm.</b> Hidromorfismo.
Lincoln	Hapludol típico	II s	97	32	Sin limitantes.
Piedritas	Hapludol éntico	III s	97	36	80 hidromorfismo
Bolívar	Hapludol éntico	II s	85	36	Sin limitante, poner prof. de enraizamiento por cultivo

**Tabla III-16. ZAH 7. Series de suelos seleccionadas**

## ZAH 8: Zona núcleo agrícola del norte.

Series de suelo seleccionadas: Urquiza, Delgado, Pergamino, Arrecifes, Junín, Gouin, Capital Sarmiento, O'Higgins, Arroyo Dulce, Chacabuco, Ramallo y Rojas.

SERIE ZAH 8	Taxonomía	Capacidad de uso	1- agua disponible (mm/m)	2- Máxima tasa de infiltración (mm/día)	3- profundidad efectiva (cm)
Urquiza	Paleudol típico	II w	155	27	Sin limitantes.
Delgado	Argiudol típico	I-1	123	32	Sin limitantes.
Pergamino	Argiudol típico	I-1	155	32	Sin limitantes.
Arrecifes	Argiudol ácuico	II e	132	27	Sin limitantes.
Junín	Hapludol típico	III es	98	36	Sin limitantes.
Gouin	Argiudol ácuico	II w	180	27	Sin limitantes.
Capitán Sarmiento	Argiudol abruptico	II s	200	27	Sin limitantes.
O' Higgins	Argiudol típico	I 1	110	32	Sin limitantes.
Arroyo Dulce	Argiudol típico	I 1	135	31	Sin limitantes.
Chacabuco	Argiudol típico	II w	160	32	Sin limitantes.
Ramallo	Argiudol vértico	II w	170	27	Sin limitantes.
Rojas	Argiudol típico	I 1	128	32	Sin limitantes.

**Tabla III-17. ZAH 8. Series de suelos seleccionadas**

Se destaca que las tablas anteriores indican -en las columnas 1, 2 y 3- aquellos valores que varían por serie, y que se utilizaron para determinar los datos a cargar en CropWat. Los valores utilizados para estimar la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP), según textura fueron analizados en base a diferentes fuentes, en tanto que para determinar la máxima tasa de infiltración del suelo se partió de escala dada por Etchevehere (1976).

Respecto a la profundidad efectiva para las raíces, en caso de no existir limitantes en el perfil, se consideró la máxima profundidad radicular de los cultivos según FAO (nº 56). Los valores sin limitantes de este parámetro para los cultivos considerados por FAO son: soja (130 cm), girasol (150 cm), trigo (180 cm), y maíz (170 cm). No obstante ello, y en virtud de que el programa utiliza un valor por defecto

para significar la ausencia de limitantes, se mantuvo el valor de 900 cm, toda vez que el análisis de los horizontes de suelos determinó libre crecimiento de las raíces sin limitantes en profundidad.

La condición antecedente del cultivo de agotamiento inicial de la humedad del suelo se modeló teniendo en cuenta la característica del año en cuanto a sus precipitaciones. En tal sentido, se tomaron las siguientes condiciones antecedentes:

Para año húmedo: agotamiento del agua en el perfil del 20% respecto de la capacidad de campo propia del perfil (ADT = 20%).

Para año normal: agotamiento del agua en el perfil del 50% respecto de la capacidad de campo propia del perfil (ADT = 50%).

Para año seco: agotamiento del agua en el perfil del 80% respecto de la capacidad de campo propia del perfil (ADT = 80%).

#### 5°) Datos de cultivos

Los datos de cultivo fueron determinados para cada una de las regiones homogéneas en que fue dividida la provincia. De las definiciones de la FAO para el establecimiento de períodos del cultivo de importancia para la determinación de la demanda evapotranspirativa de los cultivos se asumen como datos definitorios, para la aplicación de la metodología, las fechas de siembra y cosecha de los cultivos seleccionados; y los ciclos de cultivo y los días desde la siembra para la definición de los períodos de crecimiento de los cultivos analizados.

Para las fechas de siembra y cosecha se asumen como válidas las presentadas por la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) del MAGyP. Esta ubicación temporal del cultivo en el año responde a situaciones medias dentro de un período acotado para las distintas zonas, considerando los híbridos o variedades más difundidos. En tal sentido y para las distintas ZAH de la provincia de Buenos Aires, se establecen las respectivas fechas de siembra, fecha de cosecha, y ciclo total de cultivo que se presentan a continuación.

ZAH	Girasol			Maíz		
	Fecha de Siembra	Fecha de Cosecha	Ciclo (días)	Fecha de Siembra	Fecha de Cosecha	Ciclo (días)
ZONA 1	20-oct	26-mar	157	10-Oct	05-abr	177
ZONA 2	15-oct	12-mar	148	1-Oct	27-mar	177
ZONA 3	19-oct	12-mar	144	19-Oct	17-abr	180
ZONA 4	13-oct	10-mar	148	29-sep	23-mar	175
ZONA 5	15-oct	08-mar	144	10-sep	12-feb	155
ZONA 6	15-oct	08-mar	144	10-sep	12-feb	155
ZONA 7	20-oct	15-mar	146	10-sep	09-feb	152
ZONA 8	25-oct	16-mar	142	10-sep	09-feb	152

**Tabla III-18. Fechas de siembra, cosecha y duración de ciclos de Girasol y Maíz**

ZAH	Soja de primera			Trigo		
	Fecha de Siembra	Fecha de Cosecha	Ciclo (días)	Fecha de Siembra	Fecha de Cosecha	Ciclo (días)
ZONA 1	12-nov	11-abr	150	20-jun	04-ene	198
ZONA 2	20-oct	23-mar	154	20-jun	04-ene	198
ZONA 3	12-nov	11-abr	150	20-jun	27-dic	159
ZONA 4	20-oct	23-mar	154	15-jun	10-dic	178
ZONA 5	01-nov	21-mar	140	15-jun	09-dic	177
ZONA 6	01-nov	21-mar	140	15-jun	09-dic	177
ZONA 7	01-nov	16-mar	135	15-jun	07-dic	175
ZONA 8	01-nov	16-mar	135	15-jun	07-dic	175

**Tabla III-19. Fechas de siembra, cosecha y duración de ciclos de Soja y Trigo**

Para el establecimiento de las cuatro etapas de crecimiento del cultivo se tuvieron en cuenta la longitud de las mismas etapas informadas por la FAO, en coincidencia con la duración del ciclo total de cada cultivo para la provincia. Para cada cultivo y ZAH se verificó la ocurrencia de la finalización de la etapa de desarrollo del cultivo. Para tal verificación se consideró el inicio de la floración como período fenológico en el cual los cultivos considerados alcanzan la máxima cobertura.

Se seleccionó el inicio de la floración como período determinante de las etapas de crecimiento dado que, por lo general, para el período de tiempo entre la siembra y la cobertura completa del cultivo las variaciones responden al clima, latitud, altitud y fecha de siembra. Luego, una vez alcanzada la completa cobertura vegetal, la tasa adicional de desarrollo fenológico es más dependiente del genotipo de la planta que de las condiciones climáticas.

La longitud en días desde la siembra y hasta el inicio de la floración se fundamentó en lo informado por el ORA-MAGyP, cotejado con ensayos comparativos de

rendimiento del INTA y/o entidades vinculadas al sector, en los que se señala como información adicional la ocurrencia de la etapa de floración de los cultivos. Para el dimensionamiento del resto de las etapas de crecimiento del cultivo se asumen como válidas las proporcionalidades en que se presentan a partir de lo informado por la FAO para los cultivos seleccionados.

ZAH	Maíz				Girasol			
	Etapa Inicial	Etapa de Desarrollo	Etapa Media	Etapa de Fin de Temporada	Etapa Inicial	Etapa de Desarrollo	Etapa Media	Etapa de Fin de Temporada
ZONA 1	31	42	52	52	30	42	54	30
ZONA 2	31	42	52	52	28	40	51	28
ZONA 3	32	42	53	53	28	39	50	28
ZONA 4	31	41	51	51	28	40	51	28
ZONA 5	27	36	46	46	28	39	50	28
ZONA 6	27	36	46	46	28	39	50	28
ZONA 7	27	36	45	45	28	39	51	28
ZONA 8	27	36	45	45	27	38	49	27

**Tabla III-20. Etapas de crecimiento de Maíz y Girasol**

ZAH	Trigo				Soja de primera			
	Etapa Inicial	Etapa de Desarrollo	Etapa Media	Etapa de Fin de Temporada	Etapa Inicial	Etapa de Desarrollo	Etapa Media	Etapa de Fin de Temporada
ZONA 1	22	66	77	33	29	35	60	25
ZONA 2	22	66	77	33	30	36	62	26
ZONA 3	18	53	62	27	29	35	60	25
ZONA 4	20	59	69	30	30	36	62	26
ZONA 5	20	59	69	30	27	33	56	23
ZONA 6	20	59	69	30	27	33	56	23
ZONA 7	19	58	68	29	26	32	54	23
ZONA 8	19	58	68	29	26	32	54	23

**Tabla III-21. Etapas de crecimiento de Trigo y Soja**

### **Coefficiente Único de Cultivo**

Durante el periodo de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del  $K_c$  a lo largo de las distintas etapas de crecimiento del cultivo queda representada por la curva del coeficiente del cultivo. La programación por CropWat requiere sólo de tres valores de  $K_c$  para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo. Estos valores de  $K_c$  son los correspondientes a la etapa inicial ( $K_{c_{inic}}$ ), la etapa de mediados de temporada ( $K_{c_{med}}$ ) y la etapa final ( $K_{c_{fin}}$ ). Se adoptan luego los valores de  $K_c$  descriptos en el Reporte 56 de la FAO, para los cultivos

seleccionados de la provincia de Buenos Aires. A continuación, se presentan los valores de  $K_c$  para cada cultivo.

Cultivo	$K_c$ inicial	$K_c$ medio	$K_c$ final
Maíz	0,30	1,20	0,35
Girasol	0,35	1,15	0,35
Soja	0,40	1,15	0,5
Trigo	0,70	1,15	0,25

Tabla III-22. Valores de  $K_c$  de cultivos

### Curva de coeficiente de cultivo

La curva de coeficiente único de cultivo representa las variaciones de la demanda evapotranspirativa a lo largo de todo el ciclo del cultivo y hasta el momento de la cosecha. Luego de la determinación de las longitudes de las etapas de desarrollo y de los coeficientes de cultivos correspondientes se puede proceder a la elaboración de la curva del coeficiente del cultivo. Esta curva representa los cambios del coeficiente del cultivo a lo largo de la temporada de crecimiento del cultivo. La forma de la curva representa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo durante el desarrollo de la planta y la maduración, los cuales afectan el cociente entre  $ET_c$  y  $ET_0$ . El programa CropWat, con la incorporación de las longitudes de las etapas de crecimiento del cultivo y los valores de  $K_c$ , conforma una curva similar a la esquematizada, que confronta con los datos de  $ET_0$ .

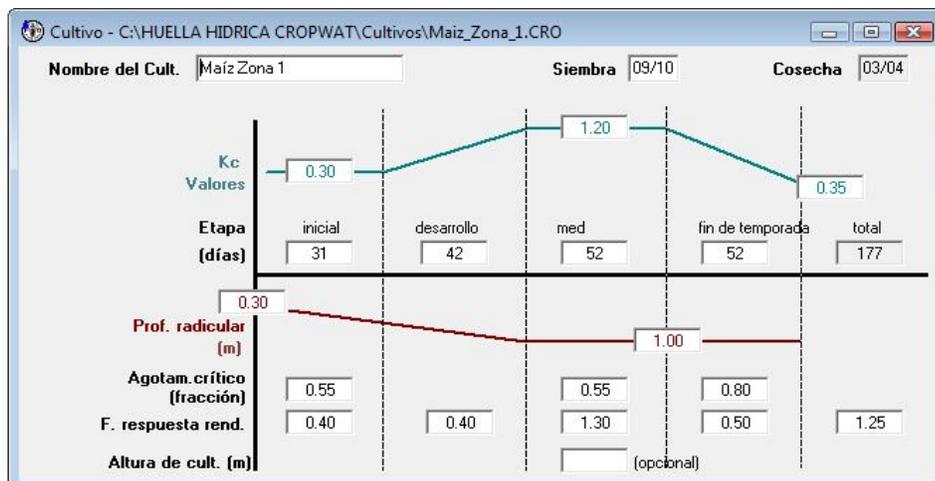


Ilustración III-6. Curva de  $K_c$  esquematizada en cuadro de diálogo CropWat

## 6º) Rendimiento de los cultivos

Los datos de rendimiento máximo de cada cultivo por serie de suelo utilizado para el cálculo de la Huella Hídrica, y sobre los cuales se le aplicó la disminución de rendimiento calculada por el CropWat, fueron estimados por conocimiento experto, debido a que los rendimientos de estadísticas por partido no reflejan el rendimiento en relación al tipo de suelo, ya que son promedios globales por partido. De este modo, a los datos de rendimiento proporcionados por SAGPyA para cada uno de los partidos que componen cada ZAH, durante cuatro años consecutivos (2008 al 2012), se los correlacionó con el régimen climático de cada año, estableciéndose como año seco, los rendimientos del ciclo 2008/2009, y como año húmedo los rendimientos del ciclo 2010/2011. A continuación se tomaron las series de suelo más representativas en cada ZAH, procediéndose a comparar los valores de rendimiento promedio para cada cultivo, obtenidos de la forma antes mencionada, con información de los expertos del grupo de estudio compilada luego de numerosos años de experiencias a campo. De esta manera fue posible corregir algunos datos anormales, que no guardaban consistencia con la información disponible, y establecer el potencial de rendimiento máximo de acuerdo al tipo de suelo y régimen climático.

A continuación se presentan en formato de tabla los valores máximos potenciales, por serie de suelo, cultivo y ZAH, utilizados en el cálculo de Huella Hídrica Verde.

ZAH	Serie	Rend. Max Girasol (Kg/ha)	Rend. Max Maíz (Kg/ha)	Rend. Max Soja 1ra (Kg/ha)	Rend. Max Trigo (Kg/ha)
2	La colina	3.400	11.500	4.600	6.000
2	Chasico	1.800	5.000	3.000	4.500
2	Erize	2.000	8.000	4.000	4.500
2	Piedritas	1.600	7.000	3.000	3.000
2	Tres Arroyos	1.700	6.500	3.000	4.500
2	Bolivar	2.000	8.500	3.400	4.000
2	Estancia Ojo de Agua	900	3.500	2.500	2.800
2	Guamini	1.300	7.000	3.000	3.500
2	Estación Rivera	1.600	7.000	3.000	3.500
2	Puan	1.800	7.000	3.000	4.000
2	Cascada	1.300	5.500	2.800	3.500
2	Laguna Puan	1.500	8.500	3.500	4.000

**Tabla III-23. Rendimientos máximos por Serie de Suelo en ZAH 2**

ZAH	Serie	Rend. Max Girasol (Kg/ha)	Rend. Max Maiz (Kg/ha)	Rend. Max Soja 1ra (Kg/ha)	Rend. Max Trigo (Kg/ha)
3	Santamarina	2.000	7.000	3.200	4.500
3	Balcarce	1.900	8.500	4.000	5.000
3	Semillero Buck	3.000	12.000	4.000	6.000
3	Ochandío	2.500	11.000	3.800	5.500
3	Necochea	3.000	10.000	3.800	6.000
3	Laprida	3.000	12.000	4.000	6.000
3	Azul	1.900	8.000	3.900	5.800
3	Tandil	3.000	12.000	4.500	6.500
3	Mar del Plata	3.200	12.000	4.500	6.500

**Tabla III-24. Rendimientos máximos por Serie de Suelo en ZAH 3**

ZAH	Serie	Rend. Max Girasol (Kg/ha)	Rend. Max Maiz (Kg/ha)	Rend. Max Soja 1ra (Kg/ha)	Rend. Max Trigo (Kg/ha)
4	Los Naranjos	3.000	11.000	4.000	5.000
4	Egaña	3.000	9.000	3.800	5.500
4	Las Armas	3.000	11.000	4.300	6.000
4	Cobo	2.700	8.000	3.800	4.500
4	Olavarría	1.800	6.500	3.000	4.500
4	Guillermo	2.200	7.500	3.000	5.000
4	La Delicia	900	4.000	2.500	3.000
4	El Toro	1.800	9.000	3.000	5.000
4	La Loma	1.300	5.000	2.800	4.000
4	Saladillo	2.900	10.000	4.000	5.500
4	Maipu	2.800	8.500	3.800	4.500
4	Udaondo	2.700	9.000	3.500	4.500

**Tabla III-25. Rendimientos máximos por Serie de Suelo en ZAH 4**

ZAH	Serie	Rend. Max Girasol (Kg/ha)	Rend. Max Maiz (Kg/ha)	Rend. Max Soja 1ra (Kg/ha)	Rend. Max Trigo (Kg/ha)
5	Río Tala	2.400	9.000	3.800	4.500
5	Mercedes	2.400	9.000	3.800	4.500
5	Solís	2.200	8.500	3.600	4.300
5	Gouin	2.800	8.500	4.200	5.000
5	Capitan Sarmiento	2.600	11.000	4.200	5.000
5	Portela	2.500	9.000	3.800	4.200
5	Ramallo	2.400	10.000	4.000	4.500

**Tabla III-26. Rendimientos máximos por Serie de Suelo en ZAH 5**

ZAH	Serie	Rend. Max Girasol (Kg/ha)	Rend. Max Maiz (Kg/ha)	Rend. Max Soja 1ra (Kg/ha)	Rend. Max Trigo (Kg/ha)
6	Estación Naón	3.000	9.500	4.000	5.000
6	Bragado	3.200	11.000	5.000	5.500
6	O'Higgins	3.500	12.000	5.000	6.000
6	Chacabuco	3.400	12.000	5.000	5.800
6	Ortiz de Rosa	3.200	10.000	4.000	4.800
6	Norumbega	3.000	8.500	3.800	4.000

**Tabla III-27. Rendimientos máximos por Serie de Suelo en ZAH 6**

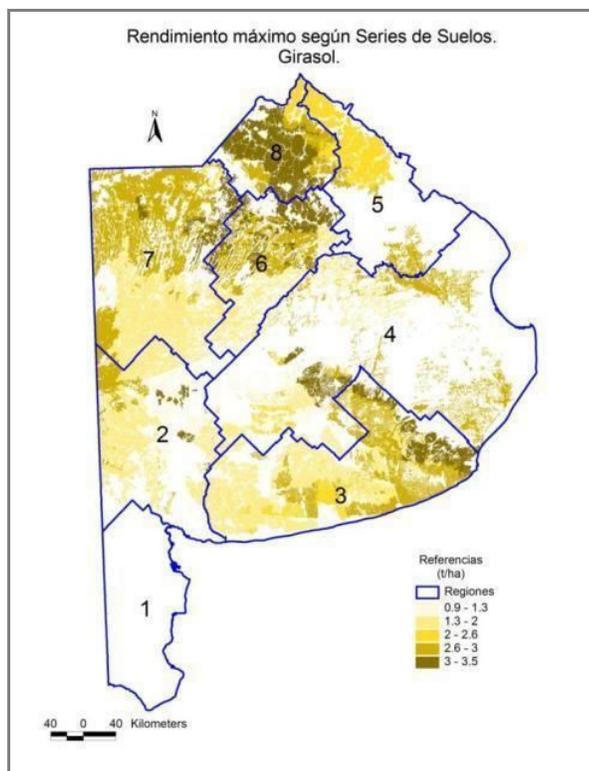
ZAH	Serie	Rend. Max Girasol (Kg/ha)	Rend. Max Maiz (Kg/ha)	Rend. Max Soja 1ra (Kg/ha)	Rend. Max Trigo (Kg/ha)
7	Carlos Tejedor	3.000	10.000	4.000	4.000
7	El Abolengo	3.000	10.000	4.000	4.000
7	Saforcada	2.500	8.000	3.000	4.000
7	Santa Isabel	3.000	11.000	4.500	5.500
7	Ameghino	3.000	11.000	4.500	5.500
7	Pichincha	2.720	8.836	3.285	4.104
7	Cañada Seca	2.720	8.836	3.285	4.104
7	Epecuén	2.720	8.836	3.285	4.104
7	Lincoln	3.000	12.000	4.500	5.500

**Tabla III-28. Rendimientos máximos por Serie de Suelo en ZAH 7**

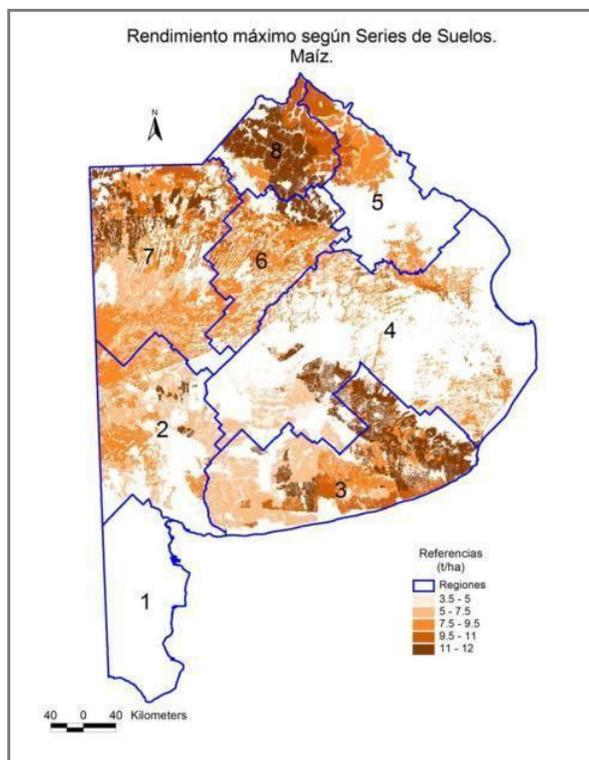
ZAH	Serie	Rend. Max Girasol (Kg/ha)	Rend. Max Maiz (Kg/ha)	Rend. Max Soja 1ra (Kg/ha)	Rend. Max Trigo (Kg/ha)
8	Urquiza	3.000	11.000	4.500	5.500
8	Delgado	3.500	12.000	5.000	6.000
8	Pergamino	3.500	12.000	5.000	6.000
8	Arrecifes	3.000	11.000	4.800	5.500
8	Junin	3.000	9.000	4.300	5.200
8	Arroyo Dulce	3.500	12.000	5.000	6.000
8	Rojas	3.500	12.000	5.000	6.000

**Tabla III-29. Rendimientos máximos por Serie de Suelo en ZAH 8**

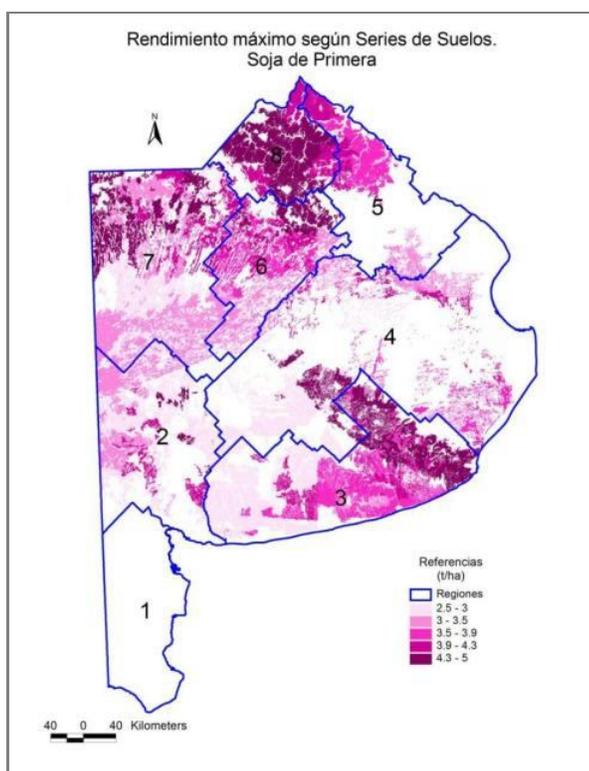
A continuación, los mismos datos son representados en GIS por serie de suelo para cada uno de los cultivos.



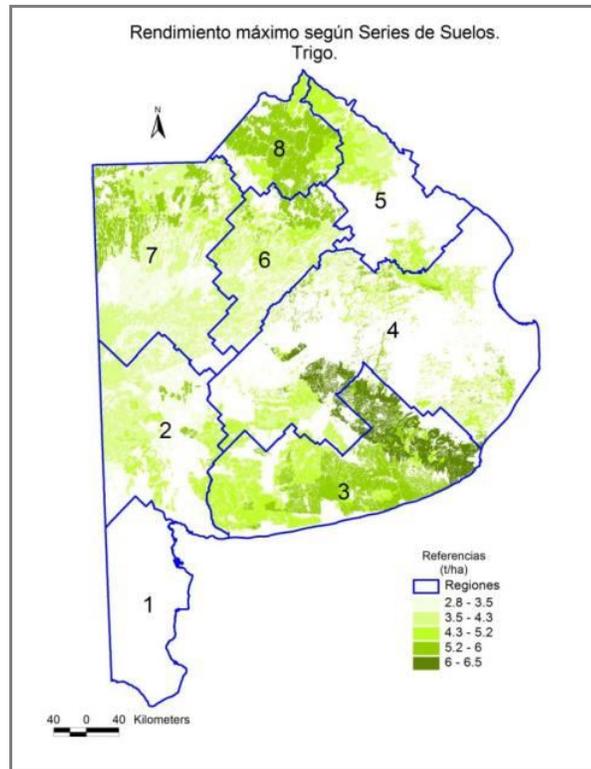
**Mapa 23. Rendimientos Máximos de Girasol**



**Mapa 24. Rendimiento máximo de Maíz**



**Mapa 25. Rendimiento máximo de Soja**



**Mapa 26. Rendimiento máximo de Trigo**

### **Reducción de Rendimientos por déficit de humedad**

Los valores utilizados para el factor de respuesta del rendimiento frente al déficit de humedad ( $K_y$ ), corresponden a los suministrados por defecto por el software CropWat para cada uno de los cultivos de interés. La siguiente tabla detalla los valores para cada una de las cuatro etapas de crecimiento y desarrollo, mientras que en la columna final se indica el valor de  $K_y$  promedio para el período completo del cultivo (desde fecha de siembra a fecha de cosecha).

Cultivo	Etapas Inicial	Etapas de Desarrollo	Etapas Media	Etapas de Fin de Temporada	Temporada Completa
Girasol	0,40	0,60	0,80	0,80	<b>0,95</b>
Maíz	0,40	0,40	1,30	0,50	<b>1,25</b>
Soja 1ra	0,40	0,80	1,00	0,40	<b>0,85</b>
Trigo	0,20	0,60	0,50	0,40	<b>1,00</b>

**Tabla III-30. Valores de  $K_y$  utilizados para el cálculo de reducción de rendimiento frente al déficit de humedad**

Como se observa, la respuesta del rendimiento para el caso del maíz (1,25) es más que proporcional ( $K_y > 1$ ) al aumento de déficit de agua del cultivo. En tanto, para el trigo, el factor es directamente proporcional ( $K_y = 1$ ), mientras que para girasol (0,95) y soja de primera ocupación (0,85) el factor de reducción de rendimiento es menos que proporcional ( $K_y < 1$ ).

#### **u.- Metodología tomando como base el AquaCrop**

##### 1) Introducción

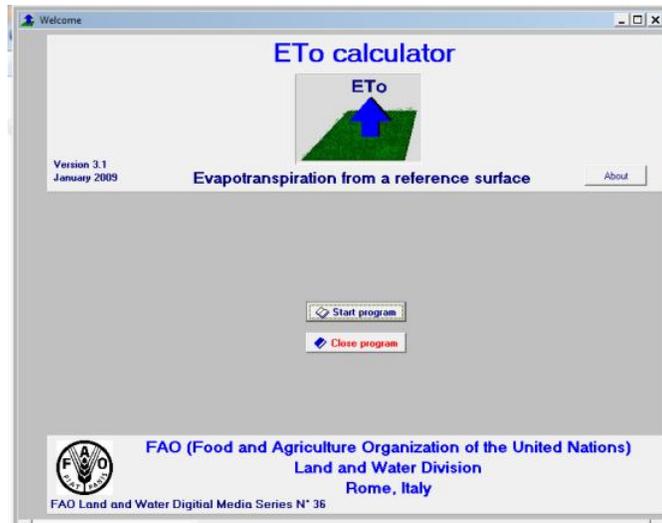
A fin de modelar la productividad del agua, se utilizaron dos programas desarrollados por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas (AGL) de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), denominados ET<sub>0</sub> Calculator 3.1; y AquaCrop 4.0.

Con el software AquaCrop se realizaron múltiples corridas del programa para los cultivos evaluados (trigo, soja, girasol y maíz) y para diferentes años (secos, húmedos y normales) utilizando la información aportada por AACREA proveniente de su red de ensayos a nivel provincial. Por otro lado, se simuló el efecto que el riego hubiera causado sobre el rendimiento en casos puntuales.

##### 2) ET<sub>0</sub> Calculator 3.1

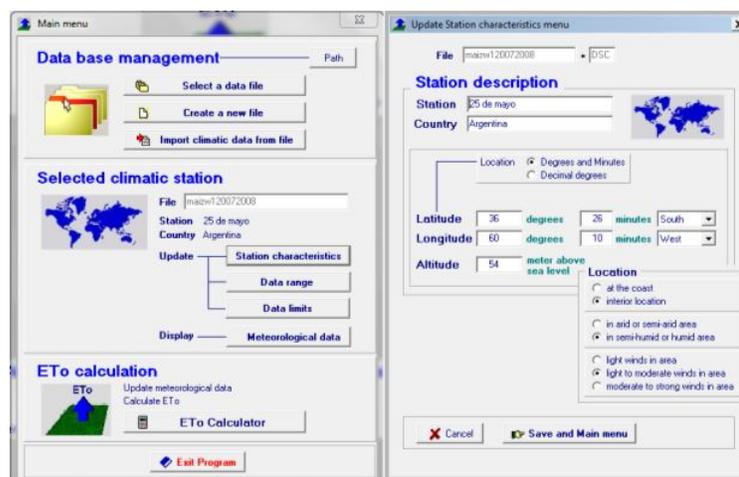
El ET<sub>0</sub> Calculator (*Raes D. 2009*) es una aplicación de FAO que permite determinar la ET<sub>0</sub>. Para ello se utilizó como insumo la información de ensayos propios aportada por AACREA referida a la localización de cada ensayo (latitud, longitud y altitud), y los registros de temperatura máxima y mínima para el período comprendido entre las fechas de siembra y cosecha de cada ensayo.

En el programa, y desde el punto de vista operativo, el procedimiento se inicia con la creación de una estación. En ella se cargan los datos referidos a la localización de la misma. En el siguiente ejemplo se utilizaron los datos correspondientes al ensayo de maíz realizado en Veinticinco de Mayo (prov. de Buenos Aires) durante la campaña 2007 a 2008.



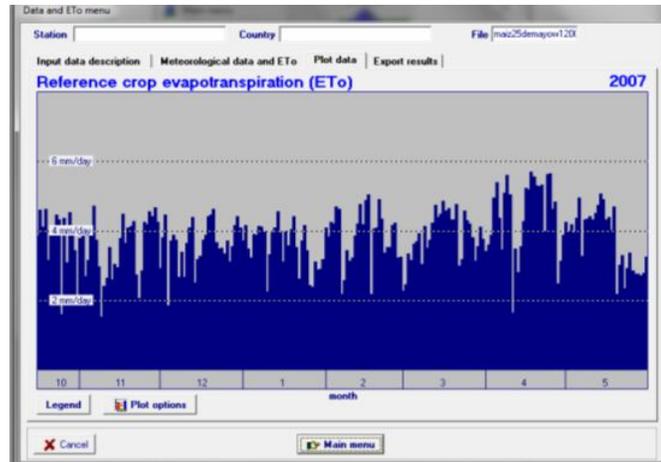
**Ilustración III-7. Pantalla inicial del ET<sub>0</sub>**

Una vez creada la estación, deben importarse los datos de temperatura máxima y mínima previamente creados con la información de AACREA. Esos archivos poseen la extensión .CXT.



**Ilustración III-8. Menú principal ET<sub>0</sub>**

Posteriormente, el programa calcula la ET<sub>0</sub> en mm/día para el rango de fechas estipulado, tal como puede apreciarse en la siguiente ilustración.

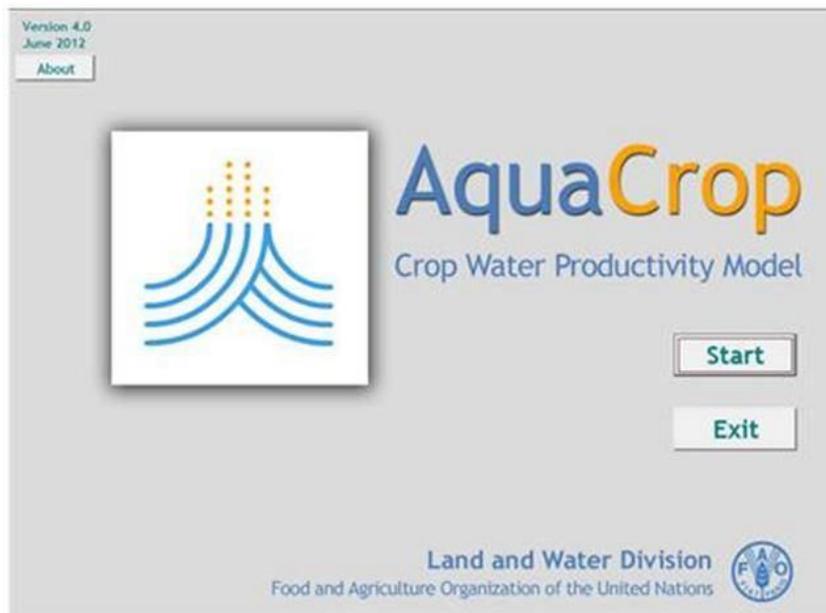


**Ilustración III-9. Grafico de  $ET_0$**

La información se puede guardar en un archivo que posee la extensión .ETO; el cual será posteriormente utilizado por el software AquaCrop.

### 3) Breve descripción del software AquaCrop

El modelo AquaCrop simula el rendimiento esperable en función del consumo de agua bajo condiciones de secano, riego complementario, déficit y riego en todo el ciclo. El fundamento del modelo AquaCrop está basado en el uso que el cultivo hace del agua.

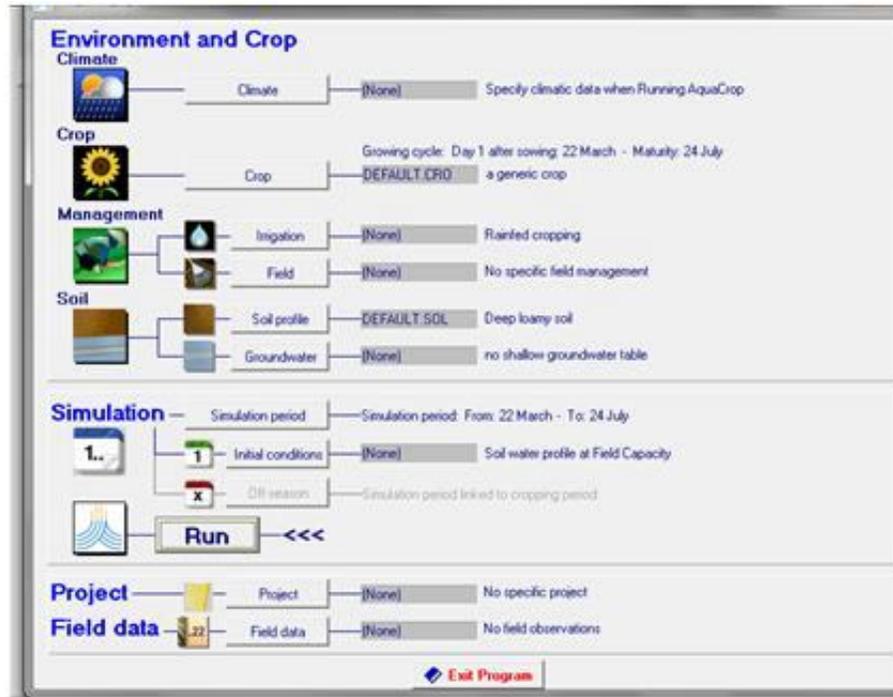


**Ilustración III-10. Pantalla inicial del AquaCrop**

La transpiración es calculada y la misma es traducida en biomasa de acuerdo a parámetros específicos de cada cultivo. Este parámetro es la productividad del agua en biomasa, normalizada por la demanda evaporativa atmosférica y la concentración de CO<sub>2</sub> del aire.

Las simulaciones pueden realizarse en tiempo térmico o en tiempo calendario. El modelo utiliza la cobertura del canopeo del suelo (CC) -en lugar del índice de área foliar (IAF)- como base para el cálculo de la transpiración y para separar la evaporación del suelo de la transpiración. El rendimiento del cultivo se calcula como el producto de la biomasa por el índice de cosecha (IC). Al comienzo del período de formación de rendimiento, el IC aumenta linealmente con el tiempo después de una fase de retardo, aproximadamente hasta la madurez fisiológica. Las respuestas del cultivo al déficit hídrico son simuladas en base a cuatro aproximaciones, que consideran la fracción de agua disponible (modulada por la demanda evaporativa), basada en la sensibilidad diferencial al estrés hídrico de cuatro procesos fundamentales: la expansión del canopeo, el control estomático de la transpiración, la senescencia del canopeo y la dinámica del IC. Este parámetro se puede modificar negativamente o positivamente, dependiendo del nivel de estrés, el tiempo y la duración del área foliar.

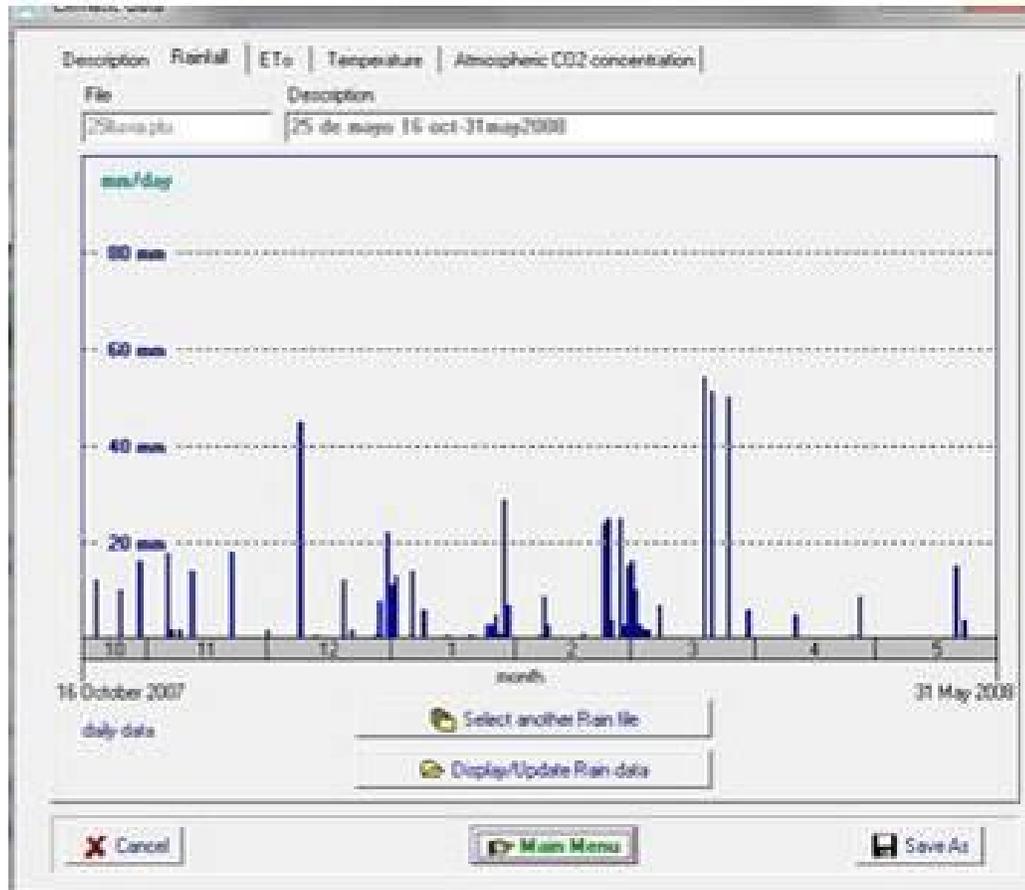
Para la utilización de ambos modelos se utilizaron datos referentes a distintos módulos de ingreso. El modelo AquaCrop posee cuatro módulos: clima, cultivo, manejo y suelo.



**Ilustración III-11. Menú principal del AquaCrop**

#### 4) Módulo climático: Información de entrada

En el módulo de clima se crea un archivo que utiliza los datos de temperatura y ETo generados por el ETo Calculator, más un archivo extensión .PLU donde aparecen las lluvias registradas dentro del período analizado que el programa grafica, como se puede apreciar en la ilustración siguiente.



**Ilustración III-12. AquaCrop. Pantalla de precipitaciones**

##### 5) Módulo de cultivo: Información de entrada

El patrón de manejo de los cultivos (fechas de siembra y cosecha) se tomó de bases de datos locales. Esta base de datos se obtuvo de registros de la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) sobre los cultivos de interés y de bibliografía específica de los cultivos a modelar. En el módulo de cultivo del AquaCrop puede ingresarse un amplio rango de datos. La mayor (menor) disponibilidad de estos registros redunda en una mayor (menor) precisión al momento de correr el programa. El software permite trabajar en dos modos: limitado (*limited set*), y completo (*full set*). En el modo limitado, el programa demanda información referida al desarrollo del cultivo y a parámetros de producción, principalmente fenología y longitud del ciclo del cultivo. La información más importante es la relacionada con la densidad de siembra, tipo de siembra, y simulación del porcentaje de cobertura foliar inicial que influye sobre la evaporación

del suelo en la etapa de instalación del cultivo, entre otros factores. En el modo completo se pueden cargar la mayoría de los parámetros del cultivo y determinar en nivel de influencia que estos tienen sobre el estrés de la planta. Los distintos estrés se tratan por separado, y comprenden el estrés hídrico, el térmico, el salino y el de fertilidad. Una vez elegido el cultivo, el programa nos permite visualizar la variación en el tiempo de la evaporación y la transpiración a través del  $K_e$  y del  $K_{cTr}$  respectivamente. Estos son valores que aporta el programa, pero a su vez pueden ser modificados si se cuenta con información local validada.

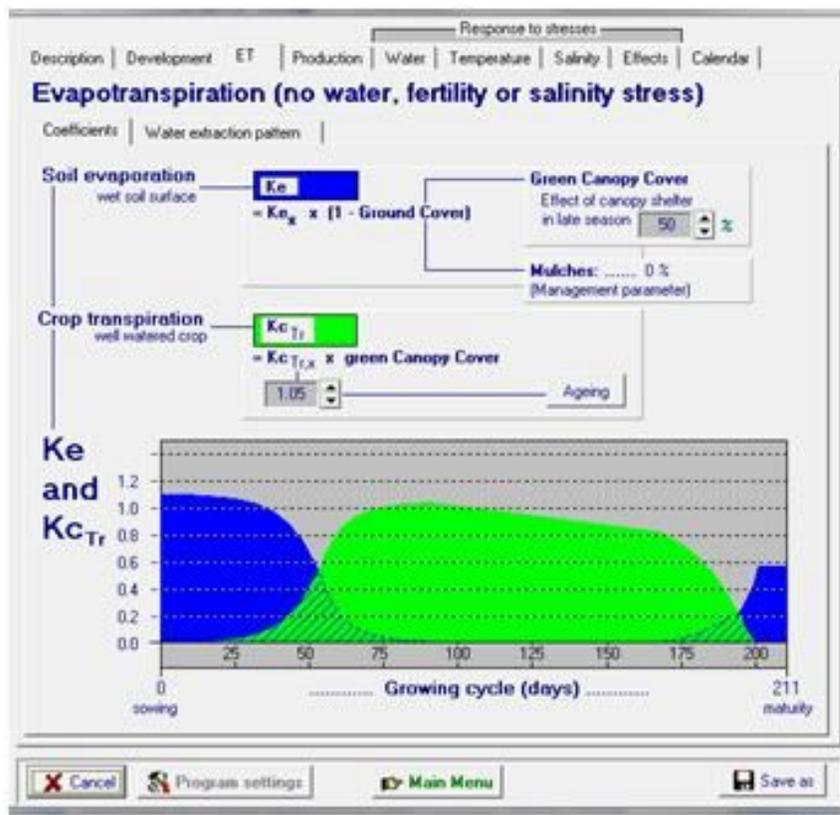
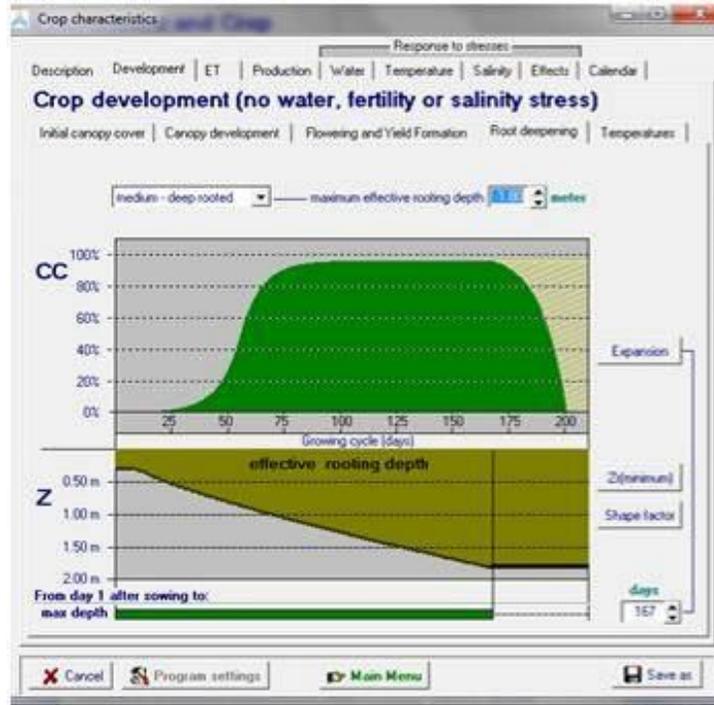


Ilustración III-13. AquaCrop. Variación del  $K_e$  y  $K_{cTr}$

En el módulo de cultivo se carga información referida a la duración de cada una de los períodos fenológicos del cultivo: emergencia, días a cobertura máxima, días a inicio y fin de floración, días a senescencia y días a madurez, así como también información respecto de la profundidad efectiva de las raíces.

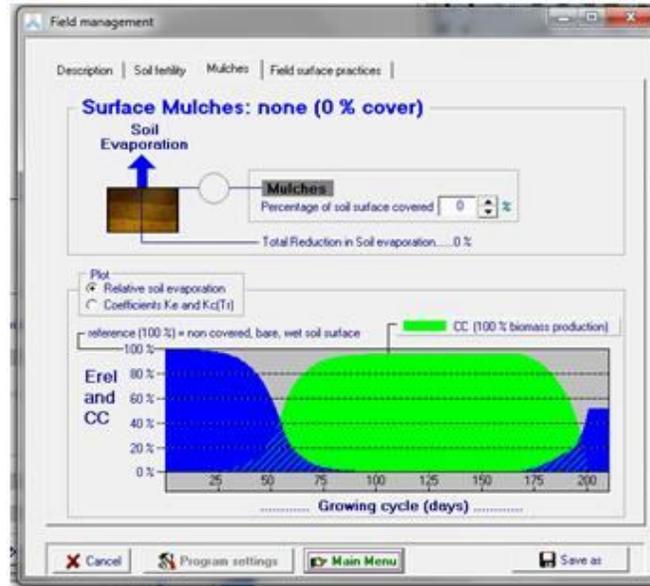


**Ilustración III-14. AquaCrop. Profundidad efectiva de las raíces**

Para efectuar las corridas se trabajó con el set limitado de variables, y en la solapa de estrés de biomasa se utilizaron tres niveles crecientes de estrés causados por baja fertilidad: el cercano al óptimo (near), el moderado (moderate) y el medio.

#### 6) Módulo de manejo: Información de entrada

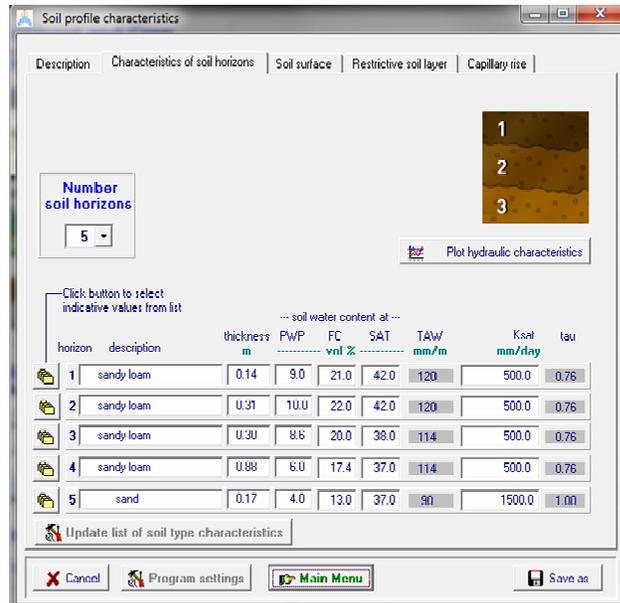
El módulo de manejo está compuesto por dos ítem: el manejo del riego y el manejo del suelo. En él se ingresan aquellas variables que tienen que ver con la fertilidad del suelo, la presencia de cobertura en el suelo que evite la evaporación, y la existencia de prácticas de manejo que eviten el escurrimiento.



**Ilustración III-15. AquaCrop. Superficie cubierta por mulch**

#### 7) Módulo de suelo: Información de entrada

El módulo de suelo está compuesto por dos ítems: el perfil del suelo y la presencia de freáticas cercanas. Aquí se carga la información de cada horizonte del suelo, sus contenidos hídricos referenciales (capacidad de campo, punto de marchitez permanente y saturación), el contenido de humedad del suelo a la siembra, contenidos salinos, la existencia de algún límite al desarrollo de las raíces, la profundidad alcanzada por estas, la existencia de freática cercana a las raíces, la profundidad de la misma, su aporte en mm por día estimado y su salinidad. En la siguiente ilustración se pueden apreciar los distintos horizontes con sus contenidos hídricos referenciales y conductividad hidráulica estimada.



**Ilustración III-16. AquaCrop. Tipos de suelos y contenidos hídricos referenciales**

Una vez cargada toda la información se procede a correr el modelo, que nos permite ver en su primera solapa tres gráficos. En el primero se puede ver la transpiración del cultivo ( $Tr$ ) de color azul, y la óptima (en color gris) por detrás. En el segundo se aprecia el nivel de cobertura ( $CC$ ) de color verde alcanzado por el maíz en la localidad de Veinticinco de Mayo y por detrás (en color gris) el óptimo. Por último, se puede ver el contenido hídrico del suelo ( $Dr$ ) en azul, con tres líneas (de color verde, amarillo y rojo) que indican el nivel de estrés causado sufrido por el cultivo.

La ausencia de lluvia y de riego durante largos períodos de tiempo conduce a una caída en el contenido de agua de la zona radicular por debajo del umbral (línea verde) que afectan a la expansión foliar. Esto dará lugar a una cobertura foliar más lenta de lo esperado. En la ilustración, la cobertura foliar ( $CC$ ) sin estrés hídrico se representa en color gris claro en la parte superior del gráfico como referencia. Una mayor escasez de agua se traducirá en el cierre de los estomas (línea roja), dando lugar a una reducción en la transpiración del cultivo. En el gráfico, la transpiración ( $Tr$ ) máxima que se puede alcanzar cuando el cultivo está bien regado se representa en color gris claro en la parte posterior, como referencia. Un estrés hídrico severo podría incluso provocar la senescencia temprana del cultivo cuando el agotamiento en la zona radicular supera el umbral de senescencia (línea amarilla).

En el mismo gráfico puede verse también el período de floración, particularmente sensible para el maíz, en color amarillo. En la parte superior y central se pueden ver la producción de biomasa (23.981 ton/ha) y el rendimiento estimado (9.605 ton/ha) además de los niveles de estrés registrados por el cultivo.

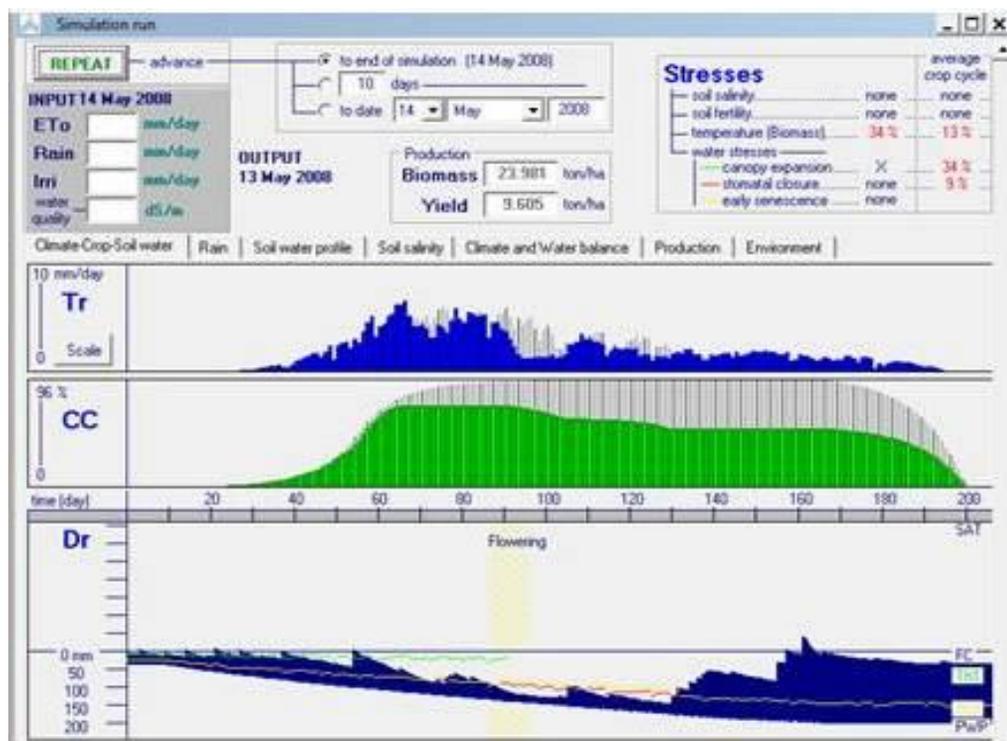
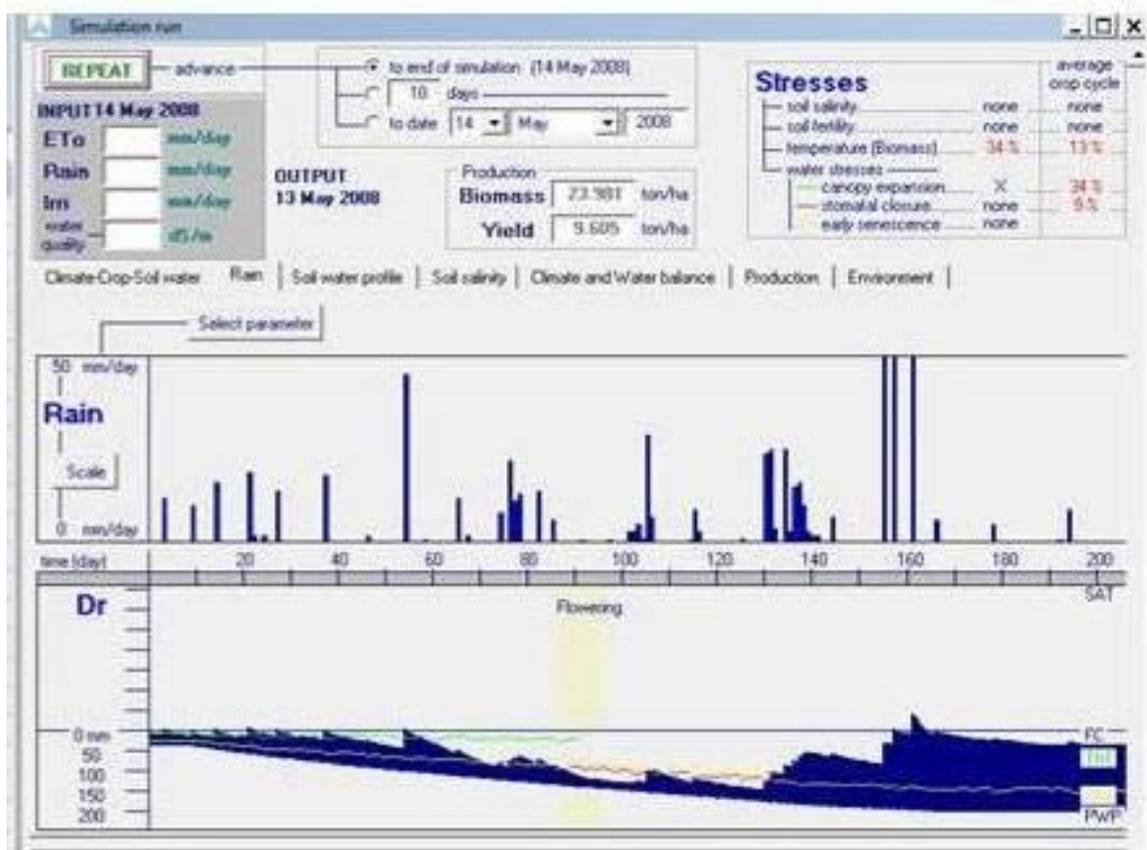


Ilustración III-17. AquaCrop. Pantalla principal de resultados

En la segunda solapa se puede ver la distribución de las lluvias y la carencia de las mismas en el período crítico de floración del maíz.



**Ilustración III-18. AquaCrop. Distribución de las precipitaciones**

En la solapa “Producción”, aparecen la producción de biomasa actual y potencial (en el caso del maíz de Veinticinco de Mayo: 23.981 ton/ha y 41.658 ton/ha, respectivamente) y el porcentaje de producción respecto del máximo (58%). Otro dato importante que aparece es el de productividad del agua consumida por la planta (evapotranspirada), que en el caso de este ejemplo fue de 1.66 kg/m<sup>3</sup> de agua.

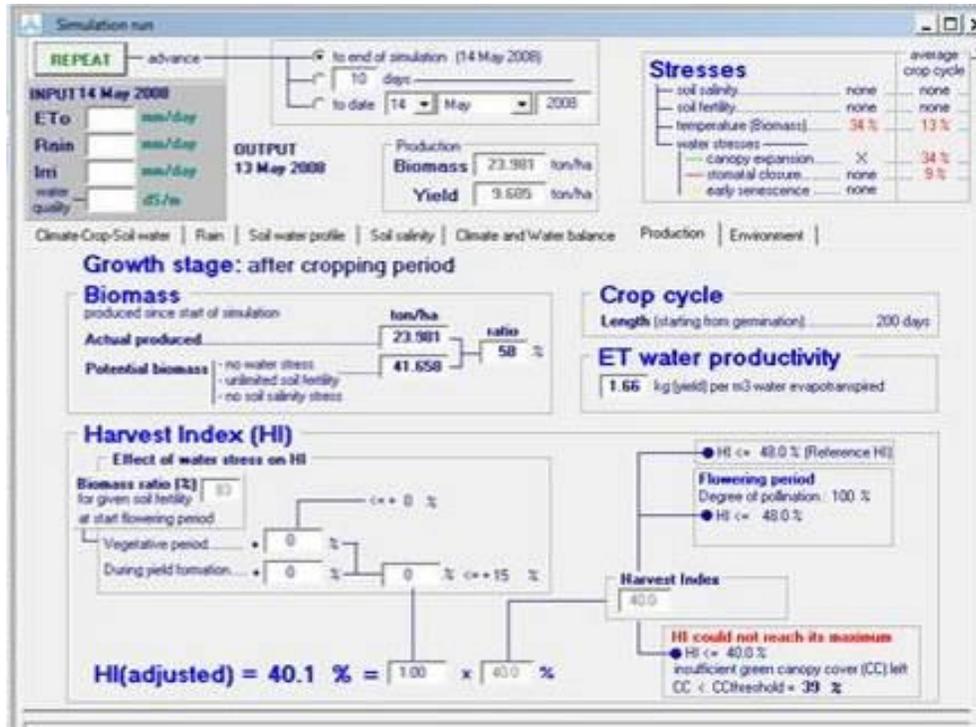


Ilustración III-19. AquaCrop. Producción de biomasa, HI y productividad del agua

La simulación arroja resultados bien diferentes si en la misma se aplican láminas de riego. Al aplicar láminas de riego de entre 20 y 50 mm, se alcanza el máximo desarrollo de la cobertura foliar (CC) para las condiciones analizadas.

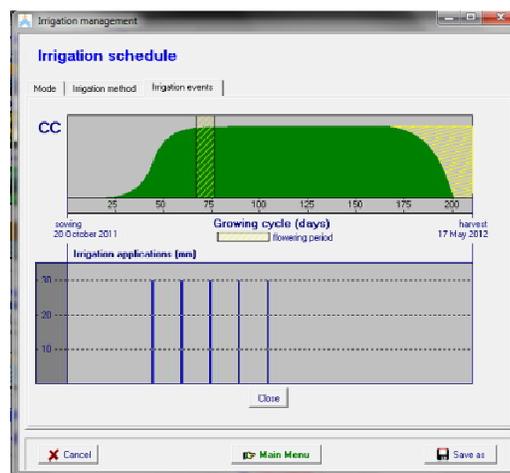


Ilustración III-20. AquaCrop. Riego: láminas aplicadas y cantidad de eventos

Como puede observarse en la siguiente ilustración, al correr el modelo bajo esta nueva situación los valores de rendimiento y producción de biomasa alcanzados son óptimos. La producción de biomasa pasa de 23.981 ton/ha a 37.788 ton/ha, y el rendimiento estimado de 9.605 ton/ha a 16.624 ton/ha. Asimismo, en la solapa de producción se pasa, en la producción de biomasa actual, de 23.981 ton/ha a 37.788 ton/ha, siendo el porcentaje de producción respecto del máximo del 91%. Otro dato importante que cambia es el de productividad del agua, que pasa de 1,66 a 2,21 kg/m<sup>3</sup> de agua.

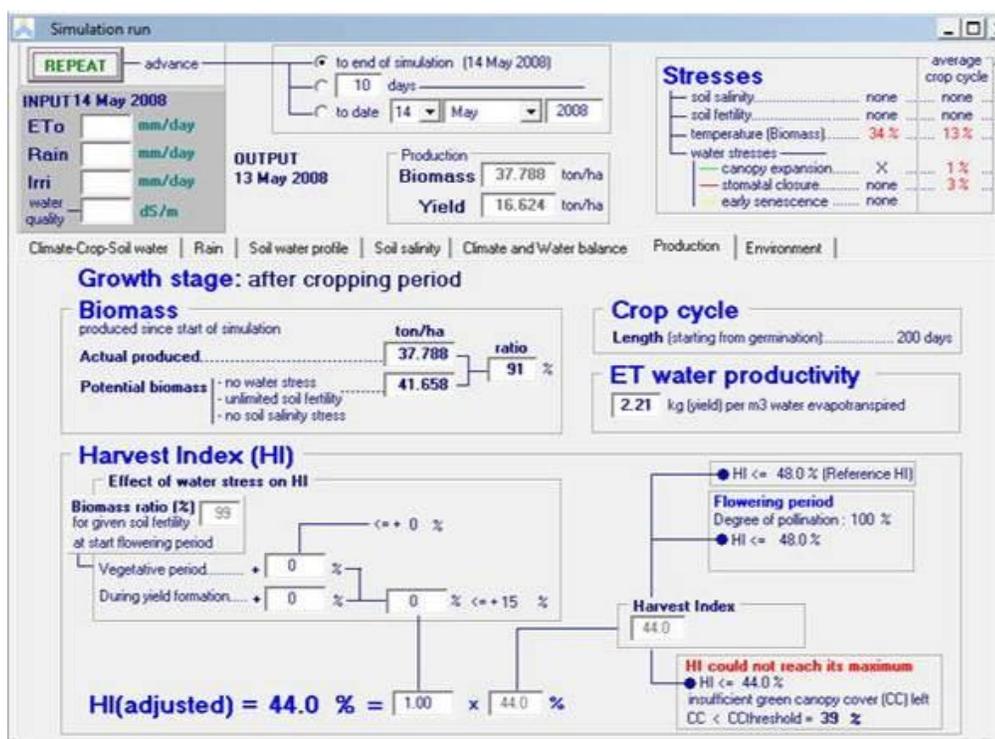


Ilustración III-21. AquaCrop. Producción de biomasa, Índice de cosecha (HI) y productividad del agua aplicando láminas de riego

#### **IV. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE PRODUCTOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HIDRICA**

##### **1º.- Introducción**

Considerando en primer lugar que el presente estudio se refiere al cálculo de la huella hídrica en el sector de producción agrícola de la Provincia de Buenos Aires, los criterios para establecer el grupo de productos de estudio parten de considerar la importancia en el comercio exterior en cuanto a cantidades de productos exportados y sus montos correspondientes.

Para la contabilización de dichas cantidades y montos exportados se utilizó como fuente de datos el Sistema Informático MARIA (SIM), en el cual constan los embarques por fecha de terminación, aduana de salida, país de destino, cantidad y montos exportados a valores FOB en dólares estadounidenses. Para cada producto de interés se consideraron períodos de paso anual, con registros históricos que se encuentran disponibles desde el año 2005.

Respecto a las aduanas de salida, para la Provincia de Buenos Aires se consideraron registros de exportaciones de los puertos ubicados en Bahía Blanca, Buenos Aires, Campana, Mar del Plata, Necochea, San Nicolás y San Pedro. Adicionalmente se consideraron pequeños embarques desde el Aeropuerto Internacional de Ezeiza.

En el SIM se relevaron datos de cien posiciones arancelarias vinculadas a los productos relacionados con los principales cultivos agrícolas (trigo, maíz, girasol y soja) encontrándose movimientos en el 80% de dichas posiciones para el período 2005-2011. Sin embargo, sólo veintidós posiciones arancelarias (pertenecientes a los cuatro “complejos”, cada uno asociado a los cultivos bajo análisis) resultan de interés para el estudio, pues ellas concentran valores superiores al 95% de montos FOB y cantidades exportadas.

La siguiente tabla contiene un detalle de los montos y cantidades exportadas por Nación y Provincia para los complejos “girasol”, “maíz”, “soja” y “trigo”. Los datos presentados corresponden a los totales en dólares para el período 2006-2011 (no se incluyó el año 2005 porque en ese período algunos de los productos importantes en el complejo “soja”, como el biodiesel, prácticamente no registraban embarques).

Exportaciones totales período 2006-2011						
Complejo Exportador	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
Complejo Soja	115.163	20.103	17,5%	289.285	52.352	18,1%
Complejo Maíz	17.452	3.881	22,2%	88.638	17.276	19,5%
Complejo Trigo	12.775	5.778	45,2%	53.762	25.081	46,7%
Complejo Girasol	2.566	1.749	68,2%	2.350	1.548	65,9%
<b>Total</b>	<b>147.956</b>	<b>31.511</b>	<b>21,3%</b>	<b>434.036</b>	<b>96.257</b>	<b>22,2%</b>

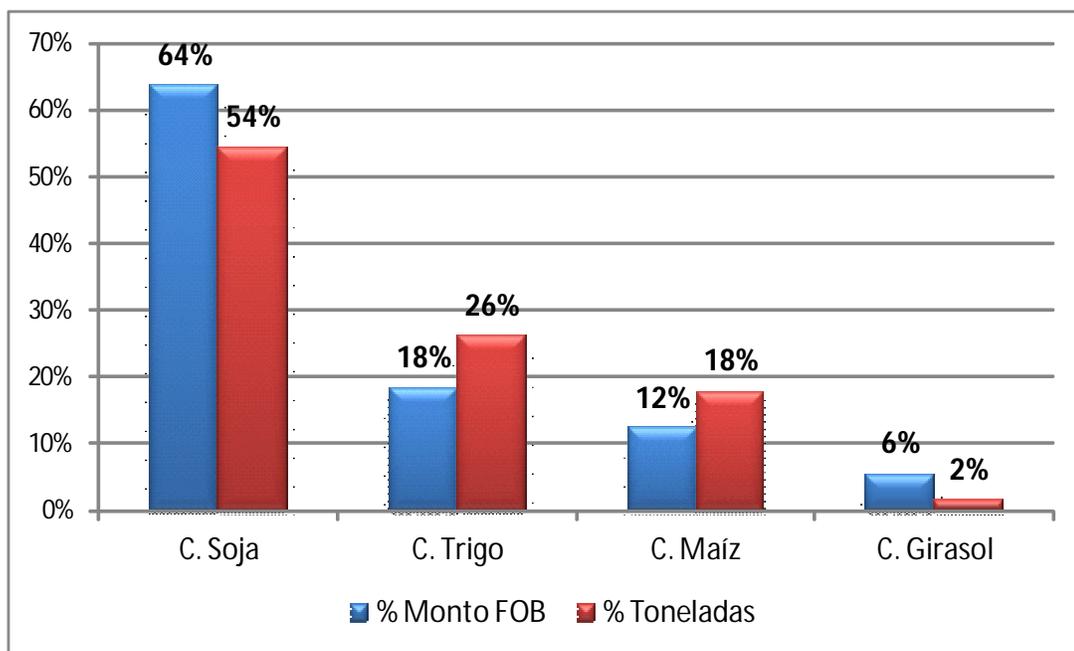
**Tabla IV-1. Exportaciones de los complejos agrícolas principales**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

En el período 2006-2011 la Nación exportó 434.036.000 toneladas entre los cuatro complejos, por un monto de U\$S 147.956 millones, correspondiéndole a la Provincia el 21,3% y 22,2% respectivamente en monto y cantidad.

El complejo de mayor relevancia es el de la soja (78% del monto exportado por la Nación), seguido por maíz (12%) y trigo (9%). El girasol representó solo el 2%.

En la Provincia, los porcentajes resultaron diferentes, manteniendo el complejo soja el primer lugar, con el 64% del monto exportado, siendo el trigo el segundo (18%), relegando al maíz al tercero (12%), mientras el girasol ocupa el cuarto lugar (6%), tal como se observa en el siguiente gráfico.



**Gráfico IV-1. Importancia relativa por monto y cantidad de cada complejo en las exportaciones de la Provincia de Buenos Aires en el período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Respecto al aporte provincial sobre el total nacional, por complejo y monto exportado, a Buenos Aires le correspondió en el período analizado el 68,2% del girasol, el 45,2% del trigo, el 22,2% del maíz, y el 17,5% del complejo sojero.

A continuación se realiza el análisis de productos por complejo para luego presentar en una tabla resumen el conjunto de productos seleccionados.

## 2º. - Complejo Girasol

En este complejo se identificaron siete productos importantes entre los que registraron movimientos en el período analizado: semillas de girasol para siembra, semillas descascaradas, semillas tipo confitería, semillas a granel, aceite de girasol en bruto, aceite de girasol refinado envasado, y aceite refinado a granel.

Las semillas de girasol para siembra, identificadas en el nomenclador del SIM con el código 1206.00.10.000T, totalizan en el período U\$S 86.700.000 (con 18.400 toneladas) lo cual representó el 72% del monto exportado por la Nación entre 2006 y 2011. La Tabla siguiente contiene el detalle anual de montos y cantidades exportadas desde puertos nacionales y de la provincia de Buenos Aires, junto a los respectivos totales.

1206.00.10.000T - GIRASOL PARA SIEMBRA - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	7,6	6,2	80,7%	1,9	1,5	78,6%
2007	16,5	11,9	72,2%	4,1	3,0	73,0%
2008	22,9	16,6	72,6%	4,5	3,5	77,1%
2009	29,9	23,9	79,9%	6,0	4,9	81,1%
2010	23,1	19,6	84,8%	4,4	3,8	85,9%
2011	20,4	8,6	41,9%	3,7	1,7	47,4%
<b>Total</b>	<b>120,4</b>	<b>86,7</b>	<b>72,0%</b>	<b>24,6</b>	<b>18,4</b>	<b>74,7%</b>

Tabla IV-2. Exportaciones de Girasol para siembra. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El girasol también se exporta como semillas seleccionadas descascaradas, correspondiéndole el código de nomenclador 1206.00.90.190F. La tabla siguiente contiene el detalle anual de exportaciones, observándose que la Nación exportó

74.600 toneladas en el período por un monto total aproximado de U\$S 86.700.000. Por las aduanas de Provincia de Buenos Aires, los embarques totalizaron el 98,3% de dichas toneladas, correspondiéndole el 97,9% del monto total.

1206.00.90.190F - GIRASOL DESCASCARADO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	7,3	7,2	98,3%	8,9	8,8	98,5%
2007	7,4	7,3	98,4%	8,2	8,1	98,8%
2008	16,8	16,6	98,5%	12,6	12,4	98,8%
2009	13,8	13,4	97,5%	11,9	11,6	97,8%
2010	18,1	17,7	97,9%	15,3	15,0	98,3%
2011	23,2	22,7	97,5%	17,7	17,4	98,0%
<b>Total</b>	<b>86,7</b>	<b>84,9</b>	<b>97,9%</b>	<b>74,6</b>	<b>73,4</b>	<b>98,3%</b>

**Tabla IV-3. Exportaciones de Girasol descascarado. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Las semillas de girasol descascaradas, que se exportan bajo el código 1206.00.90.290L, totalizaron U\$S 217.300.000 en el período, con 223.500 toneladas despachadas, con salida por las aduanas provinciales del 92,9% de dicha cantidad, por un monto relativo del 93,4% sobre el total nacional.

1206.00.90.290L - GIRASOL TIPO CONFITERÍA - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	15,4	14,8	96,5%	25,1	24,1	96,2%
2007	16,2	15,4	95,0%	21,9	20,8	94,9%
2008	26,3	25,2	95,6%	24,2	23,1	95,6%
2009	56,9	54,8	96,3%	51,2	49,1	95,8%
2010	54,5	49,8	91,3%	51,6	46,5	90,1%
2011	48,0	43,1	89,8%	49,5	44,0	88,7%
<b>Total</b>	<b>217,3</b>	<b>203,0</b>	<b>93,4%</b>	<b>223,5</b>	<b>207,6</b>	<b>92,9%</b>

**Tabla IV-4. Exportaciones de Girasol tipo confitería. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

En el último grupo de semillas, el girasol exportado a granel se identifica con el código 1206.00.90.910Y. Estos embarques, por 157.100 toneladas en el período

2006-2011, totalizaron U\$S 49.000.000. Las exportaciones de este producto correspondientes a la Provincia fueron el 29,2% de la cantidad y el 44,1% del monto.

1206.00.90.910Y - GIRASOL A GRANEL - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	11,7	2,0	16,7%	53,7	5,7	10,7%
2007	13,5	8,3	61,6%	50,9	23,1	45,4%
2008	9,3	5,2	55,7%	14,7	7,1	48,6%
2009	5,6	3,0	52,8%	18,8	5,2	27,4%
2010	0,6	0,6	92,8%	1,4	1,3	92,7%
2011	8,2	2,6	31,8%	17,7	3,5	19,9%
<b>Total</b>	<b>49,0</b>	<b>21,6</b>	<b>44,1%</b>	<b>157,1</b>	<b>45,9</b>	<b>29,2%</b>

**Tabla IV-5. Exportaciones de Girasol a granel. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El aceite de girasol en bruto (sin refinar), exportado bajo el código del nomenclador 1512.11.10.910M, registró un movimiento en el período de 1.434.000 toneladas por un monto de U\$S 1.590.000.000. Por las aduanas de la Provincia se registró el 66,1% de la cantidad embarcada, correspondiéndole así mismo el 66,1% del monto despachado.

1512.11.10.910M - ACEITE EN BRUTO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	0	0	0%	0	0	0%
2007	0	0	0%	0	0	0%
2008	0	0	0%	0	0	0%
2009	28,7	23,4	81,3%	32,6	26,5	81,3%
2010	527	336	63,7%	577,8	366,2	63,4%
2011	1.034	692	66,9%	823,5	555,7	67,5%
<b>Total</b>	<b>1.590</b>	<b>1.051</b>	<b>66,1%</b>	<b>1.434</b>	<b>948</b>	<b>66,1%</b>

**Tabla IV-6. Exportaciones de Aceite de Girasol en bruto. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Por su parte, el aceite de girasol refinado y envasado en recipientes menores a 5 litros le corresponde el código 1512.19.11.000N. En el período, la Nación exportó

284.900 toneladas por un monto de U\$S 338.600.000. A la Provincia le corresponde el 52,5% de la cantidad exportada, y el 52,2% del monto.

1512.19.11.000N - ACEITE REFINADO ENVASADO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	65,5	49,9	76,2%	82,1	62,9	76,6%
2007	52,1	28,1	54,0%	48,5	26,4	54,5%
2008	69,1	43,8	63,3%	35,7	22,0	61,6%
2009	36,4	12,9	35,3%	30,9	10,7	34,6%
2010	49,1	20,6	42,0%	35,9	15,2	42,4%
2011	66,3	21,6	32,5%	51,8	12,4	24,0%
<b>Total</b>	<b>338,6</b>	<b>176,9</b>	<b>52,2%</b>	<b>284,9</b>	<b>149,6</b>	<b>52,5%</b>

Tabla IV-7. Exportaciones de Aceite de Girasol refinado envasado. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El aceite refinado, pero exportado a granel (código 1512.19.19.110H) totalizó 151.400 toneladas por un monto total para la Nación de U\$S 164.400.000. Por las aduanas de la Provincia se despachó el 69,1% de la cantidad y el 75,8% del monto.

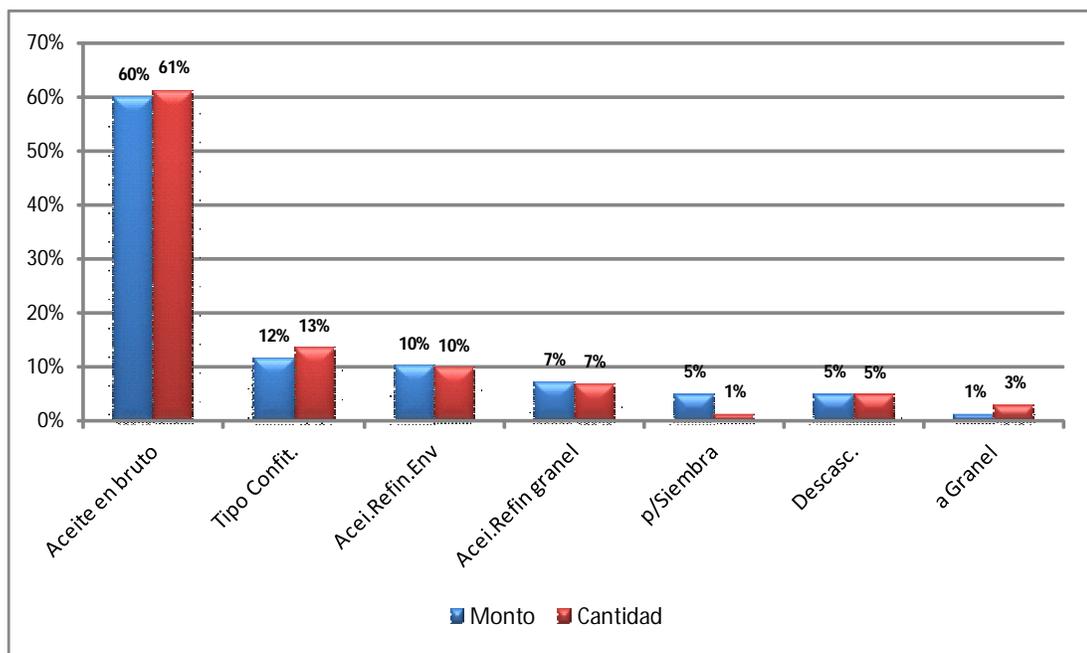
1512.19.19.110H - ACEITE REFINADO A GRANEL - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	21,4	11,6	54,3%	34,8	18,0	51,8%
2007	27,1	11,9	43,8%	30,4	12,5	41,2%
2008	32,1	31,0	96,7%	19,1	18,0	94,6%
2009	36,9	32,5	88,1%	33,6	28,9	86,1%
2010	21,0	20,5	97,8%	17,7	17,3	97,6%
2011	25,9	17,1	65,8%	15,9	9,8	61,8%
<b>Total</b>	<b>164,4</b>	<b>124,6</b>	<b>75,8%</b>	<b>151,4</b>	<b>104,6</b>	<b>69,1%</b>

Tabla IV-8. Exportaciones de Aceite de Girasol refinado a granel. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

En el siguiente gráfico se detalla la contribución en las exportaciones provinciales de cada uno de los siete productos analizados en el complejo girasol. Se observa la clara importancia del aceite en bruto como producto exportado (60%), seguido por las semillas tipo confitería, que aportaron el 12%, y el aceite refinado en envases menores de 5 litros (10% del monto), mientras que a las semillas a granel le

correspondió el 7% en el período. Las semillas descascaradas y el aceite refinado exportado a granel aportaron cada uno el 5% en monto, siendo menor la importancia relativa de las semillas comercializadas para siembra, representando su aporte el 1% del monto total.



**Gráfico IV-2. Importancia relativa por monto y cantidad de los productos del complejo girasol en las exportaciones de la Provincia de Buenos Aires para el período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

### 3°. - Complejo Maíz

En el complejo maíz se destacan cuatro productos importantes: semillas de maíz para siembra, maíz en grano exportado a granel y los aceites, en bruto y refinado.

Las semillas de maíz para siembra se identifican en el nomenclador del SIM con el código 1005.10.00.000Q, totalizaron en el período 2006-2011 U\$S 662.600.000 (con 332.000 toneladas), correspondiéndole a las aduanas de la Provincia el 91,9% del monto exportado por la Nación, y el 94,2% de la cantidad. La Tabla siguiente contiene el detalle anual de montos y cantidades exportadas desde puertos provinciales y país junto a los respectivos totales.

1005.10.00.000Q - MAÍZ PARA SIEMBRA - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	67,1	63,3	94,4%	51,2	49,0	95,8%
2007	97,9	93,1	95,1%	74,1	71,3	96,3%
2008	143,7	130,9	91,1%	83,7	79,5	95,0%
2009	155,5	144,8	93,1%	56,4	53,5	94,7%
2010	89,1	83,1	93,2%	25,5	23,7	92,8%
2011	109,4	93,8	85,8%	41,0	35,7	87,0%
<b>Total</b>	<b>662,6</b>	<b>608,9</b>	<b>91,9%</b>	<b>332,0</b>	<b>312,7</b>	<b>94,2%</b>

**Tabla IV-9. Exportaciones de Maíz para siembra. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El maíz en grano exportado a granel (Código 1005.90.10.190Y) registró a nivel país 88.159.000 toneladas embarcadas por un monto de U\$S 16.632.000.000. A la Provincia se le asigna el 19,2% del monto y la cantidad exportada, según se detalla en la siguiente tabla.

1005.90.10.190Y - MAÍZ EN GRANO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	1.149	202,3	17,6%	10.060	1.780	17,7%
2007	2.147	442,9	20,6%	15.066	3.146	20,9%
2008	4.706	947,5	20,1%	21.417	4.305	20,1%
2009	1.405	245,4	17,5%	8.581	1.503	17,5%
2010	3.049	570,4	18,7%	17.899	3.375	18,9%
2011	4.177	788,0	18,9%	15.135	2.792	18,4%
<b>Total</b>	<b>16.632</b>	<b>3.197</b>	<b>19,2%</b>	<b>88.159</b>	<b>16.902</b>	<b>19,2%</b>

**Tabla IV-10. Exportaciones de Maíz en grano. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El aceite de maíz en bruto se exporta bajo el código 1005.21.00.100A del nomenclador, y registró en el período un monto total de U\$S 80.200.000 para la Nación, con una cantidad de 86.100 toneladas. Por las aduanas provinciales se despachó el 8,4% de la cantidad y el 7,9% del monto transado.

1515.21.00.100A - ACEITE DE MAÍZ EN BRUTO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	7,7	0,6	8,1%	13,1	1,0	8,0%
2007	6,8	1,3	19,4%	9,3	1,6	16,9%
2008	6,6	0,0	0,0%	4,3	0,0	0,0%
2009	14,7	1,4	9,6%	18,8	1,8	9,5%
2010	21,0	1,7	8,3%	23,0	1,9	8,3%
2011	23,4	1,2	5,3%	17,6	0,9	5,1%
<b>Total</b>	<b>80,2</b>	<b>6,3</b>	<b>7,9%</b>	<b>86,1</b>	<b>7,2</b>	<b>8,4%</b>

**Tabla IV-11. Exportaciones de Aceite de Maíz en bruto. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

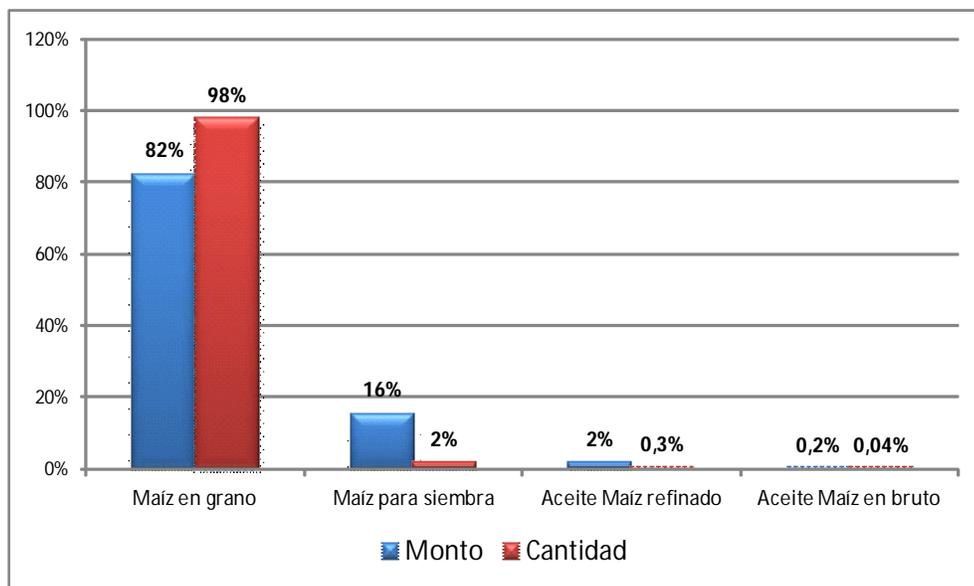
Por último, el aceite de maíz refinado (Código 1005.29.10.000A) registró en el período embarques por U\$S 77.600.000 (por 61.000 toneladas) en las aduanas nacionales, correspondiéndole a la Provincia el 89,4% del monto y el 88,8% de la cantidad.

1515.29.10.000A - ACEITE DE MAÍZ REFINADO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	11,6	9,4	80,7%	13,3	10,9	82,0%
2007	15,5	13,5	86,8%	15,1	13,1	86,9%
2008	23,1	21,7	94,1%	13,6	12,9	94,4%
2009	8,1	7,2	88,5%	6,4	5,8	90,2%
2010	8,2	7,3	89,1%	6,2	5,6	90,1%
2011	11,1	10,3	93,2%	6,3	5,9	93,1%
<b>Total</b>	<b>77,6</b>	<b>69,4</b>	<b>89,4%</b>	<b>61,0</b>	<b>54,2</b>	<b>88,8%</b>

**Tabla IV-12. Exportaciones de Aceite de Maíz refinado. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Resumiendo las cantidades detalladas para el complejo maíz, el siguiente gráfico contiene la contribución en las exportaciones provinciales para cada uno de los cuatro productos analizados. El maíz en grano, exportado a granel, es claramente el producto de mayor importancia, con 82% del monto exportado en el período; le sigue el maíz para siembra, con 16%. Los aceites, refinado y en bruto, presentan escasa relevancia en las aduanas de la Provincia, con 2% y 0,2% respectivamente del monto total exportado en el período.



**Gráfico IV-3. Importancia relativa por monto y cantidad de los productos del complejo maíz en las exportaciones de la Provincia de Buenos Aires para el período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

#### 4º. - Complejo Soja

El complejo sojero presenta la mayor cantidad de productos analizados (ocho productos), entre los que registraron movimientos en el período analizado: habas de soja para siembra, habas de soja exportadas a granel, harina de tortas de soja, pellets de soja, aceites (en bruto y refinado), y biodiesel (puro, ó en mezcla con otros hidrocarburos).

Las habas de soja para siembra, identificadas en el nomenclador del SIM con el código 1201.00.10.000A, totalizaron en el período 2006-2011 U\$S 144.600.000 (con 249.500 toneladas) para la Nación. La Tabla siguiente contiene el detalle anual de montos y cantidades exportadas desde puertos provinciales y país junto a los respectivos totales. Puede observarse que la Provincia aportó por sus aduanas el 25,3% de las cantidades embarcadas, y el 20,8% del monto total exportado.

1201.00.10.000A - HABAS DE SOJA P/SIEMBRA - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	11,9	8,0	66,8%	30,0	19,3	64,2%
2007	25,5	10,8	42,3%	54,7	24,9	45,4%
2008	31,4	5,6	17,8%	49,9	11,6	23,3%
2009	22,7	1,8	8,1%	34,5	3,1	9,1%
2010	20,7	2,1	10,0%	34,7	2,3	6,5%
2011	32,5	1,9	5,8%	45,7	2,0	4,3%
<b>Total</b>	<b>144,6</b>	<b>30,1</b>	<b>20,8%</b>	<b>249,5</b>	<b>63,1</b>	<b>25,3%</b>

Tabla IV-13. Exportaciones de Habas de Soja para siembra. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Las habas de soja, exportadas a granel, se identifican con el código 1201.00.90.190N, y registraron un movimiento de 77.698.000 toneladas por un monto de U\$S 28.023.000.000 para la Nación. Los porcentajes de dichos embarques asignados a la Provincia son del 53,4% en cantidad y 54% en monto.

1201.00.90.190N - HABAS DE SOJA A GRANEL - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	1.870	1.170	62,6%	8.435	5.210	61,8%
2007	3.797	1.839	48,4%	13.122	6.457	49,2%
2008	6.338	2.927	46,2%	16.387	7.607	46,4%
2009	2.402	1.370	57,0%	6.343	3.475	54,8%
2010	7.413	4.100	55,3%	20.701	11.300	54,6%
2011	6.203	3.727	60,1%	12.711	7.417	58,4%
<b>Total</b>	<b>28.023</b>	<b>15.133</b>	<b>54,0%</b>	<b>77.698</b>	<b>41.466</b>	<b>53,4%</b>

Tabla IV-14. Exportaciones de Habas de Soja a granel. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El producto harina de tortas de soja (Código 2304.00.10.100B) registró un movimiento en el período de 145.591.000 toneladas por un monto de U\$S 43.476.000.000 a nivel nacional, con el correspondiente aporte por aduanas provinciales del 3% en cantidad y 3,3% en monto.

2304.00.10.100B - HARINA DE TORTAS DE SOJA - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	4.733	122	2,6%	25.669	651	2,5%
2007	5.058	96	1,9%	22.706	383	1,7%
2008	6.999	102	1,5%	22.806	280	1,2%
2009	9.038	422	4,7%	23.897	1.047	4,4%
2010	8.454	357	4,2%	25.644	1.034	4,0%
2011	9.193	351	3,8%	24.869	946	3,8%
<b>Total</b>	<b>43.476</b>	<b>1.450</b>	<b>3,3%</b>	<b>145.591</b>	<b>4.341</b>	<b>3,0%</b>

**Tabla IV-15. Exportaciones de Harina de Tortas de Soja. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Los pellets de soja se identifican en el nomenclador por el código 2304.00.10.200G, y se exportaron en el período 18.669.000 toneladas por un monto de U\$S 5.096.000.000. Las aduanas de la Provincia registraron embarques por el 17,5% de la cantidad total mencionada, siendo el valor relativo en monto del 19% del total exportado por el país.

2304.00.10.200G - PELLETS DE SOJA - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	840	77	9,1%	4.747	438	9,2%
2007	962	153	15,9%	4.396	677	15,4%
2008	1.053	188	17,8%	3.169	613	19,3%
2009	715	144	20,2%	1.944	385	19,8%
2010	815	196	24,0%	2.493	579	23,2%
2011	710	211	29,7%	1.921	581	30,2%
<b>Total</b>	<b>5.096</b>	<b>968</b>	<b>19,0%</b>	<b>18.669</b>	<b>3.272</b>	<b>17,5%</b>

**Tabla IV-16. Exportaciones de Pellets de Soja. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El aceite de soja en bruto, cuyo código en el nomenclador es 1507.10.00.100Q, registró 38.281.000 toneladas embarcadas por un monto de U\$S 30.725.000.000, siendo relativamente poco importantes los despachos por aduanas bonaerenses, con 5,3% de la cantidad y 5,9% del monto total, según se detalla en la siguiente tabla.

1507.10.00.100Q - ACEITE DE SOJA EN BRUTO- Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	2.802	106	3,8%	5.751	191	3,3%
2007	7.397	276	3,7%	10.192	329	3,2%
2008	5.932	233	3,9%	6.052	191	3,2%
2009	4.281	307	7,2%	5.740	377	6,6%
2010	5.076	485	9,5%	6.071	593	9,8%
2011	5.237	398	7,6%	4.475	348	7,8%
<b>Total</b>	<b>30.725</b>	<b>1.804</b>	<b>5,9%</b>	<b>38.281</b>	<b>2.030</b>	<b>5,3%</b>

**Tabla IV-17. Exportaciones de Aceite de Soja en bruto. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El aceite de soja refinado (código 1507.90.11.000Q) registró inferior movimiento al aceite en bruto, con 476.500 toneladas y U\$S 596.000.000 exportados por las aduanas nacionales. El porcentaje que le correspondió a Buenos Aires es de 60,4% y 61,8% en cantidad y monto respectivamente.

1507.90.11.000Q - ACEITE DE SOJA REFINADO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	43,4	24,0	55,4%	58,9	32,5	55,1%
2007	106,8	66,2	62,0%	103,8	63,1	60,8%
2008	157,9	107,0	67,8%	97,5	64,6	66,2%
2009	70,6	37,4	53,0%	63,1	34,4	54,5%
2010	86,0	51,9	60,4%	69,0	41,7	60,3%
2011	131,4	81,5	62,1%	84,1	51,8	61,6%
<b>Total</b>	<b>596,0</b>	<b>368,1</b>	<b>61,8%</b>	<b>476,5</b>	<b>287,9</b>	<b>60,4%</b>

**Tabla IV-18. Exportaciones de Aceite de Soja refinado. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El biodiesel obtenido de la soja, mezclado con otros hidrocarburos, se exporta bajo el código 2710.19.29.900T, y en el período analizado se embarcaron a nivel País 2.290.000 toneladas por un monto de U\$S 899.000.000. Las aduanas de Buenos Aires registraron el 37,9% de la cantidad total embarcada y el 36% del monto total transado.

2710.19.29.900T - BIODIESEL MEZCLA - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	207,8	73,4	35,3%	544,4	217,4	39,9%
2007	429,2	148,1	34,5%	980,4	359,5	36,7%
2008	56,9	0,0	0,0%	186,2	0,0	0,0%
2009	69,6	34,2	49,1%	238,1	113,9	47,8%
2010	80,3	25,3	31,5%	198,5	66,4	33,4%
2011	55,2	42,6	77,2%	142,0	110,6	77,9%
<b>Total</b>	<b>899,0</b>	<b>323,6</b>	<b>36,0%</b>	<b>2.290</b>	<b>867,8</b>	<b>37,9%</b>

**Tabla IV-19. Exportaciones de Biodiesel mezcla. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

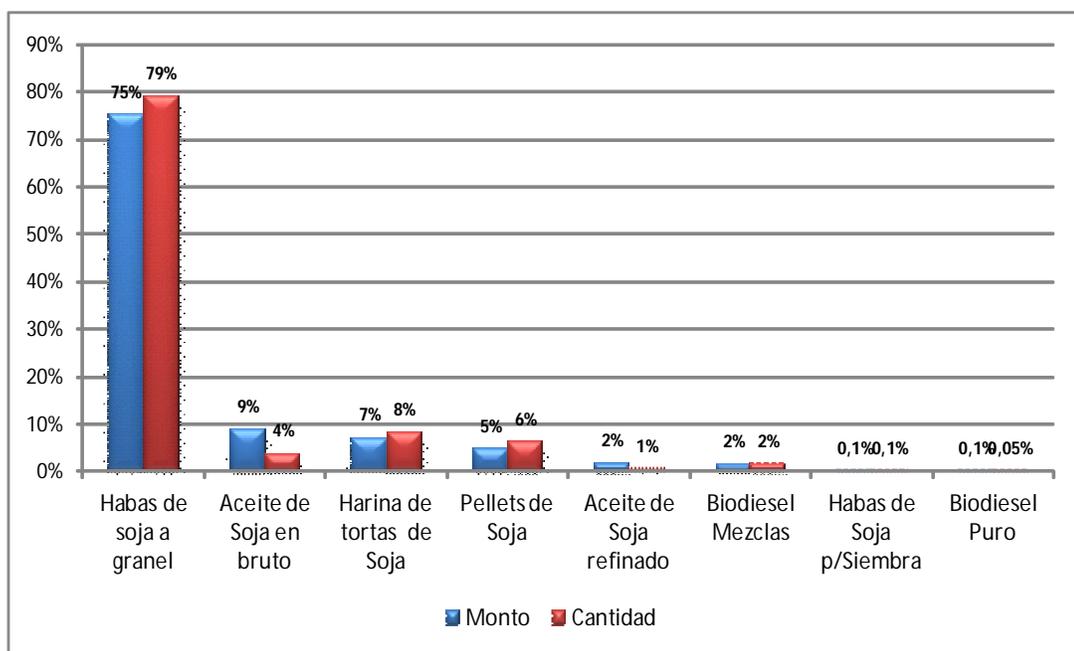
Por último para este complejo, el biodiesel puro obtenido de la soja (Código 3824.90.29.100P) registró en el período analizado un valor de exportaciones de U\$S 6.205.000.000 por las 6.030.000 toneladas embarcadas. Las aduanas de la Provincia de Buenos Aires prácticamente no registraron movimientos, contribuyendo con sólo el 0,4% en monto y cantidad de dichos embarques.

3824.90.29.100P - BIODIESEL PURO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	0,2	0	0,0%	0,3	0	0,0%
2007	266	0,8	0,3%	316	1,0	0,3%
2008	1.302	22,6	1,7%	1.067	20,7	1,9%
2009	1.036	1,7	0,2%	1.314	2,3	0,2%
2010	1.277	0,0	0,0%	1.415	0,0	0,0%
2011	2.323	0,0	0,0%	1.918	0,0	0,0%
<b>Total</b>	<b>6.205</b>	<b>25,1</b>	<b>0,4%</b>	<b>6.030</b>	<b>24,0</b>	<b>0,4%</b>

**Tabla IV-20. Exportaciones de Biodiesel puro. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El siguiente gráfico detalla la contribución en las exportaciones provinciales para cada uno de los productos analizados en el complejo soja. Las habas de soja representan el principal producto exportado por las aduanas bonaerenses, con el 75% del monto total exportado en el período; le siguen en importancia el aceite en bruto (9%), la harina de tortas (7%) y los pellets (5%). El resto de productos presentan escasa relevancia en las aduanas de la Provincia, con valores no superiores al 2% del monto exportado en el período.



**Gráfico IV-4. Importancia relativa por monto y cantidad de los productos del complejo soja en las exportaciones de la Provincia de Buenos Aires para el período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

## 5°. - Complejo Trigo

Se identificaron tres productos de relevancia en la cadena del trigo: semillas de trigo pan, comercializada a granel; harina de trigo, fortificada, comercializada en envases de peso mayor a los 2 kg; y salvado de trigo en envases menores a 2 kg.

Las semillas de trigo pan se identifican en el nomenclador del SIM con el código 1001.90.90.110B. La Tabla siguiente contiene los montos y cantidades exportadas desde puertos provinciales y los totales del país. Se observa que a la provincia le correspondió el 47% del monto nacional total (U\$S 11.006 millones) en el período 2006-2011, mientras que en cantidad su aporte fue del 48,3%.

1001.90.90.110B - TRIGO PAN - Exportaciones período 2006-2011							
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S			% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia			Nación	Provincia	
2006	1.522	820	53,9%	10.007	5.389	53,8%	
2007	2.118	951	44,9%	10.087	4.747	47,1%	
2008	3.015	1.301	43,2%	10.361	4.444	42,9%	
2009	1.273	673	52,9%	6.539	3.441	52,6%	
2010	932	531	56,9%	4.135	2.365	57,2%	
2011	2.147	895	41,7%	7.329	3.013	41,1%	
<b>Total</b>	<b>11.006</b>	<b>5.171</b>	<b>47,0%</b>	<b>48.458</b>	<b>23.398</b>	<b>48,3%</b>	

**Tabla IV-21. Exportaciones de Trigo Pan. Período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Por su parte, la harina de trigo fortificada, que se identifica en el nomenclador del SIM con el código 1101.00.10.190D, fue exportada por un monto total de U\$S 1.716 millones en el período 2006-2011, aportando la Provincia el 34,7%. En cuanto a las cantidades, el aporte fue del 33,2%. La tabla siguiente contiene detalles de montos y cantidades para el período analizado.

1101.00.10.190D - HARINA DE TRIGO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	42,1	16,0	38,0%	183	66	35,8%
2007	263,0	77,6	29,5%	923	268	29,0%
2008	449,1	147,0	32,7%	1.022	331	32,4%
2009	285,0	68,4	24,0%	919	213	23,2%
2010	287,2	156,1	54,4%	846	432	51,0%
2011	389,6	130,8	33,6%	930	294	31,6%
<b>Total</b>	<b>1.716</b>	<b>595,9</b>	<b>34,7%</b>	<b>4.824</b>	<b>1.603</b>	<b>33,2%</b>

Tabla IV-22. Exportaciones de Harina de Trigo. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

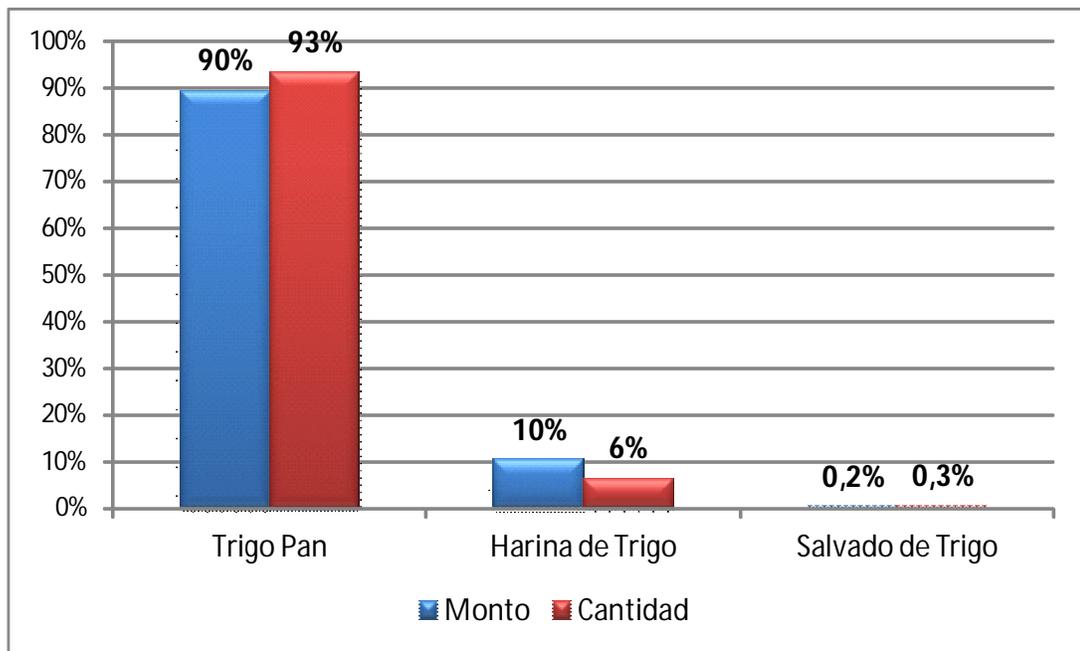
El tercer producto analizado, salvado de trigo, lleva como código de nomenclador el número 2302.30.90.110N. La siguiente tabla detalle los montos y cantidades para el período 2006-2011, mostrando que la Provincia aportó el 20,2% del monto y el 16,6% de la cantidad exportada.

2302.30.90.110N - SALVADO DE TRIGO - Exportaciones período 2006-2011						
AÑO	Montos FOB en Millones de U\$S		% Prov.	Cantidades en Miles de Ton.		% Prov.
	Nación	Provincia		Nación	Provincia	
2006	5,1	0,1	2,7%	77,3	2,9	3,8%
2007	5,1	0,5	10,5%	59,4	6,6	11,1%
2008	13,8	4,6	33,7%	106,9	32,2	30,1%
2009	6,4	1,1	17,2%	64,5	9,2	14,3%
2010	6,6	2,1	32,5%	65,8	15,0	22,8%
2011	15,3	2,0	13,2%	106,0	13,9	13,1%
<b>Total</b>	<b>52,3</b>	<b>10,6</b>	<b>20,2%</b>	<b>480,0</b>	<b>79,8</b>	<b>16,6%</b>

Tabla IV-23. Exportaciones de Harina de Trigo. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

El siguiente gráfico exhibe la contribución en las exportaciones provinciales de cada uno de los tres productos analizados en el complejo trigo. Se observa la clara importancia del trigo pan como producto exportado (superior al 90%) en el complejo, seguido por la harina fortificada (10% del monto). En el caso del salvado de trigo, su relevancia es escasa, con aproximadamente el 0,2% del monto exportado en el período analizado.



**Gráfico IV-5. Importancia relativa por monto y cantidad de los productos del complejo trigo en las exportaciones de la Provincia de Buenos Aires para el período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

#### v.- Resumen de los productos seleccionados

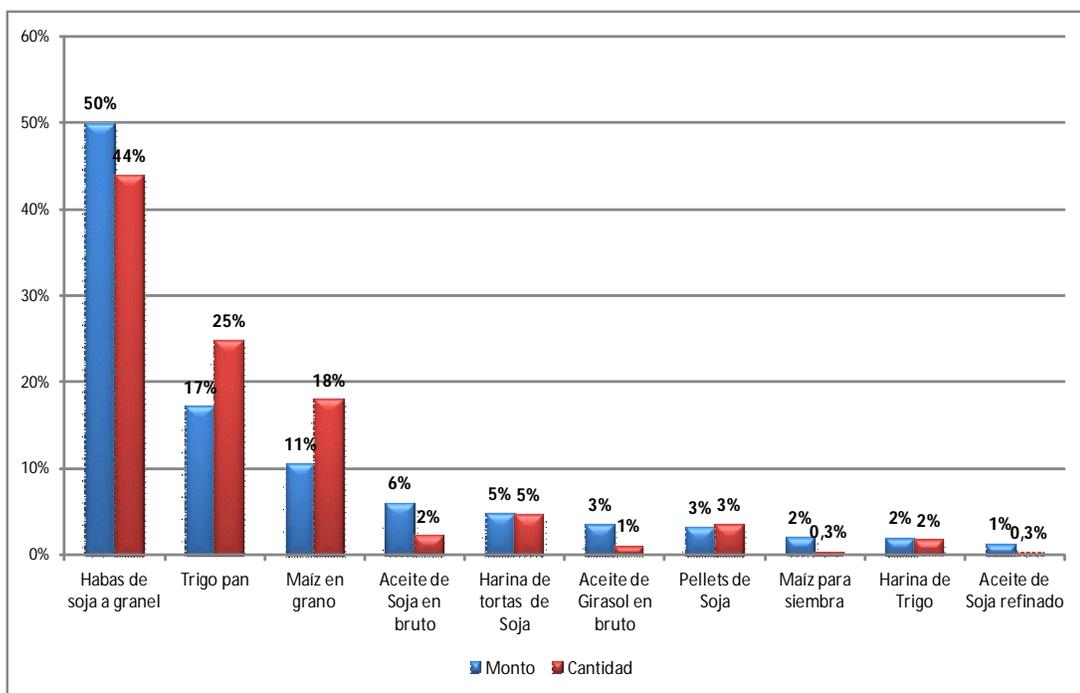
En la siguiente tabla se detalla el resumen de los montos y cantidades totales, exportadas en el período 2006-2011, para cada uno de los veintidós productos analizados. Los productos están ordenados por su orden de importancia relativa en el monto exportado, divididos en dos grupos. El primero consta de diez productos, totalizando el 96,3% del monto y el 98,2% de la cantidad total exportada. El segundo grupo, de 12 productos, contribuyó con sólo el 3,7% y 1,8% de monto y cantidad respectivamente.

PRODUCTOS AGRÍCOLAS Y DERIVADOS - PCIA. BS. AS. - Período 2006-2011						
N°	PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS EXPORTADOS		Monto FOB	% sobre	Cantidad (Miles	% sobre
	Nomenclador	Producto	Millones de U\$S	Monto	de Ton.)	Cantidad
1	1201.00.90.190N	Habas de soja a granel	15.133	48,0%	41.466	43,1%
2	1001.90.90.110B	Trigo pan	5.171	16,4%	23.398	24,3%
3	1005.90.10.190Y	Maíz en grano	3.197	10,1%	16.902	17,6%
4	1507.10.00.100Q	Aceite de Soja en bruto	1.804	5,7%	2.030	2,1%
5	2304.00.10.100B	Harina de tortas de Soja	1.450	4,6%	4.341	4,5%
6	1512.11.10.910M	Aceite de Girasol en bruto	1.051	3,3%	948	1,0%
7	2304.00.10.200G	Pellets de Soja	967,6	3,1%	3.272	3,4%
8	1005.10.00.000Q	Maíz para siembra	608,9	1,9%	312,7	0,3%
9	1101.00.10.190D	Harina de Trigo	595,9	1,9%	1.603	1,7%
10	1507.90.11.000Q	Aceite de Soja refinado	368,1	1,2%	287,9	0,3%
<b>Subtotal - Productos 1 a 10</b>			<b>30.347,5</b>	<b>96,3%</b>	<b>94.561,3</b>	<b>98,2%</b>
11	2710.19.29.900T	Biodiesel Mezclas	323,6	1,0%	867,8	0,9%
12	1206.00.90.290L	Girasol Tipo Confitería	203,0	0,6%	207,6	0,2%
13	1512.19.11.000N	Aceite Gir. Refinado < 5 lts	176,9	0,6%	149,6	0,2%
14	1512.19.19.110H	Aceite Gir. Refinado a granel	124,6	0,4%	104,6	0,1%
15	1206.00.10.000T	Girasol p/Siembra	86,7	0,3%	18,4	0,02%
16	1206.00.90.190F	Girasol Descascarado	84,9	0,3%	73,4	0,08%
17	1515.29.10.000A	Aceite de Maíz refinado	69,4	0,2%	54,2	0,06%
18	1201.00.10.000A	Habas de Soja p/Siembra	30,1	0,1%	63	0,07%
19	3824.90.29.100P	Biodiesel Puro	25,1	0,08%	24,0	0,02%
20	1206.00.90.910Y	Girasol a Granel	21,6	0,07%	45,9	0,05%
21	2302.30.90.110N	Salvado de Trigo	10,6	0,03%	79,8	0,08%
22	1515.21.00.100A	Aceite de Maíz en bruto	6,3	0,02%	7,2	0,01%
<b>Subtotal - Productos 11 a 22</b>			<b>1.162,9</b>	<b>3,7%</b>	<b>1.695,6</b>	<b>1,8%</b>
<b>TOTAL PERÍODO 2006-2011</b>			<b>31.511</b>	<b>100,0%</b>	<b>96.257</b>	<b>100,0%</b>

Tabla IV-24. Exportaciones provinciales de productos agrícolas y derivados. Período 2006-2011

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Al comienzo de este apartado, se mencionó que veintidós productos de una lista superior a cien productos agrícolas y sus derivados explicaban más del 95% de las exportaciones por las aduanas de la Provincia de Buenos Aires. Sin embargo, como resulta explicado en el párrafo anterior, sólo diez de esos productos resultan realmente significativos por sus montos y cantidades. A partir de lo anterior, en el gráfico siguiente se detalla la contribución relativa de cada uno de esos diez productos, evaluada sobre el monto total exportado correspondiente a los mismos (U\$S 30.347.500.000), sin considerar el resto de productos. Claramente se observa la importancia de las exportaciones de habas de soja a granel en este grupo, con el 50% del monto total. Le siguen en importancia los granos de trigo pan (17%) y el maíz en grano (11%). El resto de productos registró valores inferiores al 10% en cada caso.



**Gráfico IV-6. Importancia relativa por monto y cantidad entre los diez productos agrícolas en las exportaciones de la Provincia de Buenos Aires para el período 2006-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIM

Por otro lado, si consideramos sólo los granos en las exportaciones provinciales, diferenciados del resto de productos derivados de los mismos (harinas, aceites, etc.), estos han aportado el 78% del monto y el 86% de la cantidad total en el período 2006-2011 analizado.

## 1º. - **Análisis estadístico de la información sistematizada**

### w.- **Fuente de datos estadísticos del uso agrícola del suelo en la provincia de Buenos Aires**

Los datos del Censo Nacional Agropecuario del años 2002 para la Provincia de Buenos Aires (CNA 2002), indicaban para dicho año que la superficie total comprendida por los cultivos extensivos anuales era de 6.675.410 ha sobre una superficie censada de 25.788.669 Ha, distribuida en 128 partidos. Por lo tanto, los cultivos anuales ocupaban el 25,9% del área agropecuaria relevada.

Sin embargo, resulta más útil a los fines de este estudio referir las superficies con cultivos anuales respecto a las superficies totales de los partidos de interés. En consecuencia, la superficie total de los 128 partidos referenciados con cultivos

anuales en el CNA 2002 cubre 30.628.900 ha, según datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y los cultivos anuales ocuparon en ese año el 21,8% de dicha superficie.

Con relación a los cultivos de interés para nuestro estudio (girasol, maíz, soja y trigo), el CNA relevó 6.269.332 ha en primera ocupación (94% de los cultivos anuales), los cual representó el 20,5% del área de los partidos de referencia.

Por otro lado, los datos del Sistema Integrado de Información Agropecuaria (SIIA) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MinAgri) indican, para la campaña 2001/2002, una superficie sembrada total con girasol, maíz, soja y trigo, de 7.629.306 ha, por lo cual se infiere que se trata de la acumulación de superficies de primera y segunda ocupación anual (dicha acumulación para los datos del CNA 2002, 7.199.199 ha, sigue resultando inferior respecto a los datos de SIIA). Por lo tanto, y de acuerdo a los datos del SIIA, se asume como superficie cultivada total en la campaña 2001/2002 al 24,9% de los partidos de referencia, para los cuatros cultivos de interés.

Debemos destacar que esta acumulación de superficies sembradas no realiza distinciones entre variedades de cereales u oleaginosas (por ejemplo, acumula trigo candeal y trigo pan) y tampoco distingue entre soja “de primera” y “de segunda”. La siguiente tabla contiene los datos mencionados distinguiendo los correspondientes al CNA 2002 de los correspondientes al SIIA.

Cultivo	Datos del CNA 2002			Total SIIA 2001/2002 (ha)
	Primera Ocupación (ha)	Segunda Ocupación (ha)	Total CNA 2002 (ha)	
Girasol	863.736	51.990	915.727	1.074.920
Maíz	848.183	23.864	872.047	800.846
Soja 1ra	1.621.052	54.141	1.675.193	-
Soja 2da	104.844	793.926	898.770	-
Soja Total	1.725.896	848.067	2.573.963	2.188.090
Trigo	2.831.516	5.946	2.837.462	3.565.450
<b>Total Cultivos</b>	<b>6.269.332</b>	<b>929.867</b>	<b>7.199.199</b>	<b>7.629.306</b>

**Tabla IV-25. Superficie con cultivos anuales de interés en la provincia de Buenos Aires. Año 2002**

Fuente: elaboración propia con datos del CNA 2002 y SIIA

En la tabla anterior pueden observarse sensibles diferencias entre los datos relevados para los distintos cultivos (especialmente en los casos de soja y trigo). Dado que los datos del CNA 2002 corresponden a una situación puntual en el tiempo, mientras el SIIA provee las series históricas de superficies sembradas, cosechadas, producción y rendimientos para cada cultivo, en adelante se utilizará sólo esta última fuente de datos para los análisis estadísticos.

Los datos publicados por SIIA para el caso de la Provincia de Buenos Aires corresponden a superficies, producción y rendimiento de los principales cultivos extensivos e intensivos. En particular, para los extensivos, se cuenta con registros del período 1970-2011 de los siguientes cultivos (ordenados alfabéticamente): alpiste, avena, cebada (incluye, además de la cervecera, la forrajera, que es relativamente de escasa importancia), centeno, girasol, lino, maíz, soja, sorgo y trigo.

Respecto a la metodología utilizada por el MAGyP para la recolección y carga de datos estadísticos de cultivos, se menciona en su sitio de internet que *“El MAGyP cuenta con una red de 34 delegaciones en el interior del país, cuya función principal es relevar información estadística básica del sector, referida a estimaciones agrícolas semanales, precios mensuales de insumos, gastos de comercialización de hacienda y de granos, etc. Hasta marzo de 2009, la base metodológica de las Estimaciones tenía un sustento subjetivo que consistía en determinar, a través de consultas con operadores del sector agropecuario, el porcentaje de aumento o disminución respecto a la campaña inmediata anterior, sumados a la falta de recursos y de cobertura nacional. En abril de 2009 se creó la Dirección de Coordinación de Información, Delegaciones y Elaboración de Estimaciones Agropecuarias (DCIDEEA), cuya responsabilidad es entender en la coordinación de las actividades vinculadas con la captación de datos para la elaboración de las estimaciones agropecuarias y la gestión general de la información estadística generada por el SIIA, así como también gestionar la interacción con las Delegaciones Regionales”*.

La siguiente tabla contiene el promedio provincial, por década, de las hectáreas sembradas con cada uno de los cultivos extensivos relevados, divididos en dos grupos. El primer grupo contiene los cultivos de menor relevancia (alpiste, avena, cebada, centeno, lino y sorgo), mientras que el segundo grupo se corresponde con los cultivos de interés en este estudio (girasol, maíz, soja y trigo). La columna

subtotal contiene la suma horizontal para cada grupo de cultivos en las décadas respectivas, mientras que los valores en porcentaje corresponden a la incidencia de cada grupo de cultivos en la superficie promedio sembrada total por década. Por ejemplo, al grupo de cultivos de menor relevancia, con 2.859.627 ha le correspondía, en la década del '70, el 35% de la superficie total sembrada, 8.140.881 ha (total que no se exhibe en la tabla).

SUPERFICIE SEMBRADA PROMEDIO (Ha) EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES								
Período	Alpiste	Avena	Cebada	Centeno	Lino	Sorgo	Subtotal	%
1970/71 - 1979/80	46.963	848.800	494.134	598.650	309.210	561.870	2.859.627	35%
1980/81 - 1989/90	57.483	850.490	153.915	306.045	228.050	274.275	1.870.258	21%
1990/91 - 1999/00	26.814	670.990	177.347	40.545	55.710	54.839	1.026.244	12%
2000/01 - 2009/10	13.594	511.689	350.412	47.053	15.482	54.984	993.213	10%
Período	Girasol	Maíz	Soja		Trigo	Subtotal	%	
1970/71 - 1979/80	868.932	1.343.750	107.427		2.961.145	5.281.254	65%	
1980/81 - 1989/90	1.294.670	1.180.480	820.180		3.617.300	6.912.630	79%	
1990/91 - 1999/00	1.690.065	1.140.793	1.460.989		3.284.995	7.576.841	88%	
2000/01 - 2009/10	1.067.587	940.010	3.671.010		3.048.122	8.726.730	90%	

**Tabla IV-26. Superficies sembradas con cultivos extensivos en Provincia de Buenos Aires. Período 1970–2010**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

Como puede observarse en la tabla presentada, el segundo grupo, que en la década del '70 se correspondía con el 65% de la superficie sembrada, ha pasado a ser el 90% de los cultivos extensivos, debido al aumento exponencial de la superficie sembrada con soja (maíz y trigo se mantienen relativamente estables en el período, mientras que el girasol aumentó paulatinamente hasta la década del '90, descendiendo en la década inicial del presente siglo). Por el contrario, todos los cultivos del primer grupo han descendido, ocupando en la última década apenas un tercio de la superficie que ocupaban en la década del '70, siendo notables las disminuciones para centeno, lino y sorgo.

Centrándonos ya en los cultivos del grupo de estudio, la siguiente tabla contiene el detalle comparativo entre la Nación y la Provincia de Buenos Aires y para las últimas cinco campañas, de las superficies en hectáreas totales cosechadas, junto a la producción (en toneladas). Así mismo, se incluyen los promedios respectivos para las últimas cinco y diez campañas.

Se observa que, en promedio para las últimas cinco campañas, la provincia aportó a la producción nacional de cereales el 32% del maíz y el 56% del trigo, mientras que en oleaginosas, el aporte fue de 56% en girasol y 28% en soja. Considerando las últimas diez campañas, los porcentajes respectivos son 31%, 58%, 53% y 26%.

SUPERFICIES COSECHADAS Y PRODUCCIÓN DE CEREALES Y OLEAGINOSAS												
Campaña	MAÍZ						TRIGO					
	Superficie Cosechada (ha)			Producción (Tn)			Superficie Cosechada (ha)			Producción (Tn)		
	País	Provincia	%	País	Provincia	%	País	Provincia	%	País	Provincia	%
2006/07	2.838.072	708.430	25%	21.755.364	6.095.250	28%	5.540.405	2.981.325	54%	14.547.960	9.019.700	62%
2007/08	3.412.155	937.130	27%	22.016.926	7.077.260	32%	5.773.967	2.830.767	49%	16.347.722	7.670.480	47%
2008/09	2.353.175	722.220	31%	13.121.380	3.623.400	28%	4.263.240	2.405.960	56%	8.372.592	5.510.807	66%
2009/10	2.902.751	928.470	32%	22.676.920	8.128.850	36%	3.268.385	1.794.994	55%	9.016.373	4.776.657	53%
20010/11	3.747.521	1.206.431	32%	23.004.800	8.226.780	36%	4.526.495	2.282.985	50%	15.775.648	9.188.205	58%
<b>Promed 5 años</b>	<b>3.050.735</b>	<b>900.536</b>	<b>30%</b>	<b>20.515.078</b>	<b>6.630.308</b>	<b>32%</b>	<b>4.674.498</b>	<b>2.459.206</b>	<b>53%</b>	<b>12.812.059</b>	<b>7.233.170</b>	<b>56%</b>
<b>Promed 10 años</b>	<b>2.756.586</b>	<b>776.349</b>	<b>28%</b>	<b>18.221.093</b>	<b>5.703.671</b>	<b>31%</b>	<b>5.304.126</b>	<b>2.810.203</b>	<b>53%</b>	<b>13.476.933</b>	<b>7.795.568</b>	<b>58%</b>
Campaña	GIRASOL						SOJA					
	Superficie Cosechada (ha)			Producción (Tn)			Superficie Cosechada (ha)			Producción (Tn)		
	País	Provincia	%	País	Provincia	%	País	Provincia	%	País	Provincia	%
2006/07	2.351.348	1.171.548	50%	3.497.732	1.676.307	48%	15.981.264	4.009.918	25%	47.482.786	11.653.274	25%
2007/08	2.569.136	1.334.240	52%	4.650.365	2.407.689	52%	16.387.438	4.147.880	25%	46.238.087	12.245.799	26%
2008/09	1.820.030	905.370	50%	2.483.437	1.419.814	57%	16.767.548	5.109.041	30%	30.993.379	6.743.391	22%
2009/10	1.489.042	847.205	57%	2.220.706	1.519.251	68%	18.130.904	5.609.544	31%	52.676.620	17.054.947	32%
20010/11	1.741.480	952.305	55%	3.669.165	2.220.315	61%	18.749.612	5.843.343	31%	48.885.703	15.465.223	32%
<b>Promed 5 años</b>	<b>1.994.207</b>	<b>1.042.134</b>	<b>52%</b>	<b>3.304.281</b>	<b>1.848.675</b>	<b>56%</b>	<b>17.203.353</b>	<b>4.943.945</b>	<b>29%</b>	<b>45.255.315</b>	<b>12.632.527</b>	<b>28%</b>
<b>Promed 10 años</b>	<b>2.023.568</b>	<b>1.051.782</b>	<b>52%</b>	<b>3.466.150</b>	<b>1.838.125</b>	<b>53%</b>	<b>15.331.383</b>	<b>3.936.955</b>	<b>26%</b>	<b>40.150.924</b>	<b>10.446.115</b>	<b>26%</b>

**Tabla IV-27. Producción Nacional y Provincial para los cuatro cultivos de interés. Últimas cinco y diez campañas**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

En cuanto a las superficies cosechadas totales, a la Provincia le corresponden valores relativos inferiores a los de producción, indicando que los rendimientos promedios son superiores a la media del resto del país para todos los cultivos, excepto en el caso de la soja. En tal sentido, y corroborando lo dicho, la Tabla que sigue contiene el detalle de los rendimientos promedio por cultivo para Provincia y para el resto de la Nación. En las últimas cinco campañas, las diferencias de rendimiento relativas son significativas (entre 14% y 17%) a favor de la Provincia en maíz, trigo y girasol, mientras que para la soja, el rendimiento promedio es levemente inferior (4%) al promedio del resto del país. Esto no significa que los

rendimientos provinciales sean los mejores respecto a cada una de las otras provincias productoras, pero si los son respecto a los promedios del resto del país considerado en conjunto.

RENDIMIENTOS PROMEDIO (Tn/ha)					
Cultivo	Período	Provincia	Resto País	Diferencia	Dif. Relativa
Maíz	Últimos 5 años	7.363	6.457	905	14%
	Últimos 10 años	7.347	6.321	1.026	16%
Trigo	Últimos 5 años	2.941	2.518	423	17%
	Últimos 10 años	2.774	2.278	496	22%
Girasol	Últimos 5 años	1.774	1.529	245	16%
	Últimos 10 años	1.748	1.675	72	4%
Soja	Últimos 5 años	2.555	2.661	-106	-4%
	Últimos 10 años	2.653	2.607	46	2%

**Tabla IV-28. Rendimientos Provincial y Nacional para los cuatro cultivos de interés. Últimas cinco y diez campañas**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA

En cuanto al Valor Bruto de Producción (VBP) para los cuatro cultivos principales en la Provincia, la siguiente tabla contiene una estimación de la misma para las últimas cinco campañas y el aporte en porcentaje al total nacional (que incluye a la Provincia). Los precios de los productos considerados (granos de girasol, maíz, soja y trigo) se corresponden con el promedio anual del Valor FOB Puerto Argentino, en dólares estadounidenses, según datos suministrados por la Bolsa de Cereales. De los datos consignados se observa que la Provincia contribuye con el 33% VBP de granos de maíz, 56% en trigo y girasol, y 28% para el caso de la soja.

VALOR BRUTO DE PRODUCCIÓN								
AÑO	MAÍZ				TRIGO			
	FOB (U\$S/Tn)	Pais (Millones U\$S)	Prov. (Millones U\$S)	%	FOB (U\$S/Tn)	Pais (Millones U\$S)	Prov. (Millones U\$S)	%
2007	161,52	3.514	984	28%	242,85	3.533	2.190	62%
2008	205,70	4.529	1.456	32%	302,38	4.943	2.319	47%
2009	168,36	2.209	610	28%	220,62	1.847	1.216	66%
2010	194,65	4.414	1.582	36%	252,04	2.272	1.204	53%
2011	285,62	6.571	2.350	36%	298,55	4.710	2.743	58%
<b>Prom.</b>	<b>203,17</b>	<b>4.247</b>	<b>1.396</b>	<b>33%</b>	<b>263,29</b>	<b>3.461</b>	<b>1.935</b>	<b>56%</b>
AÑO	GIRASOL				SOJA			
	FOB (U\$S/Tn)	Pais (Millones U\$S)	Prov. (Millones U\$S)	%	FOB (U\$S/Tn)	Pais (Millones U\$S)	Prov. (Millones U\$S)	%
2007	336,55	1.177	564	48%	315,18	14.965	3.673	25%
2008	528,01	2.455	1.271	52%	452,77	20.935	5.545	26%
2009	326,30	810	463	57%	400,17	12.403	2.699	22%
2010	453,24	1.007	689	68%	406,50	21.413	6.933	32%
2011	599,19	2.199	1.330	61%	482,78	23.601	7.466	32%
<b>Prom.</b>	<b>448,66</b>	<b>1.530</b>	<b>864</b>	<b>56%</b>	<b>411,48</b>	<b>18.664</b>	<b>5.263</b>	<b>28%</b>

**Tabla IV-29. Valor Bruto de Producción Nacional y Provincial para los cuatro cultivos de interés. Período 2007-2011**

Fuente: elaboración propia con datos del SIIA y Bolsa de Cereales

Por otro lado, cuando consideramos la distribución del VBP entre cultivos dentro de la Provincia, las oleaginosas representaron en promedio para las últimas cinco campañas el 65%, correspondiendo el 56% a soja, y el 9% restante al girasol. Los cereales aportan el 35% restante, siendo el trigo (20%) de mayor relevancia que el maíz (15%). Sin embargo, este es un análisis parcial, pues parte de los granos producidos (y valorados) corresponden a productos intermedios, que finalizan en productos y subproductos exportables de mayor valor.

VBP (promedio últimos cinco años)		
Cultivo	Prov. (Millones U\$S)	%
Maíz	1.396	15%
Trigo	1.935	20%
<b>Cereales</b>	<b>3.331</b>	<b>35%</b>
Girasol	864	9%
Soja	5.263	56%
<b>Oleaginosas</b>	<b>6.127</b>	<b>65%</b>
<b>Total Granos</b>	<b>9.458</b>	<b>100%</b>

**Tabla IV-30. Valor Bruto de Producción Provincial para los cuatro cultivos de interés. Promedio 2007-2011**

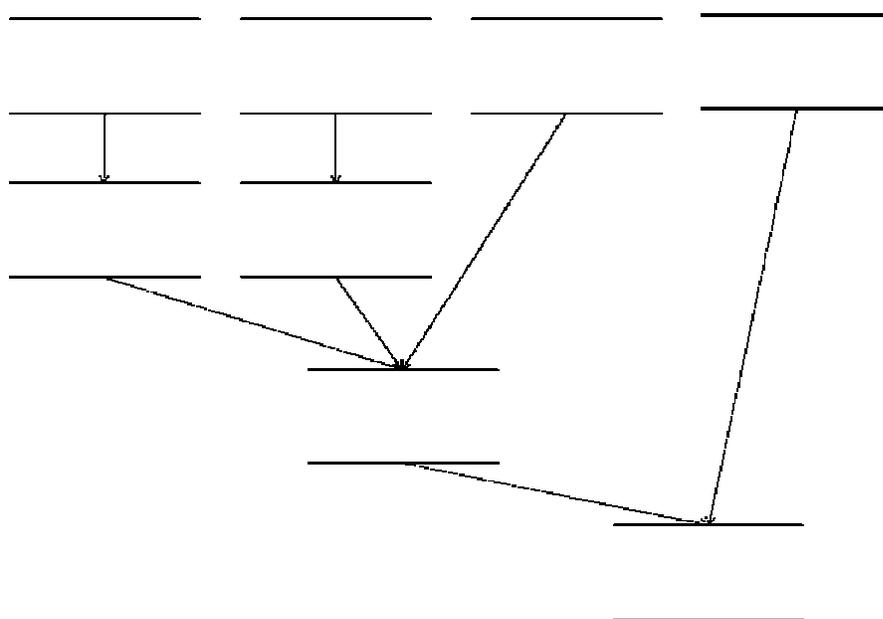
Fuente: elaboración propia con datos del SIIA y Bolsa de Cereales  
INFORME FINAL

## V. RESULTADOS DE LA MODELACION UTILIZANDO CROPWAT PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HIDRICA VERDE.

### 1º.- Introducción

Inicialmente, para calibrar el modelo, se ensayaron una serie de corridas a fin de modelar las huellas hídricas de los cultivos maíz, soja, girasol y trigo para las distintas ZAH.

A fin de realizar el modelado espacial del software CropWat, y con el objetivo de estimar los requerimientos de agua de los distintos cultivos para una determinada condición de evapotranspiración, precipitación, suelos y diferentes parámetros del cultivo, se realizaron los respectivos mapeos de los datos en zonas homogéneas las variables correspondientes a  $E_t_o$ , precipitación y suelos. A continuación, se esquematiza conceptualmente el procedimiento llevado a cabo para la obtención de los resultados en relación al origen espacial de los datos.



**Ilustración V-1. Pasos metodológicos seguidos para la determinación de polígonos homogéneos**

A continuación se presentan los resultados extraídos de CropWat para las variables de interés y las Huellas Hídricas Verdes calculadas para cultivos de girasol, maíz, soja (de primera) y trigo, en las zonas agroeconómicas 2 a 8, establecidas por la ORA.

Los resultados exhibidos corresponden a las variables de salida utilizadas por CropWat para el cálculo de requerimiento adicional de agua por parte del cultivo (dado por el déficit de humedad producto de la diferencia entre ETc máxima potencial y precipitación efectiva), las cuales son: Evapotranspiración potencial máxima del cultivo en condiciones estándar (ETPc), Precipitación efectiva (PPE), déficit de humedad del cultivo, y disminución de rendimiento a causa del déficit de humedad.

Para cada una de estas variables se presentan valores máximos y mínimos por ZAH, estadísticos de posición (media) y dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), promedios ponderados por ZAH y promedio ponderado para toda la provincia.

Posteriormente, se presentan los valores de Huellas Hídricas Verdes estimadas para cada cultivo en cuanto a valores mínimos y máximos por ZAH, estadísticos de posición y dispersión, análisis de diferencias entre años seco y húmedo, valores ponderados por ZAH y promedio ponderado provincial por tipo de año en cuanto al régimen de precipitaciones (seco, normal y húmedo).

## 2º. - Evapotranspiración de los cultivos en condiciones estándar (ETc)

Se estimaron las evapotranspiraciones en condiciones estándar para los cuatro cultivos de interés con datos de 27 estaciones meteorológicas, distribuidas en las ZAH 2 a 8. La siguiente tabla detalla los valores mínimos y máximos obtenidos en cada ZAH.

Zona	Cantidad de Estaciones	ETc Girasol			ETc Maíz		
		ETc mínima (mm)	ETc máxima (mm)	Rango (mm)	ETc mínima (mm)	ETc máxima (mm)	Rango (mm)
Zona 2	6	585	806	221	577	934	357
Zona 3	10	488	795	307	565	918	354
Zona 4	13	493	691	198	568	794	226
Zona 5	5	568	629	61	567	626	59
Zona 6	5	550	667	117	556	676	121
Zona 7	6	552	707	156	546	679	133
Zona 8	4	566	614	48	581	621	40
Zona	Cantidad de Estaciones	ETc Soja 1ra			ETc Trigo		
		ETc mínima (mm)	ETc máxima (mm)	Rango (mm)	ETc mínima (mm)	ETc máxima (mm)	Rango (mm)
Zona 2	6	571	869	298	408	711	302
Zona 3	10	507	795	288	306	450	144
Zona 4	13	541	749	208	360	511	151
Zona 5	5	572	634	62	428	472	44
Zona 6	5	549	667	118	404	511	107
Zona 7	6	538	693	155	387	492	105
Zona 8	4	572	621	50	437	466	28

**Tabla V-1. ETc mínima y máxima estimadas por cultivo y por ZAH**

En general, se observa para todos los cultivos una mayor dispersión de datos en los valores de ETPc máximos entre ZAH, que entre los valores mínimos. A modo de ejemplo, para el caso del girasol queda determinado un rango de 97 mm entre las cantidades mínimas registradas (diferencia entre las ETPc de ZAH 2 y ZAH 3), mientras que entre las máximas (diferencia entre las ETPc de ZAH 2 y ZAH 8) el rango es de 192 mm.

Las ETPc mínimas se registran en la Estación Meteorológica de Mar del Plata (ZAH 3) para los casos de los cultivos de girasol, soja y trigo (488 mm, 507 mm y 306 mm respectivamente), mientras que para el maíz el mínimo (546 mm) corresponde a la Estación Meteorológica Pehuajó, en ZAH 7.

Las ETPc máximas corresponden a la Estación Meteorológica Bahía Blanca para los cuatro cultivos, con 934 mm para maíz, 869 mm en soja, 806 mm en girasol y 711 mm en trigo.

El trigo, por ser cultivo de invierno, presenta menor evapotranspiración, en tanto que entre los cultivos de verano el maíz suele exhibir mayores ETPc entre los valores máximos -aunque no así entre los mínimos- por ZAH.

Las ZAH 2, 3 y 4 contienen las estaciones meteorológicas donde se registran las mayores ETc para girasol, maíz y soja, mientras que para el trigo, la ZAH 2 se diferencia del resto en cuanto al valor máximo.

Para las ZAH 3 y 4 se estimaron estadísticos de posición (media) y dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación), resultados que se presentan en la siguiente tabla. Puede observarse que el coeficiente de variación se ubica, para la ZAH 3, entre 14,3% (girasol) y 12,4% (trigo), mientras que en ZAH 4 el estadístico se agrupa alrededor del 10% para los cuatro cultivos. En todos los casos la dispersión se considera aceptable.

Estadístico	Girasol		Maíz	
	Zona 3	Zona 4	Zona 3	Zona 4
Media	608	583	704	678
Desviación estandar	86.78	58.68	99.76	65.95
Coeficiente de variación	14.3%	10.1%	14.2%	9.7%
Estadístico	Soja 1ra		Trigo	
	Zona 3	Zona 4	Zona 3	Zona 4
Media	616	640	367	425
Desviación estandar	83.52	60.71	45.54	44.00
Coeficiente de variación	13.6%	9.5%	12.4%	10.4%

**Tabla V-2. Estadísticos de posición y dispersión para la ETc en ZAH 3 y 4**

Para el resto de las ZAH, debido a la exigua cantidad de datos, no fue posible realizar el análisis estadístico. No obstante se calculó, como una aproximación al coeficiente de variación, el porcentaje de variación entre los valores mínimos y máximos. Puede observarse en la siguiente tabla que, excepto para el trigo en ZAH 2, el rango en valor relativo respecto a la ETPc mínima es inferior para todas las ZAH respecto al valor de la ZAH 3. De ellos podemos inferir que, en caso de disponerse de mayor cantidad de observaciones, los coeficientes de variación presentarían valores inferiores a los calculados para la ZAH 3, indicando menor

dispersión en los datos y, en consecuencia, mayor homogeneidad para la variable en cada zona.

Zona	ETc Girasol	Etc Maíz	ETc Soja 1ra	Etc Trigo
	Rango en %	Rango en %	Rango en %	Rango en %
Zona 2	38%	62%	52%	74%
Zona 3	63%	63%	57%	47%
Zona 4	40%	40%	38%	42%
Zona 5	11%	10%	11%	10%
Zona 6	21%	22%	22%	27%
Zona 7	28%	24%	29%	27%
Zona 8	9%	7%	9%	6%

**Tabla V-3. Valor relativo del rango para la ETc en cada ZAH**

La tabla siguiente detalla las medias ponderadas por superficies de los polígonos para cada una de las ZAH.

Zona	Etc media ponderada para Girasol (mm)	Etc media ponderada para Maíz (mm)	Etc media ponderada para Soja 1ra (mm)	Etc media ponderada para Trigo (mm)
Zona 2	630	735	682	588
Zona 3	595	689	602	360
Zona 4	597	686	647	431
Zona 5	605	608	608	453
Zona 6	640	646	640	483
Zona 7	639	622	625	448
Zona 8	596	612	601	460

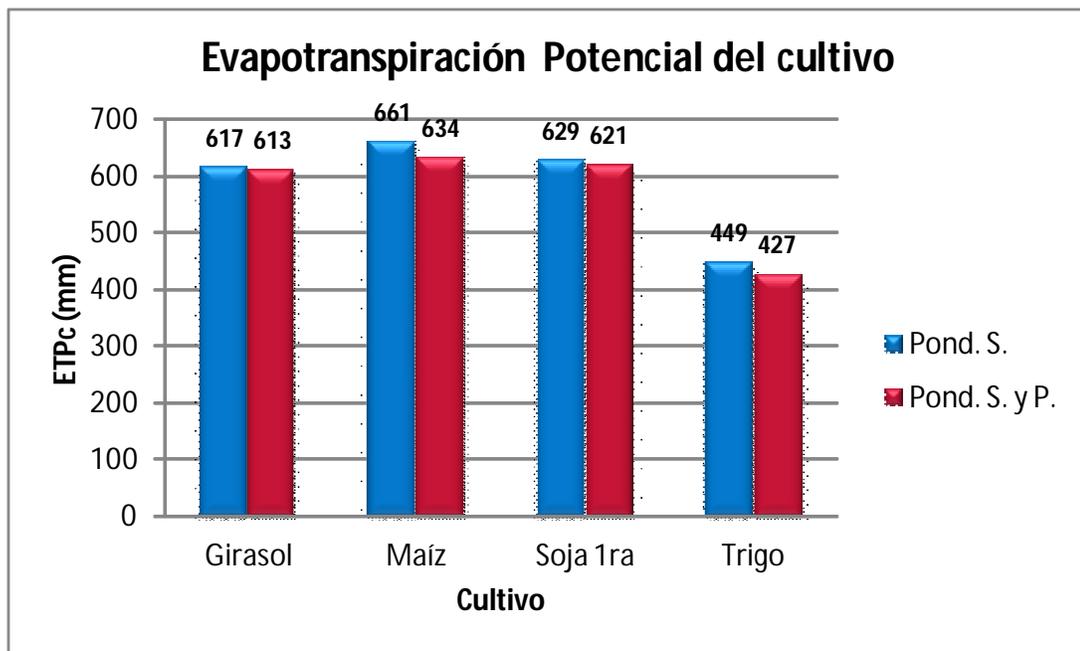
**Tabla V-4. ETc media ponderada por ZAH**

Para los cultivos de verano, los valores de ETPc se agrupan en el rango de 600 a 700 mm. Para girasol se observan evapotranspiraciones mayores a 600 mm en las ZAH 2, 5, 6 y 7; mientras que en las restantes el valor es ligeramente inferior.

En el caso del maíz, para todas las ZAH los valores de ETPc superan los 600 mm, destacándose la ZAH 2, con 735 mm de ETPc, mientras que para la soja de primera ocupación los valores medios se ubican entre 600 y 650 mm, excepto en ZAH 2, con 682 mm.

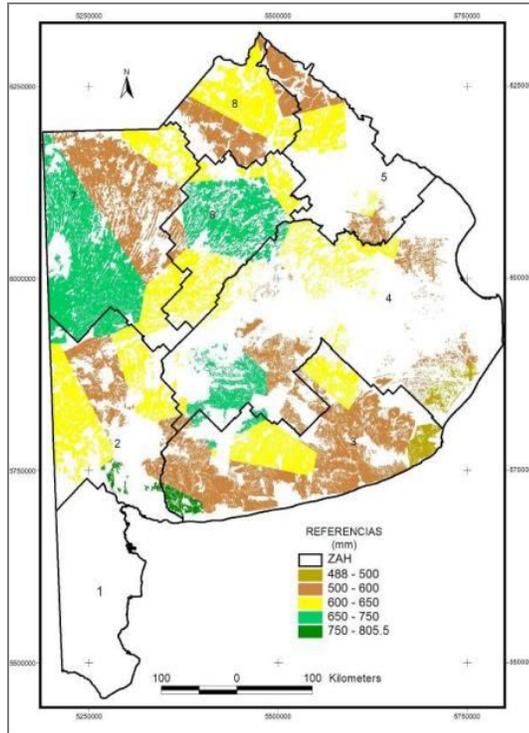
El trigo, como ya se mencionó, presenta menores valores de ETPc, agrupándose en el rango de 430 a 490 mm, con la excepción de la ZAH 3 (zona triguera tradicional), con sólo 360 mm, y la ZAH 2 con un valor alto, cercano a los 600 mm.

La ETc promedio provincial, ponderada por superficie y producción, es de 613 mm para girasol, 634 mm para maíz, 621 mm para soja de primera ocupación y 472 mm para trigo. El siguiente gráfico comparativo presenta, por cultivo y para la el total de la provincia, la ETPc promedio ponderado por superficies de polígonos, y promedio ponderado por superficie y producción por ZAH. Esta segunda ponderación presenta menores valores para todos los cultivos.

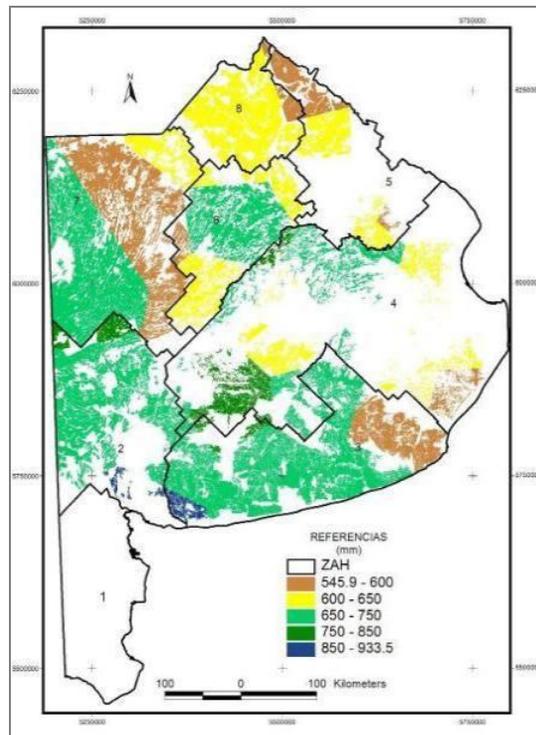


**Gráfico V-1. Evapotranspiración Potencial de los cultivos. Promedio provincial**

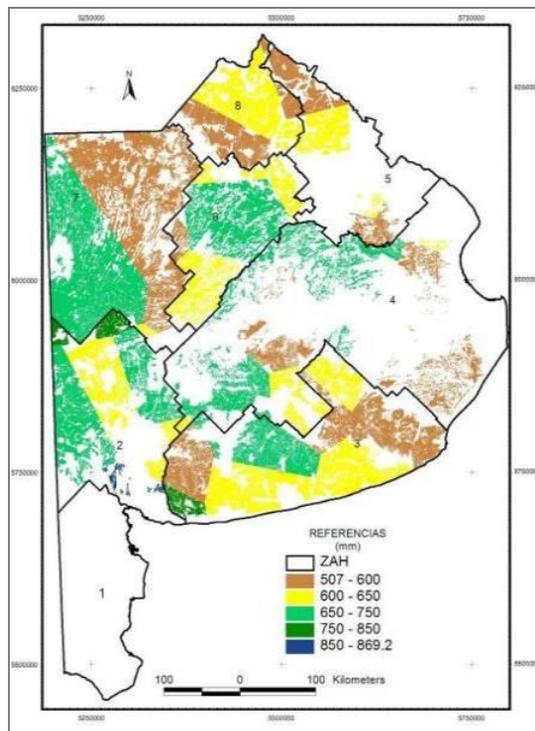
**x.- Mapas síntesis de resultados de ETPc**



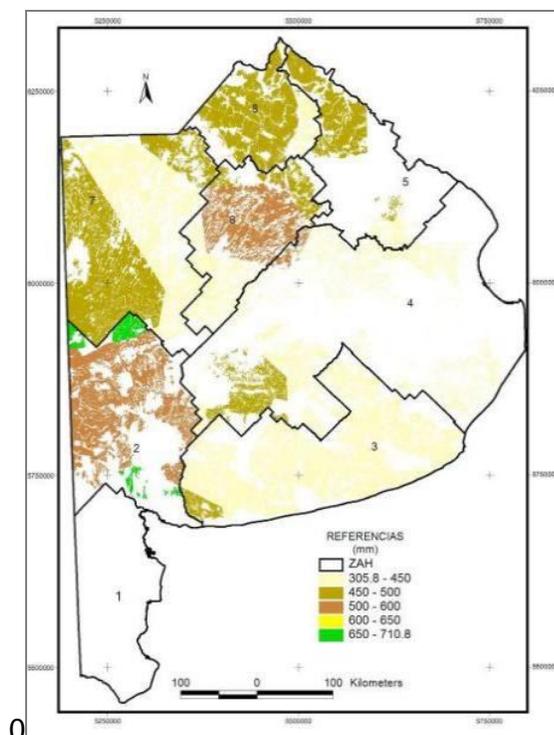
**Mapa 27. Girasol. Evapotranspiración potencial**



**Mapa 28. Maíz. Evapotranspiración potencial**



**Mapa 29. Soja. Evapotranspiración potencial**



**Mapa 30. Trigo. Evapotranspiración potencial**

3°.-

### Usos reales del agua obtenidos en la modelación por región.

El modelo de cálculo del Cropwat para estimar el uso real del agua, fue calculado para cada situación hídrica y se representa en los siguientes gráficos que se presentan a continuación.

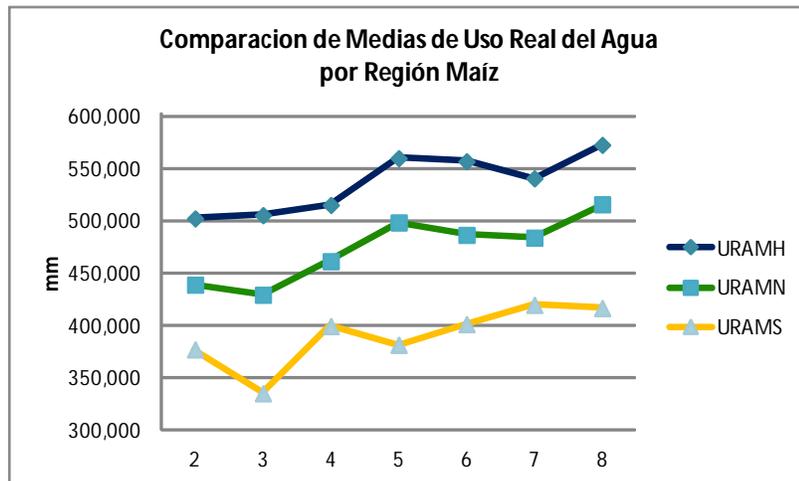


Gráfico V-2: Uso real del agua para maíz por región para cada condición hídrica

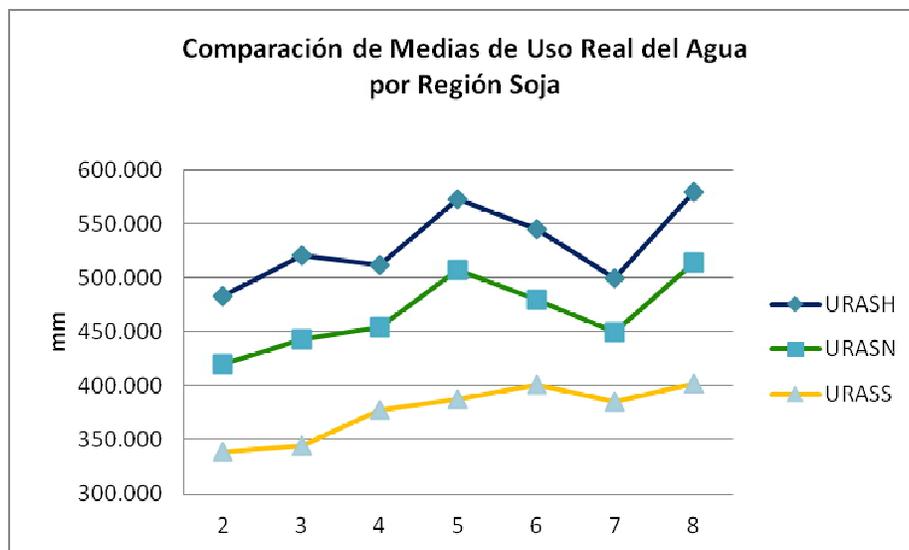
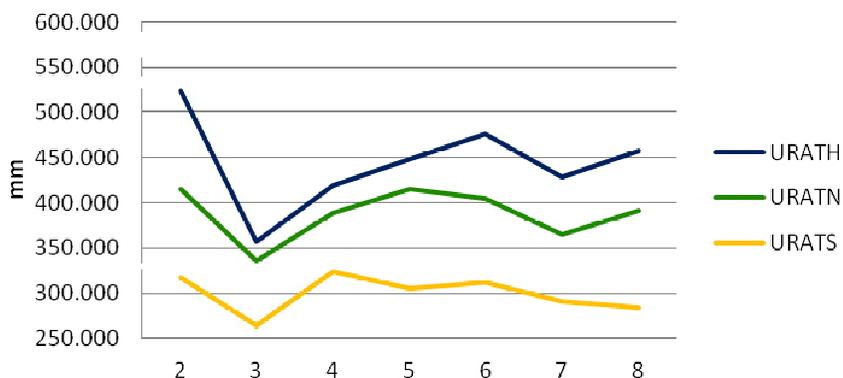


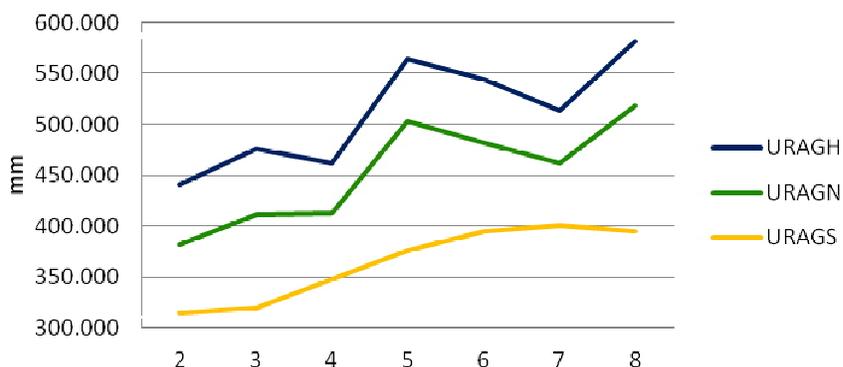
Gráfico V-3: Uso real del agua para soja por región para cada condición hídrica

**Comparación de Medias de Uso Real del Agua por Región Trigo**



**Gráfico V-4: Uso real del agua para trigo por región para cada condición hídrica**

**Comparación de Medias de Uso Real del Agua por Región Girasol**



**Gráfico V-5: Uso real del agua para girasol por región para cada condición hídrica**

**y.-Anova de un factor de los usos reales modelados para Maíz.**

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
11URAMH	Inter-grupos	231697,140	6	38616,190	24,496	.000
	Intra-grupos	588010,422	373	1576,435		
	Total	819707,562	379			
14MURAN	Inter-grupos	301006,506	6	50167,751	35,048	.000
	Intra-grupos	533920,005	373	1431,421		
	Total	834926,511	379			
17URAMS	Inter-grupos	324720,363	6	54120,060	43,725	.000
	Intra-grupos	461676,936	373	1237,740		
	Total	786397,298	379			

Se observan diferencias significativas entre los grupos al 99%, pero al observar el test de Tukey a continuación, se puede ver que para el periodo húmedo hay 3 grupos que pueden diferenciarse, agrupando las regiones 2, 3 y 4; luego la 5,6 y 7; y

por último la 5, 6 y 8. En cambio para el periodo normal se diferencian 5 grupos (2,3; 2,4; 4,7; 5,6 y 7; y 5 y 8). Para el periodo seco se diferencian 4 grupos (3; 2 y 5; 4,5 y 6; 4, 6,7 y 8).

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%			
						Limite inferior	Limite superior		
11URAMH	2	3	-3,1212	7,2004	,999	-24,467	18,224		
		4	-12,8300	7,1542	,553	-34,039	8,379		
		5	-57,5567	9,0117	,000	-84,272	-30,841		
		6	-54,5557	8,4421	,000	-79,582	-29,529		
		7	-38,2726	6,9372	,000	-58,838	-17,707		
		8	-70,2262	8,3117	,000	-94,866	-45,586		
		3	2	3,1212	7,2004	,999	-18,224	24,467	
			4	-9,7088	6,7604	,782	-29,750	10,333	
	5		-54,4355	8,7023	,000	-80,234	-28,637		
	6		-51,4345	8,1111	,000	-75,480	-27,389		
	7		-35,1514	6,5303	,000	-54,511	-15,792		
	8		-67,1050	7,9752	,000	-90,748	-43,462		
	4		2	12,8300	7,1542	,553	-8,379	34,039	
			3	9,7088	6,7604	,782	-10,333	29,750	
		5	-44,7267	8,6642	,000	-70,412	-19,042		
		6	-41,7257	8,0701	,000	-65,650	-17,802		
		7	-25,4426	6,4794	,002	-44,651	-6,234		
		8	-57,3962	7,9336	,000	-80,915	-33,877		
		5	2	57,5567	9,0117	,000	30,841	84,272	
			3	54,4355	8,7023	,000	28,637	80,234	
	4		44,7267	8,6642	,000	19,042	70,412		
	6		3,0010	9,7547	1,000	-25,917	31,919		
	7		19,2841	8,4859	,260	-5,872	44,441		
	8		-12,6695	9,6421	,845	-41,253	15,915		
	6		2	54,5557	8,4421	,000	29,529	79,582	
			3	51,4345	8,1111	,000	27,389	75,480	
		4	41,7257	8,0701	,000	17,802	65,650		
		5	-3,0010	9,7547	1,000	-31,919	25,917		
		7	16,2831	7,8784	,375	-7,072	39,639		
		8	-15,6705	9,1120	,603	-42,683	11,342		
		7	2	38,2726	6,9372	,000	17,707	58,838	
			3	35,1514	6,5303	,000	15,792	54,511	
	4		25,4426	6,4794	,002	6,234	44,651		
	5		-19,2841	8,4859	,260	-44,441	5,872		
	6		-16,2831	7,8784	,375	-39,639	7,072		
	8		-31,9536	7,7384	,001	-54,894	-9,013		
	8		2	70,2262	8,3117	,000	45,586	94,866	
			3	67,1050	7,9752	,000	43,462	90,748	
		4	57,3962	7,9336	,000	33,877	80,915		
		5	12,6695	9,6421	,845	-15,915	41,253		
		6	15,6705	9,1120	,603	-11,342	42,683		
		7	31,9536	7,7384	,001	9,013	54,894		
		14MURAN	2	3	9,6349	6,8612	,799	-10,705	29,975
				4	-22,4688	6,8172	,018	-42,679	-2,259
	5			-59,5079	8,5872	,000	-84,965	-34,051	
	6			-47,5837	8,0444	,000	-71,432	-23,736	
	7			-44,9205	6,6104	,000	-64,517	-25,324	
	8			-76,7843	7,9202	,000	-100,264	-53,305	
3	2			-9,6349	6,8612	,799	-29,975	10,705	
	4			-32,1037	6,4420	,000	-51,201	-13,006	
	5		-69,1427	8,2924	,000	-93,726	-44,560		
	6		-57,2186	7,7290	,000	-80,131	-34,306		
	7		-54,5553	6,2227	,000	-73,003	-36,108		
	8		-86,4192	7,5996	,000	-108,948	-63,890		

Subconjuntos homogéneos				
11URAMH				
HSD de Tukey <sub>a,b</sub>				
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
2	55	502,420		
3	68	505,541		
4	70	515,250		
7	81		540,693	
6	37		556,976	556,976
5	30		559,977	559,977
8	39			572,646
Sig.		,692	,209	,458

14MURAN						
HSD de Tukey <sub>a,b</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
3	68	429,471				
2	55	439,105	439,105			
4	70		461,574	461,574		
7	81			484,026	484,026	
6	37				486,689	
5	30				498,613	498,613
8	39					515,890
Sig.		,874	,058	,058	,488	,277

17URAMS					
HSD de Tukey <sub>a,b</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
3	68	335,412			
2	55		377,269		
5	30		381,673	381,673	
4	70			399,567	399,567
6	37			401,422	401,422
8	39				416,705
7	81				419,831
Sig.		1,000	,996	,088	,073

**z.-Anova de un factor de los usos reales modelados para Soja.**

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
11URASH	Inter-grupos	359989,316	6	59998,219	37,351	,000
	Intra-grupos	599160,594	373	1606,329		
	Total	959149,910	379			
14SURAN	Inter-grupos	310519,590	6	51753,265	34,837	,000
	Intra-grupos	554123,126	373	1485,585		
	Total	864642,716	379			
17URASS	Inter-grupos	202603,348	6	33767,225	25,355	,000
	Intra-grupos	496753,221	373	1331,778		
	Total	699356,570	379			

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%			
						Límite inferior	Límite superior		
11URASH	2	3	-38,5064	7,2683	,000	-60,053	-16,959		
		4	-28,6916	7,2217	,002	-50,100	-7,283		
		5	-90,2473	9,0967	,000	-117,215	-63,280		
		6	-62,2629	8,5218	,000	-87,526	-37,000		
		7	-16,5651	7,0027	,216	-37,325	4,194		
		8	-96,5821	8,3901	,000	-121,455	-71,710		
		3	2	38,5064	7,2683	,000	16,959	60,053	
			4	9,8148	6,8242	,781	-10,416	30,045	
	5		-51,7409	8,7845	,000	-77,783	-25,699		
	6		-23,7566	8,1876	,060	-48,029	,516		
	7		21,9413	6,5919	,017	2,399	41,483		
	8		-58,0758	8,0505	,000	-81,942	-34,210		
	4		2	28,6916	7,2217	,002	7,283	50,100	
			3	-9,8148	6,8242	,781	-30,045	10,416	
		5	-61,5557	8,7460	,000	-87,483	-35,628		
		6	-33,5714	8,1463	,001	-57,721	-9,422		
		7	12,1265	6,5405	,512	-7,263	31,516		
		8	-67,8906	8,0085	,000	-91,632	-44,149		
		5	2	90,2473	9,0967	,000	63,280	117,215	
			3	51,7409	8,7845	,000	25,699	77,783	
	4		61,5557	8,7460	,000	35,628	87,483		
	6		27,9843	9,8468	,070	-1,207	57,175		
	7		73,6822	8,5660	,000	48,288	99,076		
	8		-6,3349	9,7330	,995	-35,189	22,519		
	6		2	62,2629	8,5218	,000	37,000	87,526	
			3	23,7566	8,1876	,060	-5,516	48,029	
		4	33,5714	8,1463	,001	9,422	57,721		
		5	-27,9843	9,8468	,070	-57,175	1,207		
		7	45,6979	7,9527	,000	22,122	69,274		
		8	-34,3192	9,1979	,004	-61,587	-7,052		
		7	2	16,5651	7,0027	,216	-4,194	37,325	
			3	-21,9413	6,5919	,017	-41,483	-2,399	
	4		-12,1265	6,5405	,512	-31,516	7,263		
	5		-73,6822	8,5660	,000	-99,076	-48,288		
	6		-45,6979	7,9527	,000	-69,274	-22,122		
	8		-80,0171	7,8115	,000	-103,174	-56,860		
	8		2	96,5821	8,3901	,000	71,710	121,455	
			3	58,0758	8,0505	,000	34,210	81,942	
		4	67,8906	8,0085	,000	44,149	91,632		
		5	6,3349	9,7330	,995	-22,519	35,189		
		6	34,3192	9,1979	,004	7,052	61,587		
		7	80,0171	7,8115	,000	56,860	103,174		
		14SURAN	2	3	-23,0101	6,9898	,019	-43,731	-2,289
				4	-34,8613	6,9450	,000	-55,450	-14,273
	5			-87,2794	8,7481	,000	-113,213	-61,345	
	6			-59,4446	8,1952	,000	-83,739	-35,150	
	7			-30,3046	6,7343	,000	-50,269	-10,341	
	8			-93,7245	8,0686	,000	-117,644	-69,805	
3	2			23,0101	6,9898	,019	2,289	43,731	
	4			-11,8512	6,5627	,545	-31,307	7,604	
	5		-64,2693	8,4479	,000	-89,313	-39,226		
	6		-36,4345	7,8739	,000	-59,777	-13,092		
	7		-7,2945	6,3394	,912	-26,088	11,499		
	8		-70,7144	7,7420	,000	-93,666	-47,763		

Subconjuntos homogéneos					
11URASH					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	482,713			
7	81	499,278	499,278		
4	70		511,404		
3	68		521,219	521,219	
6	37			544,976	
5	30				572,960
8	39				579,295
Sig.		,399	,105	,059	,987

14SURAN					
HSD de Tukey <sub>ya,b</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	419,747			
3	68	442,757	442,757		
7	81		450,052		
4	70		454,609		
6	37			479,192	
5	30				507,027
8	39				513,472
Sig.		,055	,740	1,000	,983

17URASS				
HSD de Tukey <sub>ya,b</sub>				
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
2	55	339,065		
3	68	344,097		
4	70		377,937	
7	81		385,725	385,725
5	30		387,090	387,090
6	37			401,435
8	39			401,562
Sig.		,994	,882	,338

Para la soja, se observan diferencias significativas entre los grupos al 99%, pero al observar el test de Tukey, se puede ver que para el periodo húmedo hay 4 grupos que pueden diferenciarse, agrupando las regiones (2-7; 7-4-3; luego la 3-6; 7-8). Para el periodo normal se diferencian 4 grupos (2-3; 3-4-7; 4-7; 6; 5-8). Para el periodo seco se diferencian 3 grupos (2-3; 4-5-7; 7-5-6-8).

### aa.-Anova de un factor de los usos reales modelados para Trigo.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
11URATH	Inter-grupos	957594,383	6	159599,064	161,634	,000
	Intra-grupos	368304,010	373	987,410		
	Total	1325898,394	379			
14TURAN	Inter-grupos	288847,883	6	48141,314	65,953	,000
	Intra-grupos	272264,926	373	729,933		
	Total	561112,809	379			
17URATS	Inter-grupos	167149,407	6	27858,235	45,993	,000
	Intra-grupos	225926,806	373	605,702		
	Total	393076,213	379			

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%			
						Límite inferior	Límite superior		
11URATH	2	3	167,0249	5,6986	,000	150,131	183,918		
		4	105,0453	5,6620	,000	88,260	121,831		
		5	75,5815	7,1321	,000	54,438	96,725		
		6	48,3517	6,6813	,000	28,545	68,158		
		7	95,8765	5,4903	,000	79,600	112,152		
		8	65,8305	6,5781	,000	46,330	85,331		
		3	2	-167,0249	5,6986	,000	-183,918	-150,131	
			4	-61,9796	5,3504	,000	-77,841	-46,118	
	5		-91,4434	6,8873	,000	-111,861	-71,026		
	6		-118,6733	6,4193	,000	-137,703	-99,643		
	7		-71,1485	5,1683	,000	-86,470	-55,827		
	8		-101,1945	6,3118	,000	-119,906	-82,483		
	4		2	-105,0453	5,6620	,000	-121,831	-88,260	
			3	61,9796	5,3504	,000	46,118	77,841	
		5	-29,4638	6,8571	,000	-49,792	-9,136		
		6	-56,6936	6,3869	,000	-75,628	-37,760		
		7	-9,1689	5,1280	,557	-24,371	6,033		
		8	-39,2148	6,2789	,000	-57,829	-20,601		
		5	2	-75,5815	7,1321	,000	-96,725	-54,438	
			3	91,4434	6,8873	,000	71,026	111,861	
	4		29,4638	6,8571	,000	9,136	49,792		
	6		-27,2298	7,7201	,009	-50,116	-4,343		
	7		20,2949	6,7159	,042	,385	40,204		
	8		-9,7510	7,6310	,862	-32,373	12,871		
	6		2	-48,3517	6,6813	,000	-68,158	-28,545	
			3	118,6733	6,4193	,000	99,643	137,703	
		4	56,6936	6,3869	,000	37,760	75,628		
		5	27,2298	7,7201	,009	4,343	50,116		
		7	47,5248	6,2351	,000	29,041	66,009		
		8	17,4788	7,2114	,192	-3,900	38,857		
		7	2	-95,8765	5,4903	,000	-112,152	-79,600	
			3	71,1485	5,1683	,000	55,827	86,470	
	4		9,1689	5,1280	,557	-6,033	24,371		
	5		-20,2949	6,7159	,042	-40,204	-,385		
	6		-47,5248	6,2351	,000	-66,009	-29,041		
	8		-30,0460	6,1244	,000	-48,202	-11,890		
	8		2	-65,8305	6,5781	,000	-85,331	-46,330	
			3	101,1945	6,3118	,000	82,483	119,906	
		4	39,2148	6,2789	,000	20,601	57,829		
		5	9,7510	7,6310	,862	-12,871	32,373		
		6	-17,4788	7,2114	,192	-38,857	3,900		
		7	30,0460	6,1244	,000	11,890	48,202		
		14TURAN	2	3	79,6977	4,8996	,000	65,173	94,223
				4	26,5175	4,8682	,000	12,086	40,949
	5			,5118	6,1321	1,000	-17,667	18,690	
	6			10,4797	5,7445	,532	-6,550	27,509	
	7			50,2850	4,7205	,000	36,291	64,279	
	8			24,0085	5,6558	,001	7,242	40,775	
	3			2	-79,6977	4,8996	,000	-94,223	-65,173
				4	-53,1802	4,6002	,000	-66,818	-39,543
			5	-79,1859	5,9216	,000	-96,741	-61,631	
			6	-69,2180	5,5193	,000	-85,580	-52,856	
			7	-29,4127	4,4436	,000	-42,586	-16,239	
			8	-55,6892	5,4268	,000	-71,777	-39,601	

Subconjuntos homogéneos						
11URATH						
HSD de Tukey <sub>ab</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
3	68	356,813				
4	70		418,793			
7	81		427,962			
5	30			448,257		
8	39			458,008	458,008	
6	37				475,486	
2	55					523,838
Sig.		1,000	,785	,732	,094	1,000

14TURAN					
HSD de Tukey <sub>a,b</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
3	68	335,644			
7	81		365,057		
4	70			388,824	
8	39			391,333	
6	37			404,862	404,862
5	30				414,830
2	55				415,342
Sig.		1,000	1,000	,058	,480

17URATS					
HSD de Tukey <sub>a,b</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
3	68	263,819			
8	39		284,190		
7	81		290,299		
5	30			305,950	
6	37			311,946	311,946
2	55			317,495	317,495
4	70				323,497
Sig.		1,000	,887	,246	,246

Para el trigo, se observan diferencias significativas entre los grupos al 99%, pero al observar el test de Tukey, se puede ver que para el periodo húmedo hay 5 grupos que pueden diferenciarse, agrupando las regiones (3; 7-4; 5-8; luego la 8-6; 2). Para el periodo normal se diferencian 4 grupos (3; 7; 4-6-8; 6-5-2). Para el periodo seco se diferencian 4 grupos (3; 8-7; 5-6-2; 6-2-4).

#### a.-Anova de un factor de los usos reales modelados para Girasol.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
11URAGH	Inter-grupos	807185,002	6	134530,834	73,114	,000
	Intra-grupos	686329,183	373	1840,025		
	Total	1493514,184	379			
14GURAN	Inter-grupos	752123,837	6	125353,973	73,507	,000
	Intra-grupos	636093,829	373	1705,345		
	Total	1388217,666	379			
17URAGS	Inter-grupos	469859,033	6	78309,839	58,997	,000
	Intra-grupos	495103,246	373	1327,355		
	Total	964962,279	379			

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%			
						Límite inferior	Límite superior		
11URAGH	2	3	-36,0130	7,7791	,000	-59,074	-12,952		
		4	-21,0881	7,7292	,094	-44,001	1,825		
		5	-123,3309	9,7360	,000	-152,193	-94,468		
		6	-103,5963	9,1206	,000	-130,634	-76,558		
		7	-73,0391	7,4948	,000	-95,257	-50,821		
		8	-141,5986	8,9797	,000	-168,219	-114,978		
		3	2	36,0130	7,7791	,000	12,952	59,074	
			4	14,9249	7,3038	,389	-6,727	36,577	
	5		-87,3179	9,4018	,000	-115,190	-59,446		
	6		-67,5833	8,7630	,000	-93,561	-41,605		
	7		-37,0261	7,0552	,000	-57,941	-16,111		
	8		-105,5856	8,6162	,000	-131,129	-80,043		
	4		2	21,0881	7,7292	,094	-1,825	44,001	
			3	-14,9249	7,3038	,389	-36,577	6,727	
		5	-102,2429	9,3606	,000	-129,992	-74,493		
		6	-82,5083	8,7187	,000	-108,355	-56,661		
		7	-51,9510	7,0002	,000	-72,703	-31,199		
		8	-120,5105	8,5712	,000	-145,920	-95,101		
		5	2	123,3309	9,7360	,000	94,468	152,193	
			3	87,3179	9,4018	,000	59,446	115,190	
	4		102,2429	9,3606	,000	74,493	129,992		
	6		19,7346	10,5387	,500	-11,508	50,977		
	7		50,2919	9,1679	,000	23,113	77,470		
	8		-18,2677	10,4170	,580	-49,149	12,614		
	6		2	103,5963	9,1206	,000	76,558	130,634	
			3	67,5833	8,7630	,000	41,605	93,561	
		4	82,5083	8,7187	,000	56,661	108,355		
		5	-19,7346	10,5387	,500	-50,977	11,508		
		7	30,5573	8,5116	,007	5,325	55,790		
		8	-38,0023	9,8443	,003	-67,186	-8,819		
		7	2	73,0391	7,4948	,000	50,821	95,257	
			3	37,0261	7,0552	,000	16,111	57,941	
	4		51,9510	7,0002	,000	31,199	72,703		
	5		-50,2919	9,1679	,000	-77,470	-23,113		
	6		-30,5573	8,5116	,007	-55,790	-5,325		
	8		-68,5595	8,3604	,000	-93,344	-43,775		
	8		2	141,5986	8,9797	,000	114,978	168,219	
			3	105,5856	8,6162	,000	80,043	131,129	
		4	120,5105	8,5712	,000	95,101	145,920		
		5	18,2677	10,4170	,580	-12,614	49,149		
		6	38,0023	9,8443	,003	8,819	67,186		
		7	68,5595	8,3604	,000	43,775	93,344		
		14GURAN	2	3	-30,0690	7,4890	,001	-52,270	-7,868
				4	-31,2460	7,4410	,001	-53,305	-9,187
	5			-121,0345	9,3729	,000	-148,821	-93,248	
	6			-100,5308	8,7805	,000	-126,561	-74,501	
	7			-80,5318	7,2153	,000	-101,922	-59,142	
	8			-136,7479	8,6448	,000	-162,376	-111,120	
3	2			30,0690	7,4890	,001	7,868	52,270	
	4			-1,1770	7,0314	1,000	-22,022	19,668	
	5		-90,9656	9,0512	,000	-117,798	-64,133		
	6		-70,4618	8,4362	,000	-95,471	-45,453		
	7		-50,4629	6,7921	,000	-70,598	-30,328		
	8		-106,6789	8,2949	,000	-131,269	-82,089		

Subconjuntos homogéneos						
11URAGH						
HSD de Tukey <sub>ab</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	55	440,209				
4	70	461,297	461,297			
5	68		476,222			
7	81			513,248		
6	37				543,805	
5	30				563,540	563,540
8	39					581,808
Sig.		,197	,612	1,000	,268	,362

14GURAN						
HSD de Tukey <sub>ab</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	55	381,485				
3	68		411,554			
4	70		412,731			
7	81			462,017		
6	37			482,016	482,016	
5	30				502,520	502,520
8	39					518,233
Sig.		1,000	1,000	,212	,187	,504

17URAGS					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	314,489			
3	68	319,246			
4	70		347,440		
5	30			375,553	
6	37			394,424	394,424
8	39			394,564	394,564
7	81				400,735
Sig.		,995	1,000	,142	,979

Para el girasol, se observan diferencias significativas entre los grupos al 99%, pero al observar el test de Tukey, se puede ver que para el periodo húmedo hay 5 grupos que pueden diferenciarse, agrupando las regiones (2-4; 4-3; 7; 6-5; y 5-8). Para el periodo normal se diferencian 5 grupos (2; 3-4; 6-7; 6-5; y 5-8). Para el periodo seco se diferencian 4 grupos (2-3; 4; 5-6-8; 6-8-7). En general y mayoritariamente para los periodos húmedos de los cultivos, se observa que los agrupamientos en subconjuntos coinciden con valores de IP similar para las distintas regiones.

#### 4º. - Precipitación Efectiva (PPE)

A partir de 127 estaciones meteorológicas distribuidas en las ZAH 2 a 8, se estimaron las precipitaciones efectivas, utilizando la fórmula del USCS. La siguiente tabla detalla los valores mínimos y máximos obtenidos en cada ZAH, para los periodos desde fecha de siembra a cosecha para cada cultivo.

Precipitación Efectiva (Ppe) - Girasol							Precipitación Efectiva (Ppe) - Maíz					
Zona	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)
	Mínima Año Húmedo	Mínima Año Normal	Mínima Año Seco	Máxima Año Húmedo	Máxima Año Normal	Máxima Año Seco	Mínima Año Húmedo	Mínima Año Normal	Mínima Año Seco	Máxima Año Húmedo	Máxima Año Normal	Máxima Año Seco
Zona 2	360	229	238	475	423	405	396	348	295	548	515	489
Zona 3	376	306	225	541	458	391	427	330	279	597	489	418
Zona 4	368	351	274	532	498	463	415	395	363	601	542	513
Zona 5	365	341	331	674	602	492	318	307	297	602	558	470
Zona 6	459	423	341	628	571	505	442	401	316	576	527	465
Zona 7	404	355	301	675	606	542	396	356	315	626	570	509
Zona 8	526	454	374	633	609	521	478	448	379	622	564	501
Precipitación Efectiva (Ppe) - Soja 1ra							Precipitación Efectiva (Ppe) - Trigo					
Zona	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)	Ppe (mm)
	Mínima Año Húmedo	Mínima Año Normal	Mínima Año Seco	Máxima Año Húmedo	Máxima Año Normal	Máxima Año Seco	Mínima Año Húmedo	Mínima Año Normal	Mínima Año Seco	Máxima Año Húmedo	Máxima Año Normal	Máxima Año Seco
Zona 2	380	315	247	504	461	434	408	317	249	554	445	374
Zona 3	417	327	241	590	483	413	309	256	188	424	378	328
Zona 4	415	368	326	564	508	464	326	311	283	513	477	419
Zona 5	392	374	325	679	581	475	326	311	283	515	460	356
Zona 6	464	350	351	639	564	497	396	366	277	543	427	364
Zona 7	389	337	274	628	572	506	367	328	257	499	471	440
Zona 8	509	437	359	620	581	503	386	313	254	504	423	342

**Tabla V-5. Precipitación efectiva mínima y máxima estimadas por cultivo y por ZAH**

Lo primero que se observa es una mayor dispersión de las precipitaciones en el año seco que en años húmedo y normal, especialmente en trigo (caso que se registra en siete ZAH, con la excepción de la ZAH 5, con mayor dispersión en año húmedo) y maíz (cinco ZAH, con excepciones en las ZAH 5, con mayor dispersión en año húmedo; y ZAH 6, donde la variabilidad máxima se presenta en año normal). Para períodos de cultivos de soja de primera y girasol, tres ZAH presentan dicho comportamiento, mientras el resto puede tener mayor variabilidad en año húmedo, o relativa invariancia al comparar máximo y mínimo de un mismo tipo de año.

Las menores precipitaciones se registran en la ZAH 3 para todos los cultivos. Para girasol, soja de primera y trigo, los menores valores se registraron en la Estación de Pehuencó, con mínimos de 225 mm, 241 mm y 188 mm respectivamente. Para maíz, el mínimo es de 279 mm en la estación de Coronel Dorrego.

Las precipitaciones máximas corresponden a la estación de Vedia (ZAH 7) para el cultivo de girasol, con 675 mm. Para maíz el registro máximo (626 mm) corresponde a General Pinto (ZAH 7). El cultivo de soja registra un máximo de 679 mm en Capilla del Señor (ZAH 5), mientras que para trigo, el valor máximo, de 554 mm, corresponde a Rivera (ZAH 2).

Se estimaron estadísticos de posición (media) y dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación) para las precipitaciones efectivas de año normal, resultados que se presentan en la siguiente tabla. Puede observarse que el coeficiente de variación se ubica entre 5% (trigo en ZAH 6) y 15% (girasol en ZAH 7), considerados en ambos casos valores de dispersión aceptables.

ZAH	Girasol			Maíz		
	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)
Zona 2	378	29	8%	450	31	7%
Zona 3	398	30	7%	432	32	7%
Zona 4	430	36	8%	480	39	8%
Zona 5	516	65	13%	481	63	13%
Zona 6	505	41	8%	472	31	7%
Zona 7	482	74	15%	472	51	11%
Zona 8	532	41	8%	508	29	6%
ZAH	Soja 1ra			Trigo		
	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)
Zona 2	409	26	6%	392	28	7%
Zona 3	421	32	7%	330	33	10%
Zona 4	450	35	8%	381	30	8%
Zona 5	505	53	10%	398	35	9%
Zona 6	502	46	9%	400	21	5%
Zona 7	460	57	12%	371	22	6%
Zona 8	510	39	8%	371	33	9%

**Tabla V-6. Estadísticos de posición y dispersión para las precipitaciones efectivas de año normal por ZAH**

Se verificó que en años seco y húmedo el coeficiente de variación para todos los cultivos y ZAH, no supera el 18%, con lo cual la dispersión de los valores alrededor de la media también se considera aceptable, dado el carácter regional del estudio.

La tabla siguiente detalla las precipitaciones efectivas medias, ponderadas por superficies de los polígonos para cada una de las ZAH.

Precipitación Efectiva (Ppe) - Girasol				Precipitación Efectiva (Ppe) - Maíz		
ZAH	PPe Media Año Seco	PPe Media Año Normal	PPe Media Año Húmedo	PPe Media Año Seco	PPe Media Año Normal	PPe Media Año Húmedo
Zona 2	326	381	429	398	453	510
Zona 3	333	397	444	355	432	499
Zona 4	380	430	465	431	481	522
Zona 5	415	513	573	389	501	531
Zona 6	425	496	551	396	461	524
Zona 7	452	500	539	437	486	534
Zona 8	444	538	588	439	511	556
Precipitación Efectiva (Ppe) - Soja 1ra				Precipitación Efectiva (Ppe) - Trigo		
ZAH	PPe Media Año Seco	PPe Media Año Normal	PPe Media Año Húmedo	PPe Media Año Seco	PPe Media Año Normal	PPe Media Año Húmedo
Zona 2	342	410	467	315	392	488
Zona 3	345	420	483	268	326	369
Zona 4	387	449	501	334	382	417
Zona 5	403	501	575	317	393	477
Zona 6	426	478	551	325	401	489
Zona 7	421	472	513	311	375	437
Zona 8	426	516	573	304	373	459

**Tabla V-7. Precipitación efectiva media ponderada por ZAH y por cultivo**

Para los cultivos de verano los valores de precipitaciones se pueden esquematizar en grupos:

Para año seco, las ZAH que registran precipitación efectiva menor a 400 mm son las ZAH 2, 3 y 4 (para girasol y soja de primera); y las ZAH 2, 3, 5 y 6 (para maíz). En tanto, las ZAH que registran precipitación efectiva mayor a 400 mm son las ZAH 6, 7 y 8 (para girasol y soja); y las ZAH 4, 5, 7 y 8 (para maíz).

Para año normal, en girasol, las ZAH 2 y 3 presentan registros inferiores de precipitación efectiva menores a 400 mm, las ZAH 4 y 6 tienen precipitaciones efectivas entre 400 y 500 mm; y las ZAH 5, 7 y 8 muestran valores superiores a 500 mm. En tanto para maíz y soja de primera se observan dos grupos: entre 400 y 500 mm para las ZAH 2, 3, 4, 6 y 7; y superiores a 500 mm para las ZAH 5 y 8.

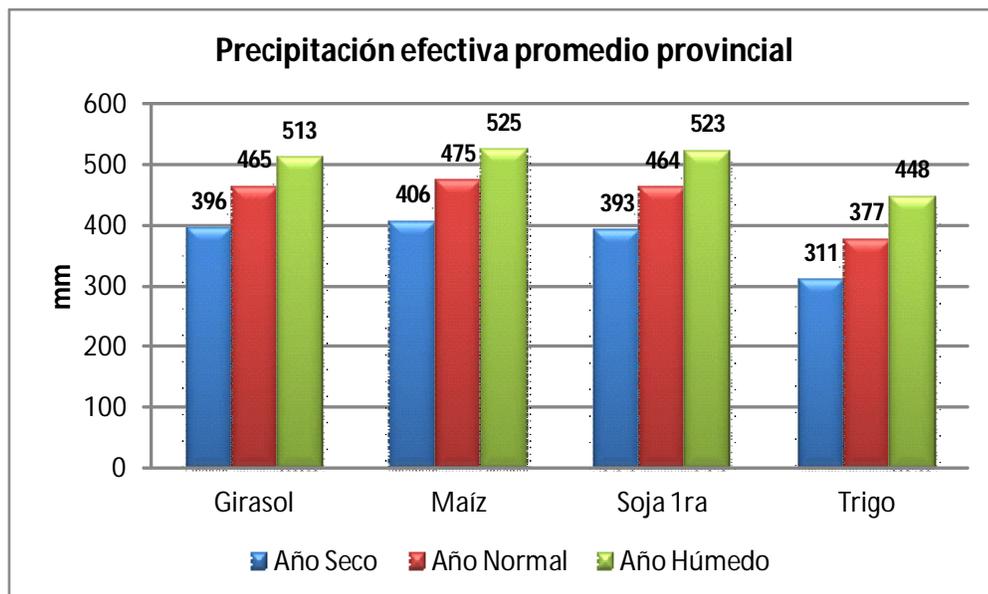
Para año húmedo, en girasol, las ZAH 2, 3 y 4 presentan valores entre 400 y 500 mm; las ZAH 5, 6, 7 y 8 tienen registros superiores a 500 mm. En el caso de la soja de primera, las ZAH 2 y 3 presentan valores entre 450 y 500 mm, mientras que las ZAH 4, 5, 6, 7, y 8 superan los 500 mm. Por último, entre los cultivos de verano, para

el maíz un año húmedo supera los 500 mm prácticamente en todas las ZAH (salvo la ZAH 3, que totaliza 499 mm).

El trigo, cultivo de invierno, presenta menor cantidad de precipitaciones efectivas, agrupándose en el valores superiores a 300 mm en año seco (con excepción de la ZAH 3 la cual totaliza 268 mm), entre 300 y 400 mm para año normal (excepto la ZAH 6, que llega a los 401 mm). En tanto, el mismo cultivo para año húmedo presenta registros que superan los 400 mm en todas las ZAH, con excepción de la ZAH 3.

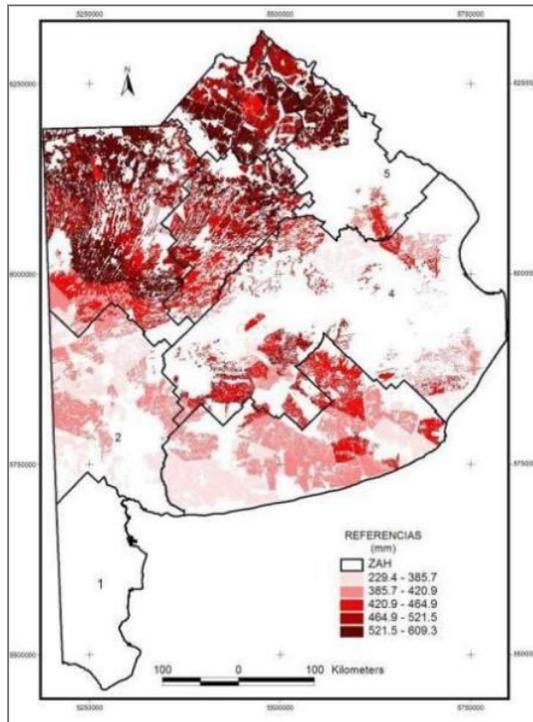
La precipitación efectiva promedio provincial, ponderada por superficie de polígonos y ZAH, se presenta en el siguiente gráfico. Se observa que, para cultivos de verano en años seco y normal, el menor registro corresponde al período de la soja (393 mm y 464 mm respectivamente), y el mayor al maíz (406 mm y 475 mm), mientras que en año húmedo el menor valor corresponde al período del girasol (513 mm) y el mayor al maíz (525 mm). Cabe aclarar que las diferencias mencionadas son consideradas exiguas.

El trigo, con menores registros de precipitaciones, totaliza para la Provincia 311 mm en año seco, 377 mm en año normal y 448 mm en año húmedo.

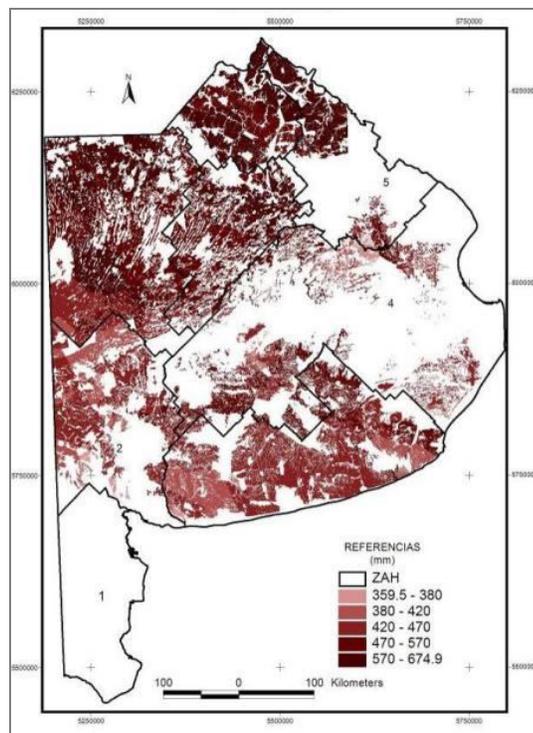


**Gráfico V-6. Precipitación efectiva promedio provincial para los períodos de ocupación de los cultivos**

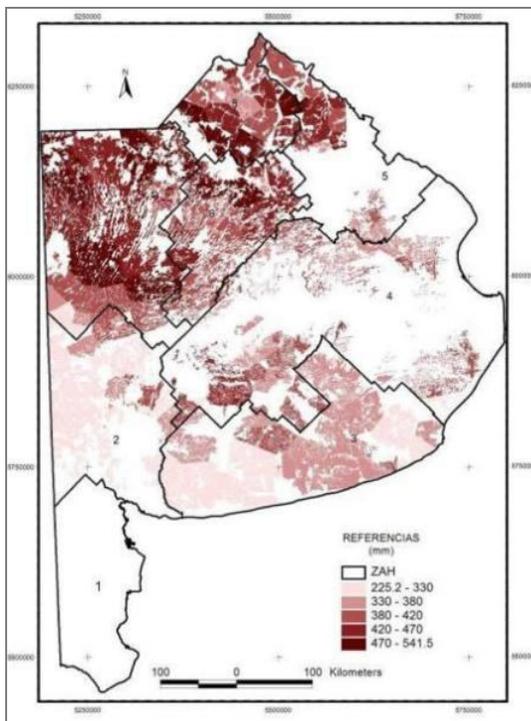
**b.- Mapas síntesis de resultados de Precipitación efectiva**



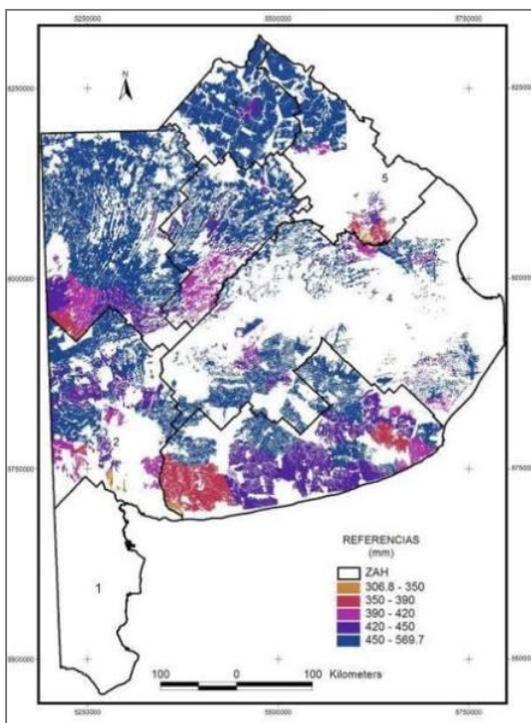
**Mapa 31. Girasol. Precipitación efectiva. Período normal**



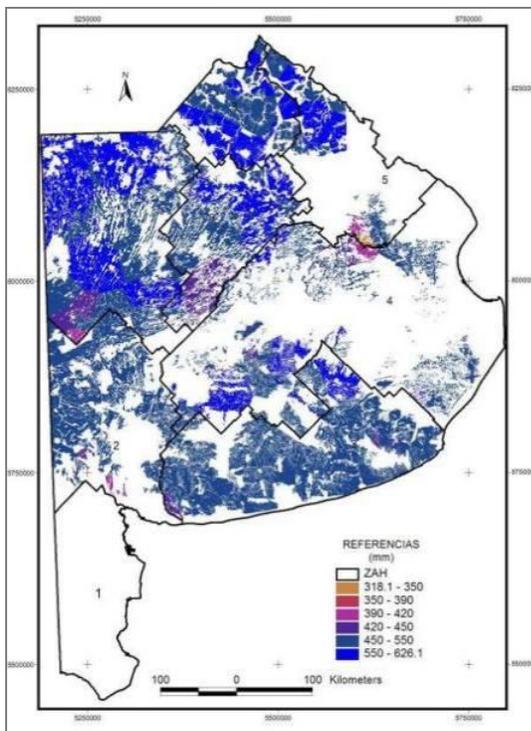
**Mapa 32. Girasol. Precipitación efectiva. Período húmedo**



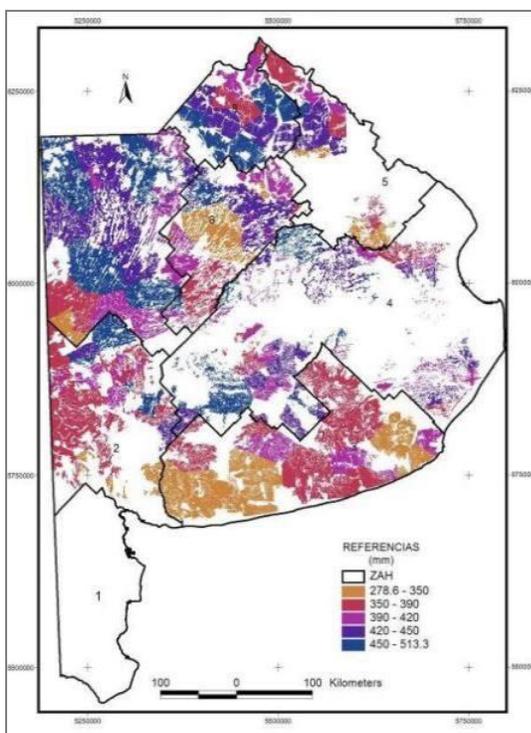
**Mapa 33. Girasol. Precipitación efectiva. Período seco**



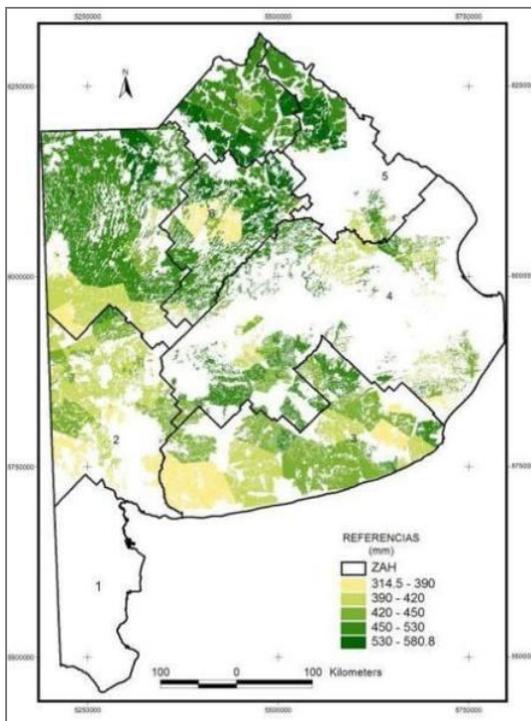
**Mapa 34. Maíz. Precipitación efectiva. Período normal**



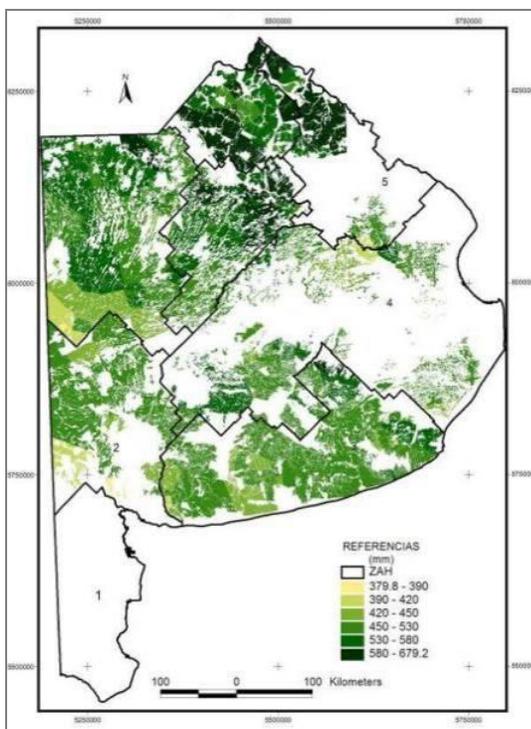
**Mapa 35. Maíz. Precipitación efectiva. Período húmedo**



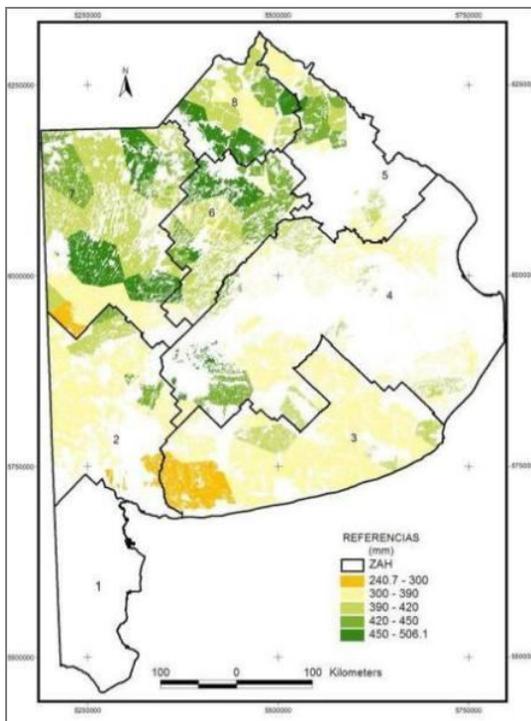
**Mapa 36. Maíz. Precipitación efectiva. Período seco**



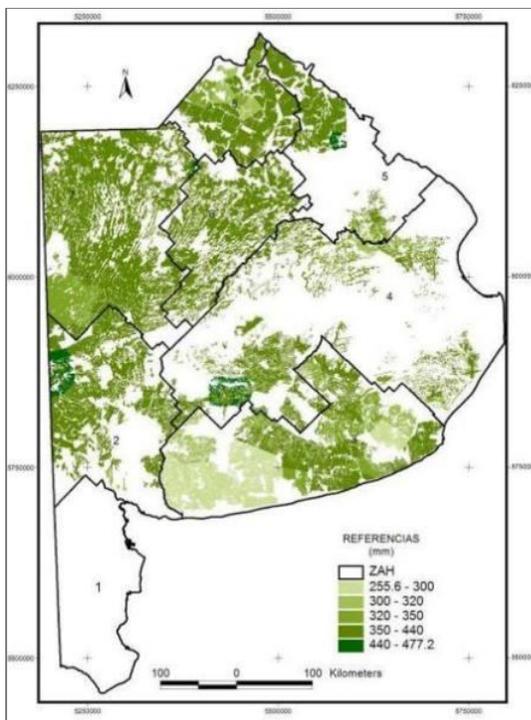
**Mapa 37. Soja. Precipitación efectiva. Período normal**



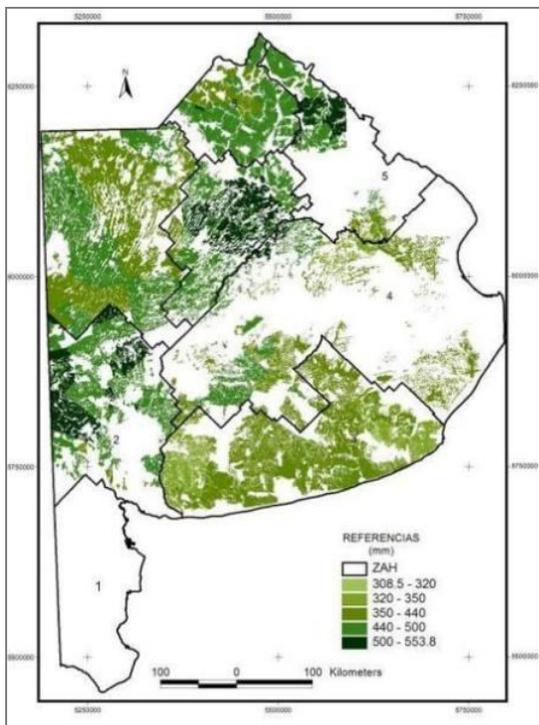
**Mapa 38. Soja. Precipitación efectiva. Período húmedo**



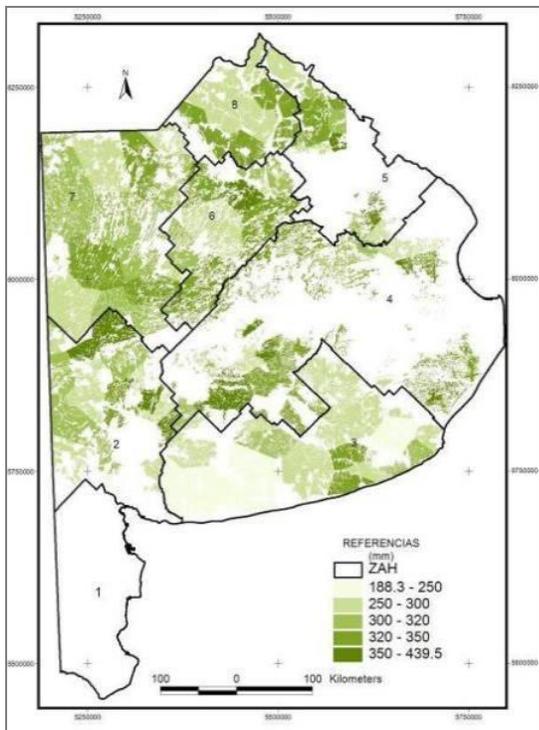
**Mapa 39. Soja. Precipitación efectiva. Período seco**



**Mapa 40. Trigo. Precipitación efectiva. Período normal**



**Mapa 41. Trigo. Precipitación efectiva. Período húmedo**



**Mapa 42. Trigo. Precipitación efectiva. Período seco**

## 5°. - Déficit de humedad de los cultivos

A partir de los datos de las estaciones meteorológicas distribuidas en las ZAH 2 a 8, se estimaron las ETPc y las precipitaciones efectivas para cada cultivo. El déficit de humedad se calculó como la diferencia entre la ETPc y el agua disponible total (agua útil disponible en el suelo en la fecha de siembra más la precipitación efectiva para el período de siembra a cosecha). La siguiente tabla detalla los valores mínimos y máximos obtenidos en cada ZAH, para cada cultivo.

Déficit de Humedad - Girasol							Déficit de Humedad - Maíz					
Zona	Déficit (mm) Mínimo Año Húmedo	Déficit (mm) Mínimo Año Normal	Déficit (mm) Mínimo Año Seco	Déficit (mm) Máximo Año Húmedo	Déficit (mm) Máximo Año Normal	Déficit (mm) Máximo Año Seco	Déficit (mm) Mínimo Año Húmedo	Déficit (mm) Mínimo Año Normal	Déficit (mm) Mínimo Año Seco	Déficit (mm) Máximo Año Húmedo	Déficit (mm) Máximo Año Normal	Déficit (mm) Máximo Año Seco
Zona 2	123	180	235	426	489	563	141	198	245	505	575	636
Zona 3	1	61	165	381	463	563	49	126	220	469	572	675
Zona 4	20	74	131	276	335	443	44	98	161	318	381	433
Zona 5	0	11	148	241	266	291	0	27	144	267	290	311
Zona 6	27	78	161	182	261	357	17	87	149	153	246	359
Zona 7	0	21	78	302	358	422	0	17	72	236	283	356
Zona 8	0	14	133	50	140	257	0	27	138	98	149	247
Déficit de Humedad - Soja 1ra							Déficit de Humedad - Trigo					
Zona	Déficit (mm) Mínimo Año Húmedo	Déficit (mm) Mínimo Año Normal	Déficit (mm) Mínimo Año Seco	Déficit (mm) Máximo Año Húmedo	Déficit (mm) Máximo Año Normal	Déficit (mm) Máximo Año Seco	Déficit (mm) Mínimo Año Húmedo	Déficit (mm) Mínimo Año Normal	Déficit (mm) Mínimo Año Seco	Déficit (mm) Máximo Año Húmedo	Déficit (mm) Máximo Año Normal	Déficit (mm) Máximo Año Seco
Zona 2	129	191	256	460	535	615	0	51	125	282	382	461
Zona 3	0	34	133	335	447	550	0	0	32	65	167	253
Zona 4	34	86	145	277	343	399	0	0	24	107	153	207
Zona 5	0	12	140	212	247	278	0	0	84	63	101	184
Zona 6	26	79	154	176	281	349	0	24	107	57	130	228
Zona 7	0	-16	81	294	348	424	0	5	49	73	151	233
Zona 8	0	15	134	64	149	256	0	17	128	16	116	220

**Tabla V-8. Déficit de humedad mínimo y máximo estimados por cultivo y por ZAH**

Entre los déficit máximos observamos mayor dispersión para años húmedos, siendo la ZAH 8 la que presenta menores valores para todos los cultivos. Entre los valores máximos, las ZAH 2 y 3 se destacan visiblemente, excepto para año húmedo en trigo, cultivo para el cual las dos ZAH con mayor déficit son las 2 y 4.

Se estimaron estadísticos de posición (media) y dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación) para déficit de humedad de año normal, resultados que se presentan en la siguiente tabla. Puede observarse que los coeficientes de variación son muy elevados, especialmente para el cultivo de trigo.

ZAH	Girasol			Maíz		
	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)
Zona 2	250	61	24%	295	65	22%
Zona 3	183	80	44%	259	86	33%
Zona 4	180	59	33%	220	63	28%
Zona 5	103	63	61%	110	66	60%
Zona 6	154	43	28%	157	39	25%
Zona 7	173	94	54%	135	73	54%
Zona 8	78	30	39%	95	26	27%
ZAH	Soja 1ra			Trigo		
	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)	Media (mm)	Desv. Std. (mm)	C. V. (%)
Zona 2	263	63	24%	171	57	34%
Zona 3	159	81	51%	26	41	162%
Zona 4	189	57	30%	41	41	101%
Zona 5	102	54	53%	37	27	71%
Zona 6	158	45	28%	76	26	35%
Zona 7	171	95	56%	82	41	50%
Zona 8	88	31	35%	68	26	39%

Tabla V-9. Estadísticos de posición y dispersión para déficit de humedad de año normal por ZAH

Estas elevadas dispersiones se deben a la interacción entre las variables climáticas, edáficas y fenológicas de los cultivos. Las grandes variaciones inducidas por las condiciones ambientales se conocen históricamente desde las primeras experimentaciones, realizadas a finales del siglo XVII. Más tarde, en medidas sistemáticas del requerimiento de agua por los cultivos, la comparación del gasto de agua y el déficit entre zonas de clima contrastado, demostraba que el requerimiento hídrico puede duplicarse en función de las diferencias climáticas. Variaciones de este rango -y superiores- se han determinado en muchos cultivos, entre ellos, girasol, maíz, soja y trigo. El estudio de las causas de estas variaciones condujo a la definición de la evaporación potencial (ETP) como parámetro integrador de las diferentes variables que inciden en la demanda de agua de la atmósfera (radiación, temperatura, humedad, velocidad del viento), y que hoy resulta imprescindible cuando se trata de comparar valores de utilización de agua o presencia de déficit de humedad.

La tabla siguiente detalla déficit de humedad medios, ponderados por superficies de los polígonos para cada una de las ZAH.

Déficit de humedad - Girasol				Déficit de humedad - Maíz		
ZAH	Deficit Medio Año Seco	Deficit Medio Año Normal	Deficit Medio Año Húmedo	Deficit Medio Año Seco	Deficit Medio Año Normal	Deficit Medio Año Húmedo
Zona 2	315	245	187	357	292	228
Zona 3	276	185	123	354	259	184
Zona 4	247	183	134	284	224	170
Zona 5	231	105	42	228	112	49
Zona 6	253	165	102	252	167	94
Zona 7	226	165	113	192	126	70
Zona 8	196	76	13	191	95	39
Déficit de humedad - Soja 1ra				Déficit de humedad - Trigo		
ZAH	Deficit Medio Año Seco	Deficit Medio Año Normal	Deficit Medio Año Húmedo	Deficit Medio Año Seco	Deficit Medio Año Normal	Deficit Medio Año Húmedo
Zona 2	342	259	195	272	173	63
Zona 3	260	161	86	101	28	3
Zona 4	268	193	134	101	38	12
Zona 5	222	104	35	150	41	4
Zona 6	249	179	104	170	74	5
Zona 7	227	165	116	157	82	20
Zona 8	195	86	21	174	69	1

**Tabla V-10 Déficit de humedad medio ponderado por ZAH y por cultivo**

Para los cultivos de verano, los valores de déficit de humedad se pueden esquematizar en grupos:

Para año seco, la ZAH 8 (además de la ZAH 7 en maíz) registra déficit menor a 200 mm; el resto de las ZAH se ubica en el rango de 200 mm a 300 mm; excepto la ZAH 2 en girasol, maíz y soja de primera y la ZAH 3 en maíz, donde se superan los 300 mm.

Para año normal, la ZAH 8 registra valores inferiores a 100 mm, mientras que el resto de las ZAH se ubica en el rango de 100 mm a 200 mm de déficit, excepto la ZAH 2 en girasol y soja de primera; y las ZAH 2, 3 y 4 en maíz, con valores superiores a 200 mm.

Para año húmedo, sólo la ZAH 2 para maíz supera los 200 mm. Con valores inferiores a 100 mm encontramos las ZAH 5 y 8 en girasol; 5, 6, 7 y 8 en maíz; y 3, 5 y 8 en soja de primera. Por último, en el rango entre 100 mm y 200 mm de déficit se

ubican las ZAH 2, 3, 4, 6 y 7 en girasol; 2, 3 y 4 en maíz; y 2, 4, 6 y 7 en soja de primera.

El trigo, cultivo de invierno, presenta menores valores de déficit, agrupándose en valores en el rango de 200 mm a 300 mm en año seco (con excepción de las ZAH 3 (la cual supera los 300 mm), y la ZAH 8 (menor a 200 mm), registros inferiores a 100 mm para año normal (excepto en ZAH 2 donde se superan los 170 mm), mientras que en año húmedo, los valores son inferiores a 25 mm en todas las ZAH (con excepción de la 2), donde se superan los 60 mm.

El déficit de humedad promedio provincial por cultivo, ponderado por superficie de polígonos y ZAH, se presenta en el siguiente gráfico. Se observa que para cultivos de verano en años seco y normal el menor registro corresponde al girasol (249 mm y 160 mm respectivamente) y el mayor al maíz (265 mm y 182 mm), mientras que en año húmedo el menor valor corresponde a soja de primera (99 mm) y el mayor al maíz (119 mm).

El trigo, con menores valores de déficit, totaliza para la Provincia, 161 mm en año seco, 72 mm en año normal y 15 mm en año húmedo.

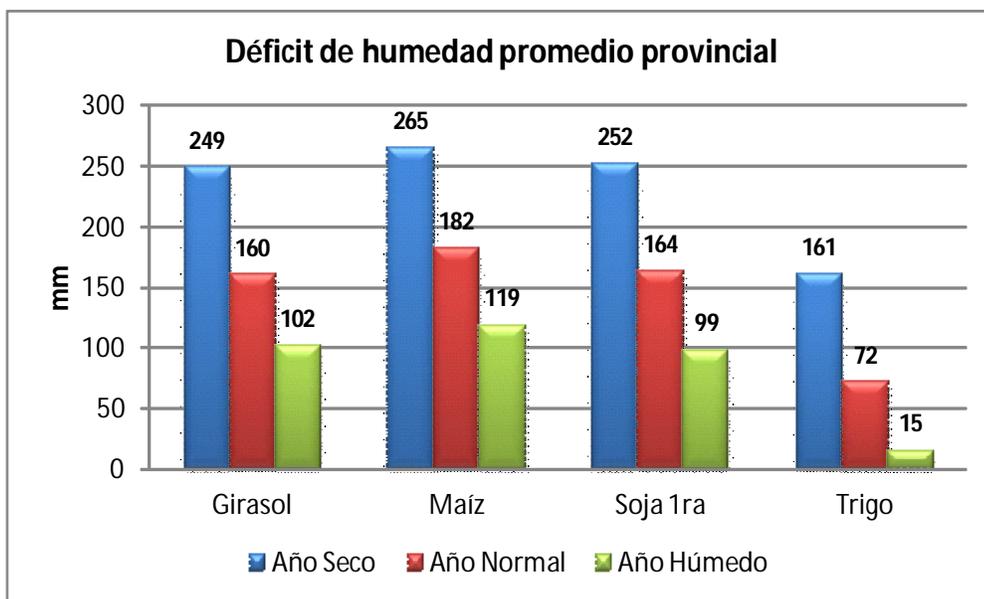
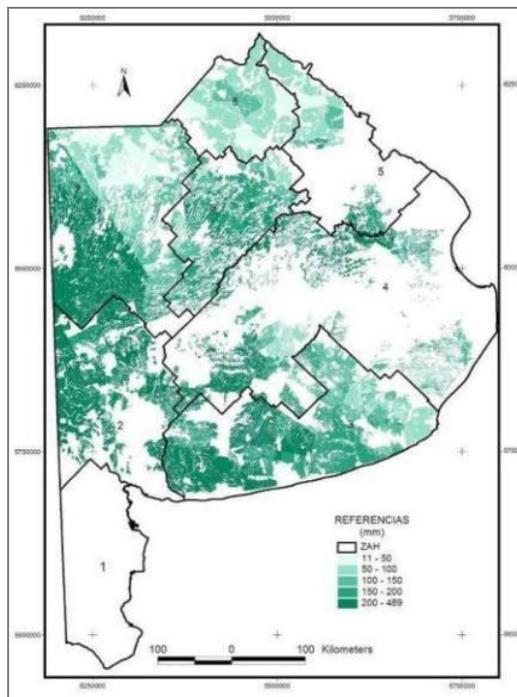


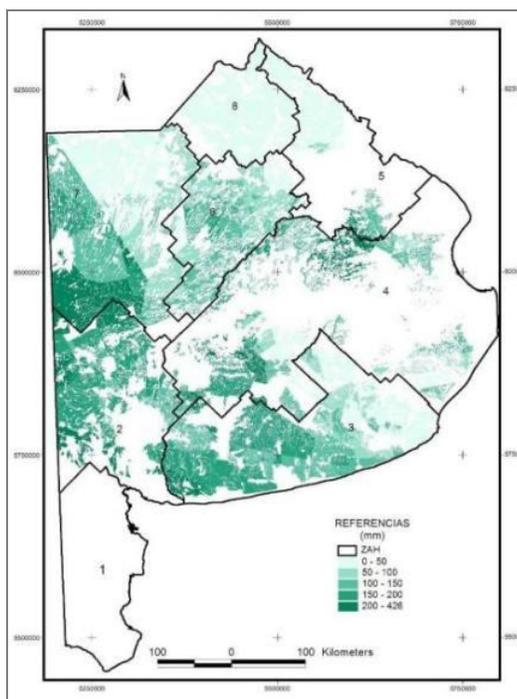
Gráfico V-7. Déficit de humedad promedio provincial para los cultivos

### c.- Mapas síntesis de resultados de Déficit de humedad en cultivos

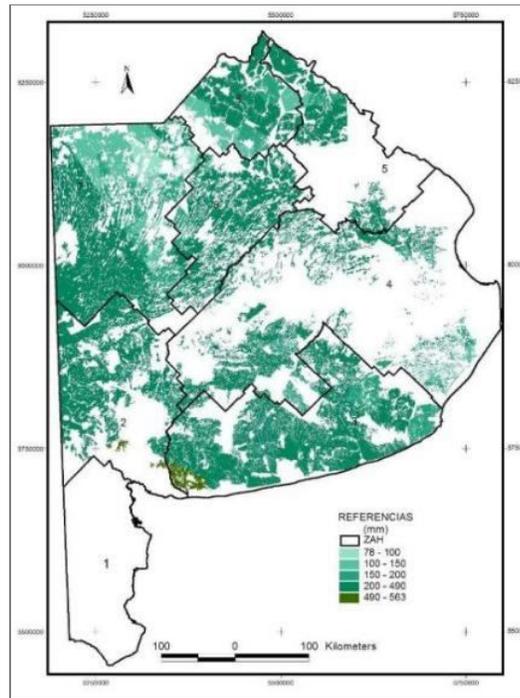
A continuación se presentan los mapas elaborados en función del déficit de humedad calculado por cultivo y periodo.



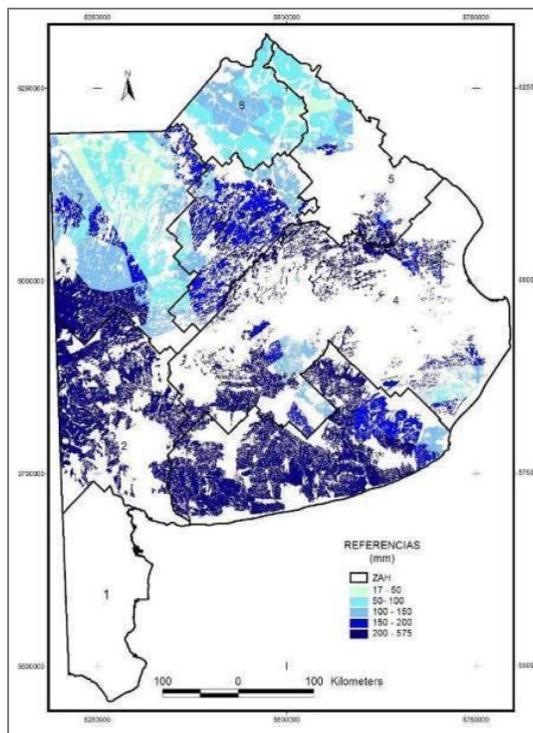
Mapa 43. Girasol. Déficit hídrico. Período normal



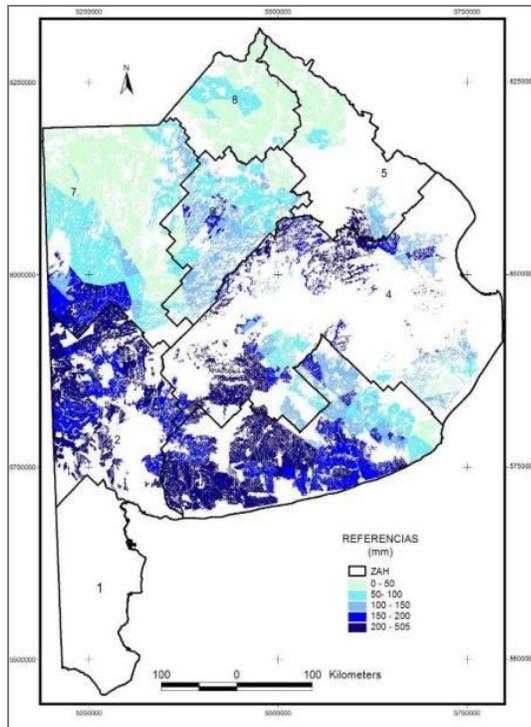
Mapa 44. Girasol. Déficit hídrico. Período húmedo



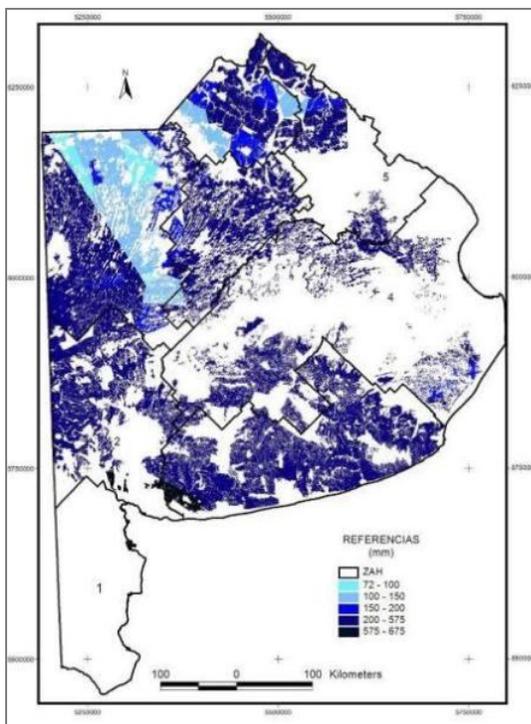
**Mapa 45. Girasol. Déficit hídrico. Período seco**



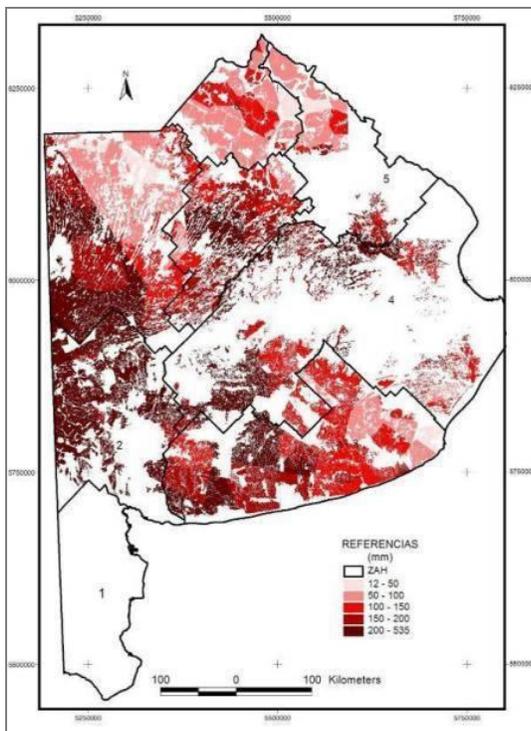
**Mapa 46. Maíz. Déficit hídrico. Período normal**



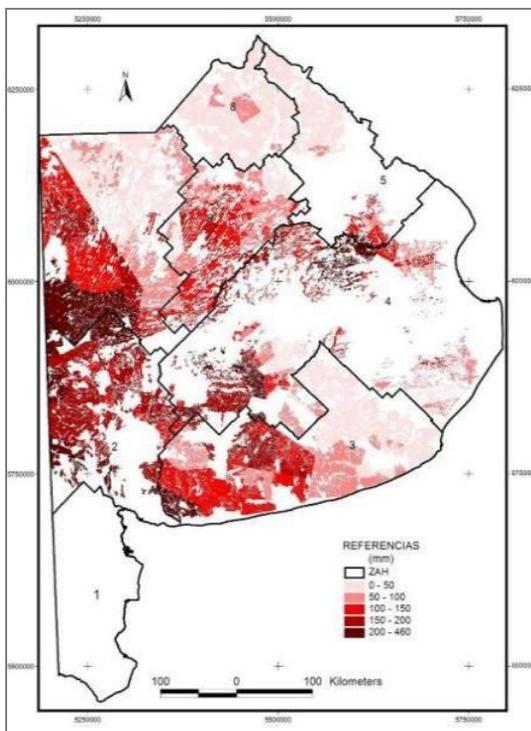
**Mapa 47. Maíz. Déficit hídrico. Período húmedo**



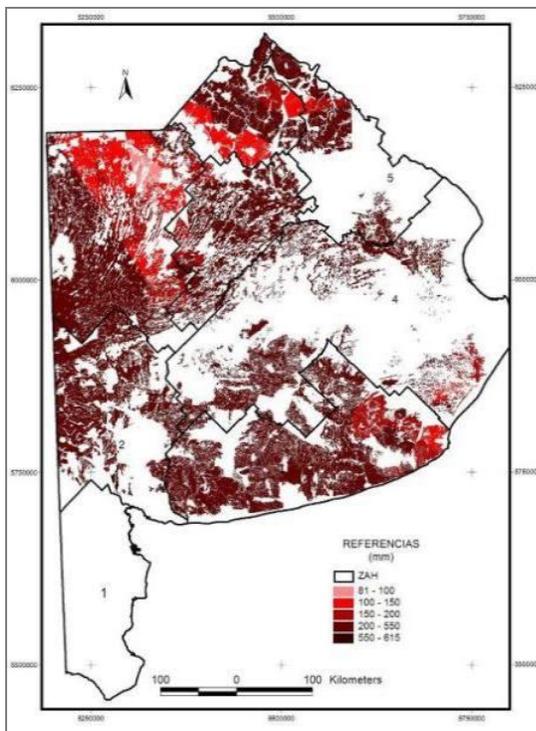
**Mapa 48. Maíz. Déficit hídrico. Período seco**



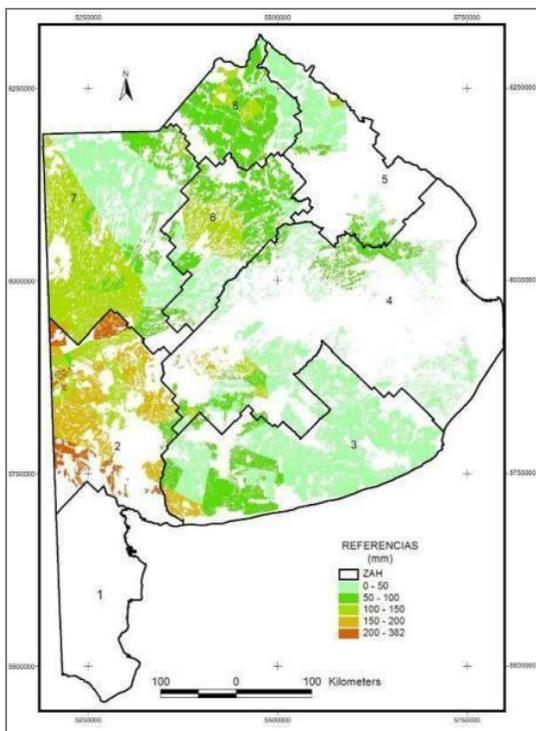
**Mapa 49. Soja. Déficit hídrico. Período normal**



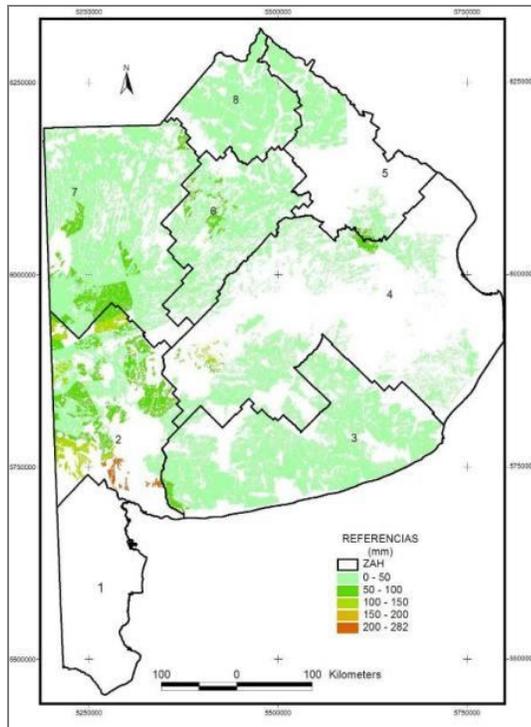
**Mapa 50. Soja. Déficit hídrico. Período húmedo**



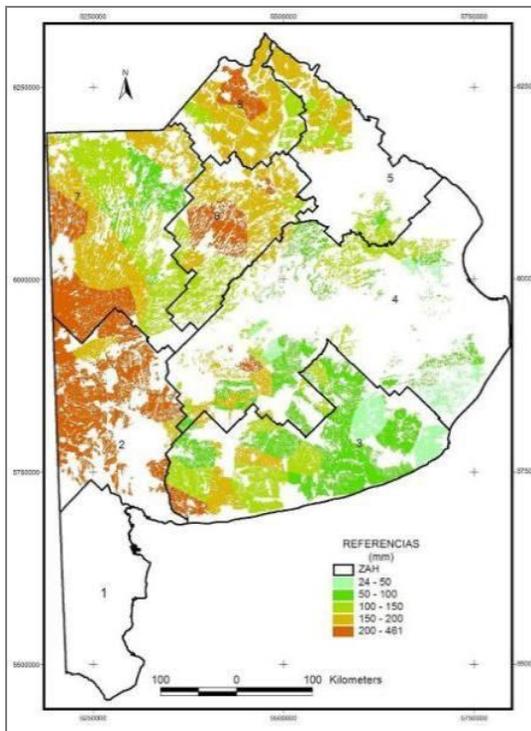
**Mapa 51. Soja. Déficit hídrico. Período seco**



**Mapa 52. Trigo. Déficit hídrico. Período normal**



**Mapa 53. Trigo. Déficit hídrico. Período húmedo**



**Mapa 54. Trigo. Déficit hídrico. Período seco**

**6º. - Disminución de Rendimientos a causa del déficit de humedad**

A partir de la ETPc estimada, los datos de precipitación y las características de los perfiles de suelos, CropWat calcula un porcentaje de reducción del rendimiento máximo potencial, estimando el déficit de humedad que surge al comparar la demanda potencial de agua del cultivo y la fracción de agua total disponible que éste logra evapotranspirar. La siguiente tabla detalla los valores mínimos y máximos de disminución porcentual de rendimientos, obtenidos en cada ZAH y cultivo.

Disminución de Rendimientos (%) - Girasol							Disminución de Rendimientos (%) - Maíz						
Zona	Dism. (%) Mínimo Año Húmedo	Dism. (%) Mínimo Año Normal	Dism. (%) Mínimo Año Seco	Dism. (%) Máximo Año Húmedo	Dism. (%) Máximo Año Normal	Dism. (%) Máximo Año Seco	Dism. (%) Mínimo Año Húmedo	Dism. (%) Mínimo Año Normal	Dism. (%) Mínimo Año Seco	Dism. (%) Máximo Año Húmedo	Dism. (%) Máximo Año Normal	Dism. (%) Máximo Año Seco	
Zona 2	19,9%	13,9%	36,0%	50,4%	57,8%	66,7%	28,7%	40,8%	46,6%	67,6%	77,0%	85,2%	
Zona 3	0,2%	11,8%	32,0%	45,5%	55,3%	67,3%	10,8%	27,9%	48,7%	63,8%	77,9%	91,9%	
Zona 4	3,4%	12,4%	19,5%	38,7%	46,0%	51,9%	9,6%	21,6%	35,4%	51,5%	60,0%	68,2%	
Zona 5	0,0%	1,9%	24,1%	38,5%	42,3%	46,3%	0,0%	5,7%	30,3%	55,0%	59,8%	64,1%	
Zona 6	4,4%	12,1%	25,0%	25,9%	37,2%	50,8%	3,5%	17,9%	30,5%	28,2%	45,4%	66,3%	
Zona 7	0,0%	3,7%	13,4%	40,5%	48,1%	56,7%	0,0%	3,9%	16,5%	43,5%	52,1%	65,6%	
Zona 8	0,0%	2,3%	21,4%	7,7%	22,1%	40,5%	0,0%	5,8%	28,3%	19,9%	30,3%	50,2%	
Disminución de Rendimientos (%) (Rend) - Soja Tra							Disminución de Rendimientos (%) - Trigo						
Zona	Dism. (%) Mínimo Año Húmedo	Dism. (%) Mínimo Año Normal	Dism. (%) Mínimo Año Seco	Dism. (%) Máximo Año Húmedo	Dism. (%) Máximo Año Normal	Dism. (%) Máximo Año Seco	Dism. (%) Mínimo Año Húmedo	Dism. (%) Mínimo Año Normal	Dism. (%) Mínimo Año Seco	Dism. (%) Máximo Año Húmedo	Dism. (%) Máximo Año Normal	Dism. (%) Máximo Año Seco	
Zona 2	17,2%	25,3%	33,0%	44,9%	52,3%	60,1%	0,0%	12,5%	30,6%	39,6%	53,8%	64,8%	
Zona 3	0,0%	5,7%	22,3%	35,8%	47,8%	58,9%	0,0%	0,0%	10,0%	14,4%	37,0%	56,1%	
Zona 4	4,9%	13,5%	22,8%	31,4%	38,9%	45,3%	0,0%	0,0%	6,8%	21,4%	30,7%	48,1%	
Zona 5	0,0%	1,8%	20,4%	30,2%	35,2%	39,7%	0,0%	0,0%	19,5%	14,8%	22,2%	40,1%	
Zona 6	3,6%	11,0%	21,5%	22,5%	31,0%	44,5%	0,0%	5,4%	24,1%	11,2%	25,5%	44,5%	
Zona 7	0,0%	2,2%	12,8%	36,0%	42,7%	52,0%	0,0%	5,8%	21,7%	14,8%	30,6%	47,4%	
Zona 8	0,0%	2,2%	19,0%	8,7%	20,9%	35,8%	0,0%	3,8%	29,3%	3,4%	24,9%	47,2%	

**Tabla V-11 Disminución de rendimientos mínimo y máximo estimados por cultivo y por ZAH**

Entre las disminuciones máximas se observa, para los cultivos de verano, que el mayor efecto sobre los rendimientos se registra en las ZAH 2 y 3. Los menores efectos se presentan en ZAH 6 y 8, superando en todas las zonas el 40% en los máximos de años secos en girasol y soja de primera, y el 50% en maíz. Este cultivo se muestra como el más sensible en la variabilidad porcentual de sus rendimientos, dados sus altos niveles de producción de grano. Respecto al trigo, los valores máximos son relativamente importantes en la mayoría de las ZAH, aún para años húmedos.

El porcentaje de disminución de rendimientos, aplicado directamente sobre los máximos potenciales en cada uno de los polígonos analizados, permitió obtener el

rendimiento esperado, con cuyos valores mínimos y máximos por ZAH y por cultivo se construyó la siguiente Tabla, con rendimientos expresados en Tn/ha.

Rendimientos (Rend) - Girasol							Rendimientos (Rend) - Maíz					
Zona	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)
	Mínimo Año Húmedo	Mínimo Año Normal	Mínimo Año Seco	Máximo Año Húmedo	Máximo Año Normal	Máximo Año Seco	Mínimo Año Húmedo	Mínimo Año Normal	Mínimo Año Seco	Máximo Año Húmedo	Máximo Año Normal	Máximo Año Seco
Zona 2	0,496	0,412	0,338	2,679	2,281	1,880	1,432	0,994	0,616	7,866	6,268	5,141
Zona 3	0,927	0,760	0,556	3,194	2,822	2,176	2,353	1,437	0,527	10,704	8,652	6,156
Zona 4	0,559	0,486	0,433	3,091	2,768	2,102	1,996	1,600	1,272	10,368	9,144	6,924
Zona 5	1,661	1,558	1,272	2,600	2,551	1,973	4,050	3,618	3,231	11,000	10,307	7,667
Zona 6	1,512	1,382	0,984	3,269	2,921	2,387	6,205	5,185	2,865	11,412	9,564	7,139
Zona 7	0,952	0,830	0,693	3,011	2,889	2,742	4,207	3,353	2,408	12,000	11,124	9,960
Zona 8	2,143	1,910	1,412	3,500	3,329	2,688	8,135	7,251	4,981	11,760	10,476	8,604
Rendimientos (Rend) - Soja 1ra							Rendimientos (Rend) - Trigo					
Zona	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)	Rend (Tn/ha)
	Mínimo Año Húmedo	Mínimo Año Normal	Mínimo Año Seco	Máximo Año Húmedo	Máximo Año Normal	Máximo Año Seco	Mínimo Año Húmedo	Mínimo Año Normal	Mínimo Año Seco	Máximo Año Húmedo	Máximo Año Normal	Máximo Año Seco
Zona 2	1,515	1,293	1,075	3,735	3,289	2,751	1,842	1,386	1,022	5,730	4,644	3,588
Zona 3	1,926	1,566	1,236	4,500	4,244	3,497	3,852	2,835	1,976	6,500	6,500	5,675
Zona 4	1,715	1,528	1,368	4,280	3,848	3,132	2,358	2,079	1,758	6,500	6,500	5,109
Zona 5	2,443	2,268	2,111	4,200	4,124	3,343	3,834	3,345	2,528	5,000	4,825	3,623
Zona 6	2,635	2,438	1,887	4,820	4,450	3,915	3,864	3,044	2,292	6,000	5,154	4,175
Zona 7	1,920	1,719	1,440	4,500	4,293	3,924	2,556	2,082	1,578	5,500	5,181	4,098
Zona 8	3,445	3,128	2,459	5,000	4,690	3,975	4,300	3,681	2,550	6,000	5,448	4,056

**Tabla V-12 Rendimientos esperados mínimo y máximo estimados por cultivo y por ZAH**

Los estadísticos de posición (media) y dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación) siguientes se obtuvieron directamente sobre los rendimientos esperados calculados para año normal, resultados que se presentan en la siguiente tabla. Puede observarse que los coeficientes de variación se ubican en el rango de 10% a 37%, lo cual permite considerar que se trata de una dispersión aceptable, dado el carácter regional del estudio.

ZAH	Girasol			Maíz		
	Media (Kg/ha)	Desv. Std. (Kg/ha)	C. V. (%)	Media (Kg/ha)	Desv. Std. (Kg/ha)	C. V. (%)
Zona 2	1,228	420	34%	3,875	1,211	31%
Zona 3	1,793	598	33%	5,283	1,861	35%
Zona 4	1,665	613	37%	5,083	1,838	36%
Zona 5	2,036	224	11%	7,077	1,516	21%
Zona 6	2,156	479	22%	6,616	1,128	17%
Zona 7	1,848	646	35%	6,654	1,928	29%
Zona 8	2,791	397	14%	9,092	858	9%
ZAH	Soja 1ra			Trigo		
	Media (Kg/ha)	Desv. Std. (Kg/ha)	C. V. (%)	Media (Kg/ha)	Desv. Std. (Kg/ha)	C. V. (%)
Zona 2	2,249	430	19%	2,882	630	22%
Zona 3	3,049	700	23%	5,343	1,152	22%
Zona 4	2,641	580	22%	4,363	1,041	24%
Zona 5	3,204	430	13%	4,079	349	9%
Zona 6	3,123	583	19%	3,905	603	15%
Zona 7	2,765	677	24%	3,397	821	24%
Zona 8	4,125	410	10%	4,757	472	10%

**Tabla V-13 Estadísticos de posición y dispersión para rendimientos esperado en año normal por ZAH**

Los años secos y húmedos presentan dispersiones similares que el año normal, aunque levemente superiores, pero no superando el 45%.

La tabla siguiente contiene los rendimientos medios esperados, ponderados por superficies de los polígonos, para cada una de las ZAH, expresados en Kg/ha.

ZAH	Rendimiento (Kg/ha) - Girasol			Rendimiento (Kg/ha) - Maíz		
	Rend. Medio Año Seco	Rend. Medio Año Normal	Rend. Medio Año Húmedo	Rend. Medio Año Seco	Rend. Medio Año Normal	Rend. Medio Año Húmedo
Zona 2	959	1.169	1.321	2.933	3.775	4.583
Zona 3	1.347	1.711	1.963	3.429	5.060	6.370
Zona 4	1.426	1.675	1.858	4.155	5.161	5.981
Zona 5	1.548	2.023	2.262	4.876	7.061	8.237
Zona 6	1.712	2.080	2.339	4.775	6.298	7.608
Zona 7	1.654	1.886	2.075	5.730	6.940	7.988
Zona 8	2.208	2.821	3.140	6.866	9.069	10.372
ZAH	Rendimiento (Kg/ha) - Soja 1ra			Rendimiento (Kg/ha) - Trigo		
	Rend. Medio Año Seco	Rend. Medio Año Normal	Rend. Medio Año Húmedo	Rend. Medio Año Seco	Rend. Medio Año Normal	Rend. Medio Año Húmedo
Zona 2	1.866	2.209	2.471	2.149	2.819	3.565
Zona 3	2.378	2.936	3.340	4.030	5.141	5.471
Zona 4	2.279	2.640	2.915	3.624	4.422	4.684
Zona 5	2.574	3.199	3.553	2.980	4.044	4.400
Zona 6	2.579	2.992	3.342	2.894	3.790	4.422
Zona 7	2.514	2.832	3.085	2.737	3.462	4.016
Zona 8	3.438	4.150	4.581	3.488	4.773	5.604

**Tabla V-14 Rendimiento medio esperado ponderado por ZAH y por cultivo**

Para los cultivos de verano los valores de rendimientos medios esperados se pueden esquematizar en grupos:

Para año seco, el girasol presenta rendimientos menores a 1.000 Kg/ha en ZAH 2 y mayores a 2.000 Kg/ha en ZAH 8. En las ZAH restantes, los rendimientos se ubican en el rango de 1.000 a 2.000 Kg/ha. La soja de primera presenta el mismo patrón de distribución que el girasol pero con valores diferentes, estimándose rendimientos inferiores a 2.000 Kg/ha en ZAH 2 y superiores a 3.000 Kg/ha en ZAH 8, con el resto de ZAH ubicadas en el rango de 2.000 a 3.000 Kg/ha. El maíz exhibe un gradiente de rendimientos entre ZAH más heterogéneo, con valores menores a 3.500 Kg/ha en ZAH 2 y 3; entre 4.000 y 5.000 Kg/ha en ZAH 4, 5 y 6; mayores a 5.000 Kg/ha en ZAH 7, y superior a los 6.000 Kg/ha en ZAH 8.

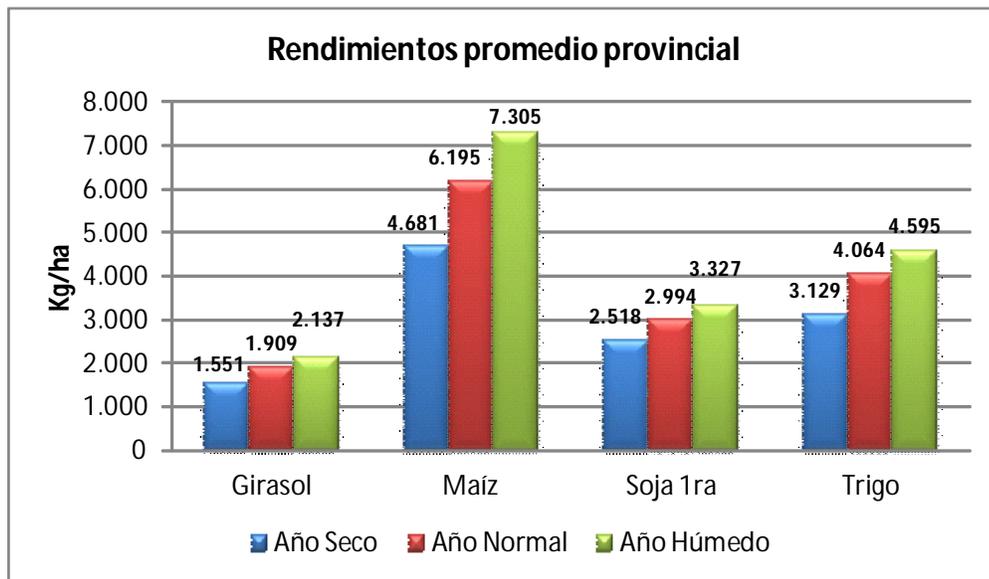
Para año normal, el girasol presenta dos grupos: ZAH 2, 3, 4 y 7 con rendimientos en el rango de 1.000 a 2.000 Kg/ha; y ZAH 5, 6 y 8 donde se superan los 2.000 Kg/ha. En soja de primera se observa que en las ZAH 2, 3, 4, 6 y 7 no se superan los 3.000 Kg/ha, situación que sí se presenta en la ZAH 5; superando los 4.000 Kg/ha en ZAH 8. El maíz continúa siendo el más heterogéneo, con valores inferiores a 4.000 Kg/ha en ZAH 2, inferior a 5.500 Kg/ha en ZAH 3 y 4, inferior a 7.000 Kg/ha en ZAH 6 y 7, y superando levemente los 7.000 Kg/ha en ZAH 5 y los 9.000 Kg/ha en ZAH 8, respectivamente.

Para año húmedo, el girasol presenta el mismo patrón y rango que en año normal, con excepciones en ZAH 7 (donde se superan los 2.000 Kg/ha), y en ZAH 8, con rendimientos esperados promedio superior a 3.000 Kg/ha. En soja de primera se observa que en ZAH 2 y 4 no se superan los 3.000 Kg/ha, las ZAH 3, 5, 6 y 7 se ubican en el rango de 3.000 a 4.000 Kg/ha, y la ZAH 8 supera levemente los 4.500 Kg/ha. El maíz mantiene su patrón heterogéneo, con valores inferiores a 5.000 Kg/ha en ZAH 2, inferior a 6.000 Kg/ha en ZAH 4, inferior a 7.000 Kg/ha en ZAH 3, inferior a 8.000 Kg/ha en ZAH 6 y 7, y superando los 8.000 Kg/ha en ZAH 5 y los 10.000 Kg/ha en ZAH 8.

El trigo para año seco presenta rendimientos promedio esperados inferiores a 3.000 Kg/ha en ZAH 2, 5, 6 y 7, mayores a 3.000 Kg/ha en ZAH 4 y 8, y superando

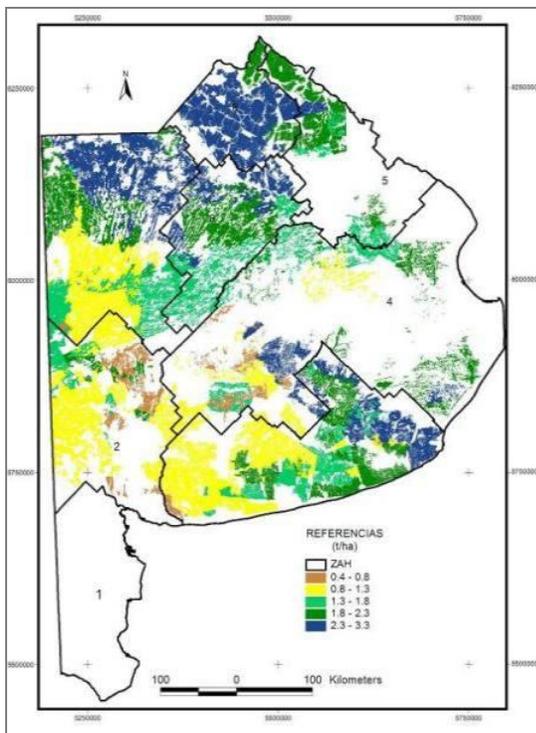
levemente los 4.000 Kg/ha en ZAH 3. En año normal, la ZAH 2 continúa debajo de 2.000 Kg/ha, las ZAH 6 y 7 superan los 3.000 Kg/ha, y las ZAH 4, 5, 6 y 8 por sobre los 4.000 Kg/ha, y la ZAH 3 con valor mayor a 5.000 Kg/ha. Por último, en año húmedo, la ZAH 2 supera los 3.500 Kg/ha, las ZAH 4, 5, 6 y 7 se ubican por encima de los 4.000 Kg/ha, y las ZAH 3 y 8 superan holgadamente los 5.000 Kg/ha.

El rendimiento esperado promedio provincial por cultivo, ponderado por superficie de polígonos y ZAH, se presenta en el siguiente gráfico. Para girasol se observa que la diferencia entre rendimiento de año seco (1.551 Kg/ha) y año húmedo (2.137 Kg/ha) es del 38%. En maíz, el diferencial es el de mayor magnitud, llegando a 56%, mientras que para soja de primera el incremento esperado entre año seco y húmedo es del 32%. Por último, en trigo se observa un diferencial del 47%.

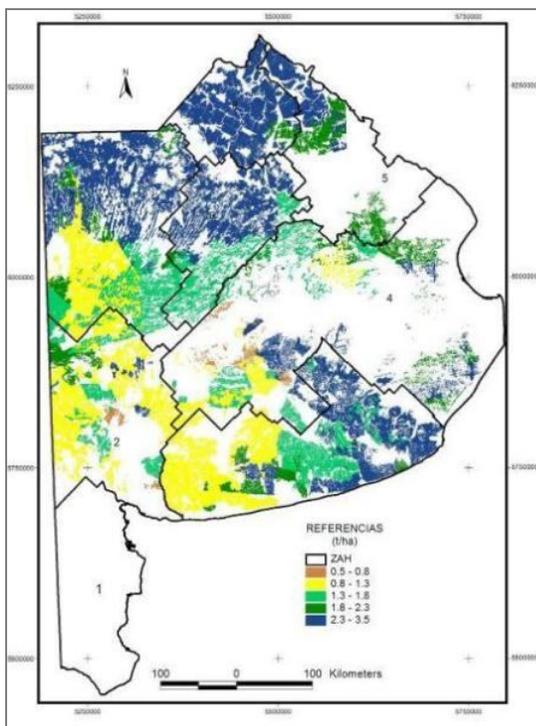


**Gráfico V-8. Rendimientos esperados promedio provincial para los cultivos**

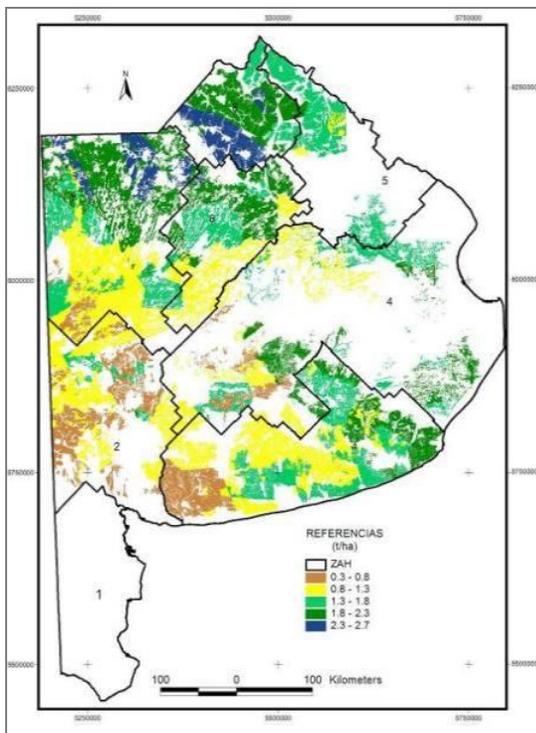
**d.- Mapas síntesis de resultados de Rendimientos esperados**



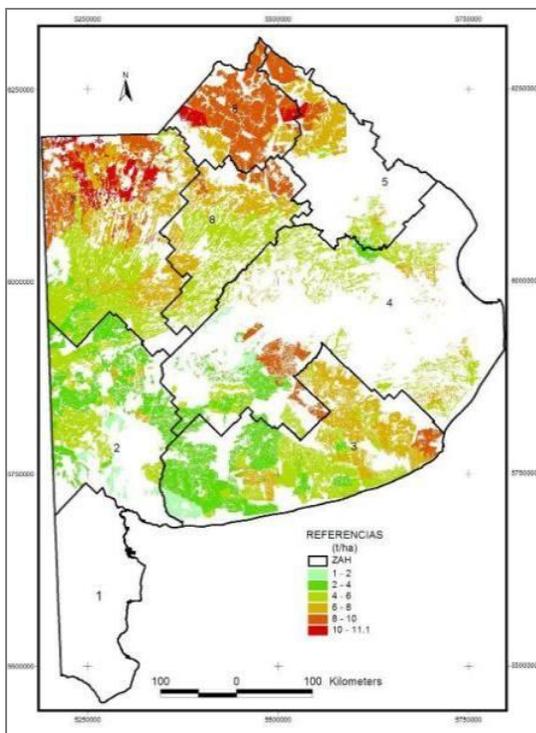
**Mapa 55. Girasol. Rendimiento esperado. Período normal**



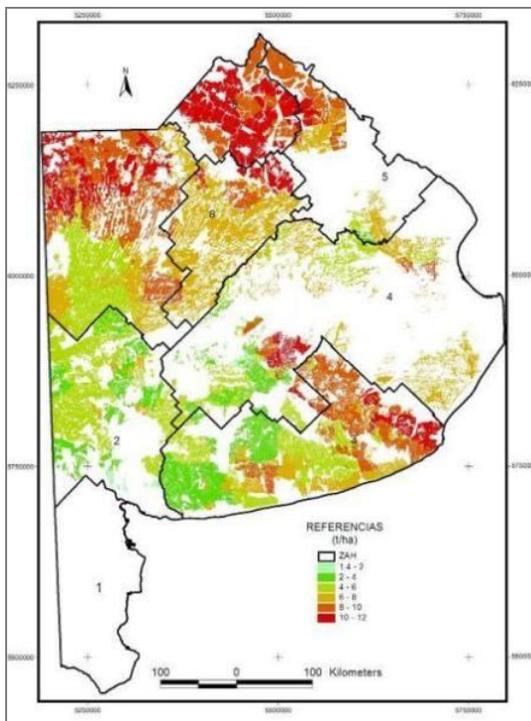
**Mapa 56. Girasol. Rendimiento esperado. Período húmedo**



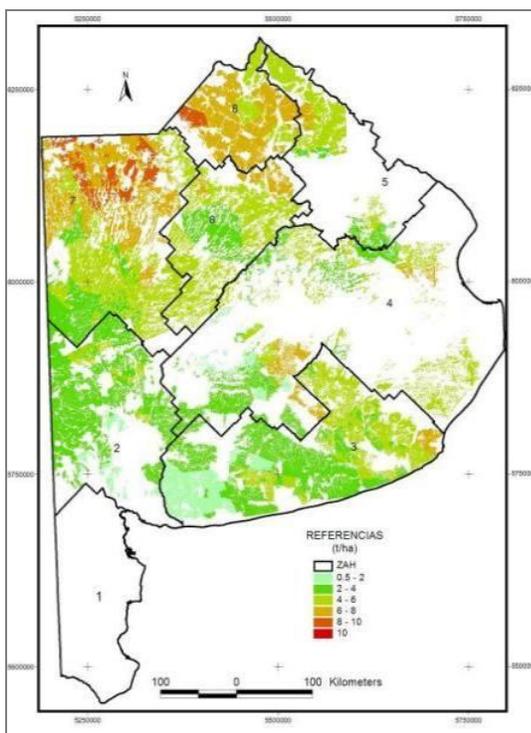
**Mapa 57. Girasol. Rendimiento esperado. Período seco**



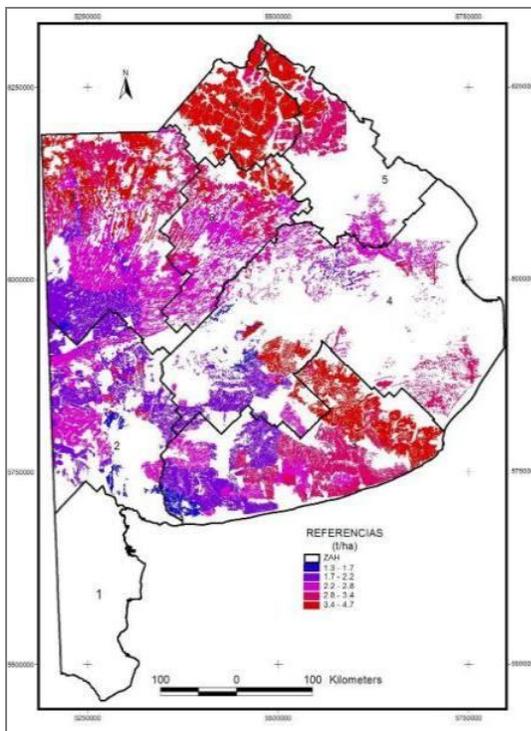
**Mapa 58. Maíz. Rendimiento esperado. Período normal**



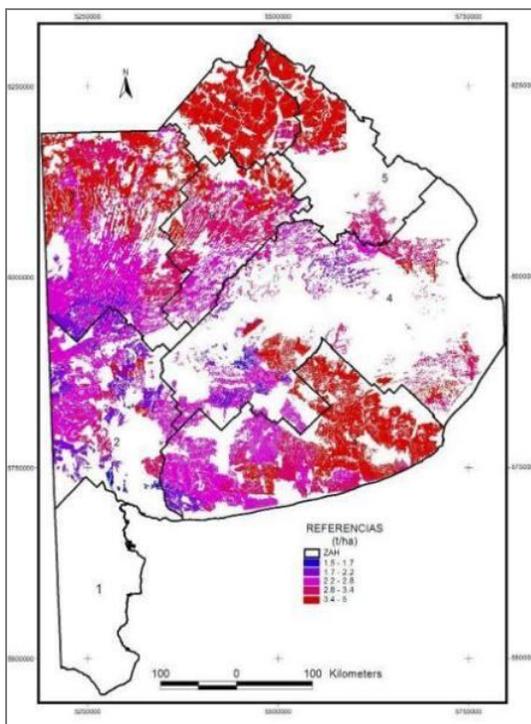
**Mapa 59. Maíz. Rendimiento esperado. Período húmedo**



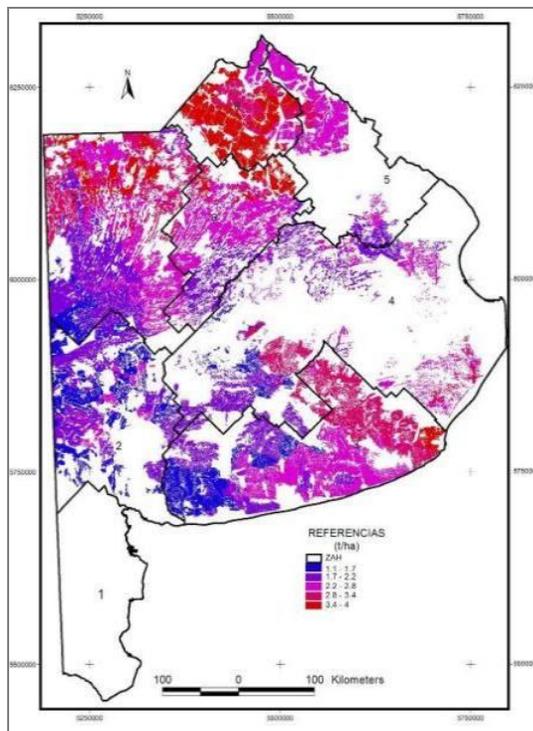
**Mapa 60. Maíz. Rendimiento esperado. Período seco**



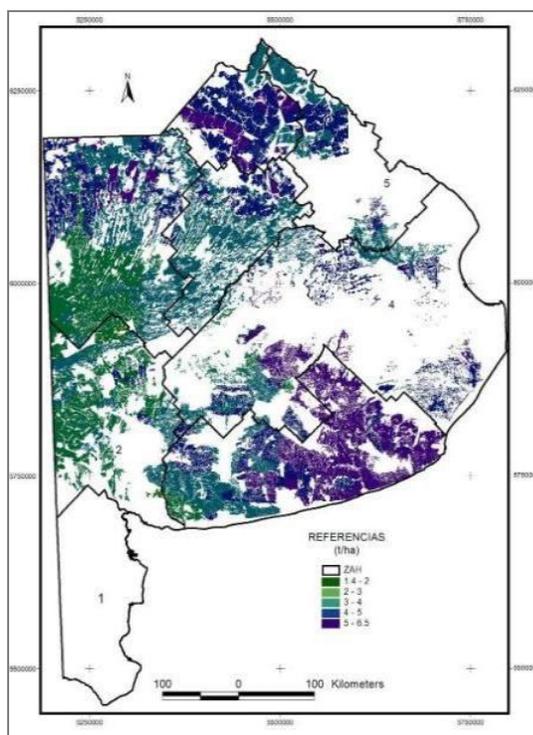
**Mapa 61. Soja. Rendimiento esperado. Período normal**



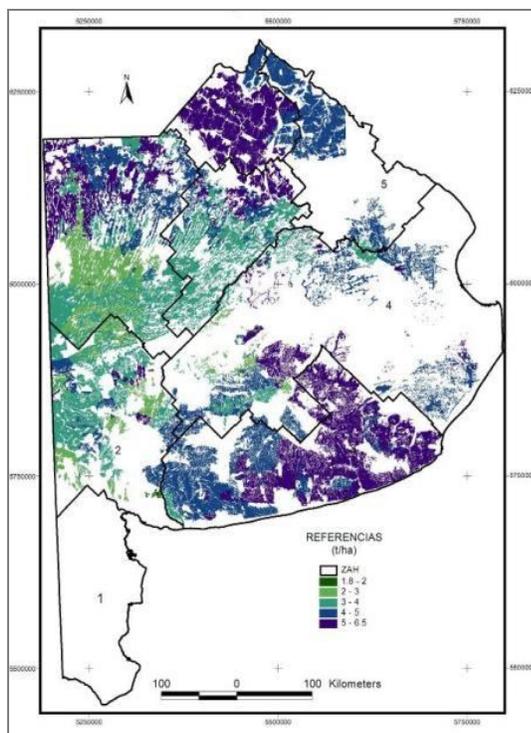
**Mapa 62. Soja. Rendimiento esperado. Período húmedo**



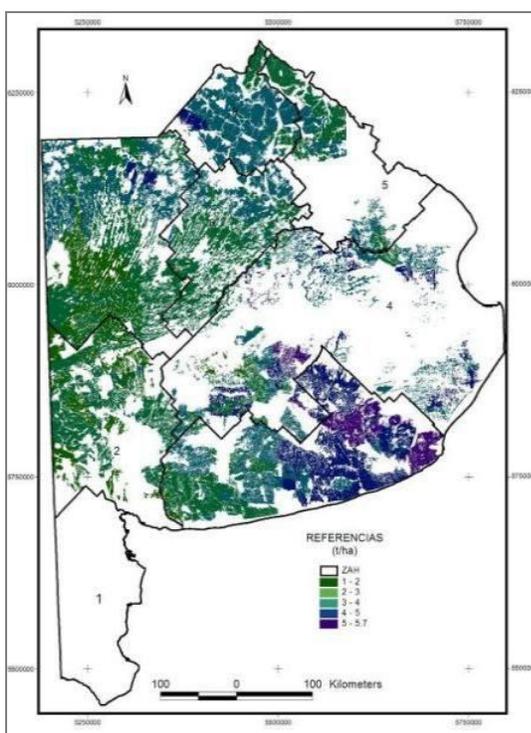
**Mapa 63. Soja. Rendimiento esperado. Período seco**



**Mapa 64. Trigo. Rendimiento esperado. Período normal**



**Mapa 65. Trigo. Rendimiento esperado. Período húmedo**



**Mapa 66. Trigo. Rendimiento esperado. Período seco**

**7º. - Rendimientos promedios obtenidos en la modelación por región.**

En función de las modelizaciones realizadas y comparándolas con las estadísticas de los últimos 5 campañas, se pueden observar las siguientes diferencias, como figuran en las tablas a continuación.

<b>Promedios provinciales</b>				
	<b>Rto Estadístico 5 años</b>	<b>Humedo ponderado</b>	<b>Normal ponderado</b>	<b>Seco ponderado</b>
<b>Maiz</b>	7.363	7.124	6.018	4.601
<b>Soja</b>	2.555	3.239	2.914	2.471
<b>Trigo</b>	2.941	4.592	4.080	3.173
<b>Girasol</b>	1.774	2.066	1.846	1.516
<b>Diferencias en relacion los valores estadísticos</b>				
	<b>Rto Estadístico 5 años</b>	<b>Humedo ponderado</b>	<b>Normal ponderado</b>	<b>Seco ponderado</b>
<b>Maiz</b>	7.363	-3%	-18%	-38%
<b>Soja</b>	2.555	27%	14%	-3%
<b>Trigo</b>	2.941	56%	39%	8%
<b>Girasol</b>	1.774	16%	4%	-15%

**Tabla V-15: Estimación promedio de rendimientos para cada condición**

Como comentario en relación a las diferencias obtenidas, se puede mencionar a partir del conocimiento experto, que las inconsistencias que existen entre los valores estadísticos publicados y los modelados, son debidas a la debilidad de la información estadística, por lo que a partir de las observaciones periódicas de los expertos con vasta y probada experiencia en esta temática como quien ha estimado los valores de referencia para el presente trabajo, conduce a concluir que los resultados modelados se acercan más a la realidad que las estadísticas presentadas. Asimismo, y para el caso del maíz, los valores pueden estar levemente subestimados en la modelación en relación a lo esperado.

A su vez se presentan los resultados para cada uno de los cultivos por región.

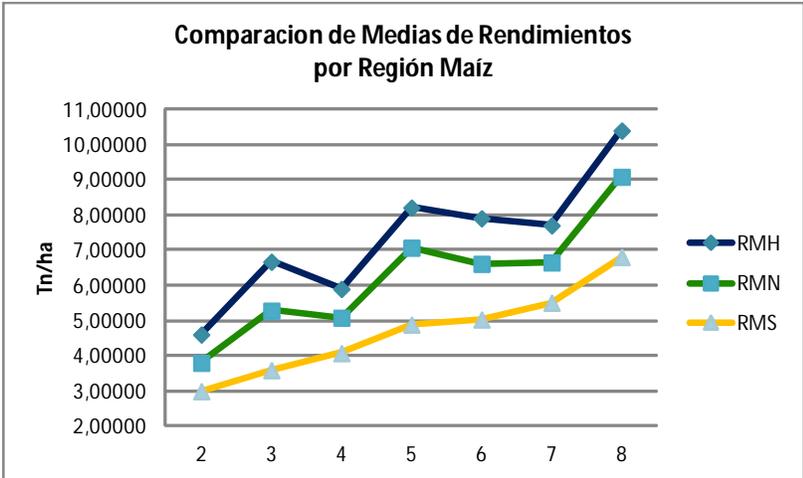


Gráfico V-9: Rendimientos de maíz por región para cada condición hídrica

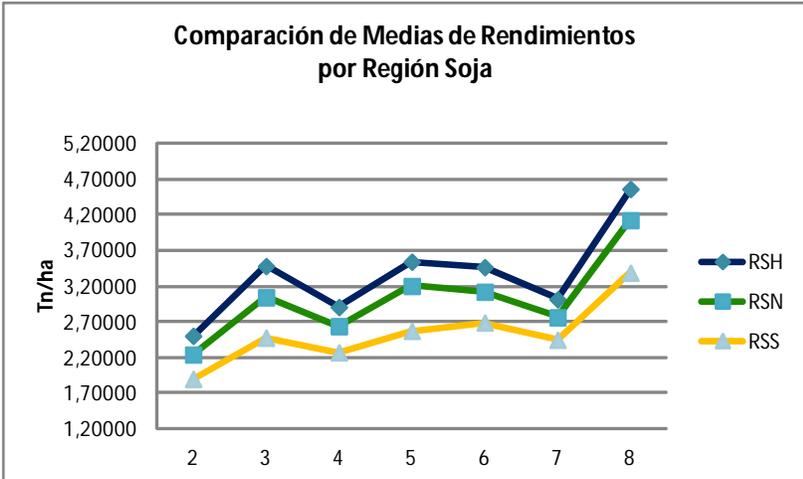


Gráfico V-10: Rendimientos de soja por región para cada condición hídrica

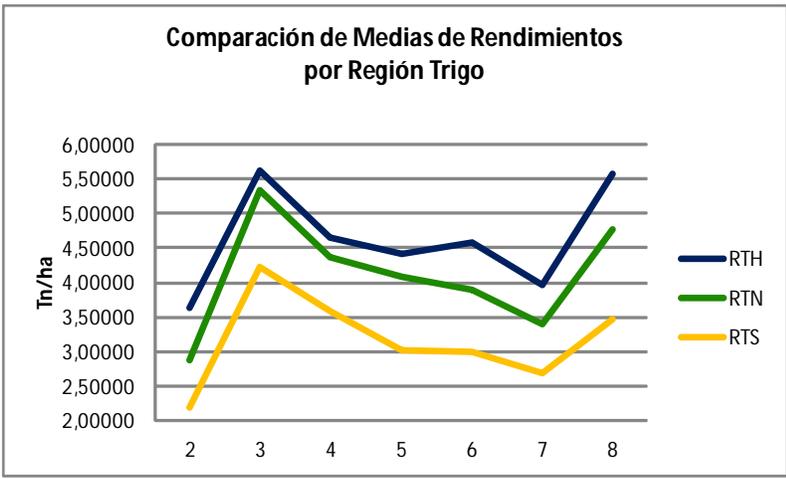
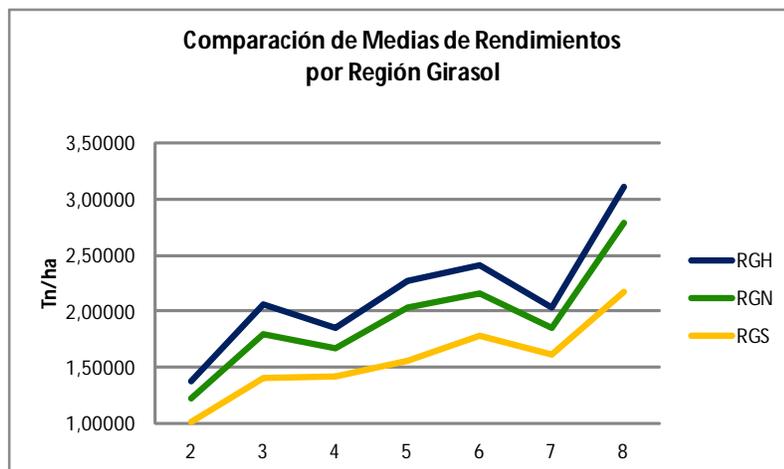


Gráfico V-11: Rendimientos de trigo por región para cada condición hídrica



**Gráfico V-12: Rendimientos de girasol por región para cada condición hídrica**

A continuación se presentan los resultados de los análisis de varianza de un factor (ANOVA) realizados para los rendimientos modelados.

**e.-Anova de un factor de los rendimientos modelados para Maíz.**

Se realizó un análisis de varianza sobre la serie de rendimientos modelados en maíz para periodos húmedos, normales y secos por región para ver si son estadísticamente diferentes.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
13RMH	Inter-grupos	974,003	6	162,334	46,835	,000
	Intra-grupos	1292,849	373	3,466		
	Total	2266,852	379			
16RMN	Inter-grupos	816,886	6	136,148	52,167	,000
	Intra-grupos	973,478	373	2,610		
	Total	1790,363	379			
19RMS	Inter-grupos	497,873	6	82,979	49,990	,000
	Intra-grupos	619,151	373	1,660		
	Total	1117,024	379			

Se observa que para las tres situaciones son estadísticamente diferentes al 99%. Para visualizar si todos los grupos son distintos o hay alguno que difiere del resto se realizó un análisis de comparaciones múltiples donde se observan los resultados.

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%					
				Límite inferior	Límite superior				
13RMH	2	3	-2,070181	,337626	,000	-3,07108	-1,06928		
		4	-1,297190	,335463	,002	-2,29167	-,30271		
		5	-3,612583	,422559	,000	-4,86526	-2,35990		
		6	-3,307064	,395851	,000	-4,48057	-2,13356		
		7	-3,105383	,325286	,000	-4,06970	-2,14107		
		8	-5,804034	,389735	,000	-6,95941	-4,64866		
		3	2	2,070181	,337626	,000	1,06928	3,07108	
			4	,772991	,316997	,186	-,16675	1,71273	
	5		-1,542401	,408054	,003	-2,75208	-,33272		
	6		-1,236883	,380328	,021	-2,36437	-,10939		
	7		-1,035202	,306207	,014	-1,94296	-,12745		
	8		-3,733853	,373960	,000	-4,84246	-2,62524		
	4		2	1,297190	,335463	,002	,30271	2,29167	
			3	-,772991	,316997	,186	-,71273	,16675	
		5	-2,315393	,406265	,000	-3,51977	-1,11101		
		6	-2,009874	,378409	,000	-3,13167	-,88808		
		7	-1,808193	,303820	,000	-2,70887	-,90751		
		8	-4,506844	,372007	,000	-5,60966	-3,40402		
		5	2	3,612583	,422559	,000	2,35990	4,86526	
			3	1,542401	,408054	,003	,33272	2,75208	
	4		2,315393	,406265	,000	1,11101	3,51977		
	6		,305519	,457399	,994	-1,05045	1,66148		
	7		,507200	,397904	,863	-,67239	1,68679		
	8		-2,191451	,452117	,000	-3,53176	-,85114		
	6		2	3,307064	,395851	,000	2,13356	4,48057	
			3	1,236883	,380328	,021	,10939	2,36437	
		4	2,009874	,378409	,000	,88808	3,13167		
		5	-,305519	,457399	,994	-1,66148	1,05045		
		7	,201681	,369417	,998	-,89346	1,29682		
		8	-2,496970	,427261	,000	-3,76359	-1,23035		
		7	2	3,105383	,325286	,000	2,14107	4,06970	
			3	1,035202	,306207	,014	,12745	1,94296	
	4		1,808193	,303820	,000	,90751	2,70887		
	5		-,507200	,397904	,863	-1,68679	,67239		
	6		-,201681	,369417	,998	-1,29682	,89346		
	8		-2,698651	,362857	,000	-3,77435	-1,62296		
	8		2	5,804034	,389735	,000	4,64866	6,95941	
			3	3,733853	,373960	,000	2,62524	4,84246	
		4	4,506844	,372007	,000	3,40402	5,60966		
		5	2,191451	,452117	,000	,85114	3,53176		
		6	2,496970	,427261	,000	1,23035	3,76359		
		7	2,698651	,362857	,000	1,62296	3,77435		
		16RMN	2	3	-1,485622	,292971	,000	-2,35414	-,61710
				4	-1,285239	,291094	,000	-2,14819	-,42229
	5			-3,279061	,366671	,000	-4,36606	-2,19206	
	6			-2,818656	,343495	,000	-3,83695	-1,80036	
	7			-2,856600	,282263	,000	-3,69337	-2,01983	
	8			-5,294441	,338188	,000	-6,29701	-4,29188	
3	2			1,485622	,292971	,000	,61710	2,35414	
	4			,200383	,275071	,991	-,61507	1,01583	
	5		-1,793438	,354084	,000	-2,84313	-,74375		
	6		-1,333034	,330026	,001	-2,31140	-,35467		
7	-1,370978		,265708	,000	-2,15867	-,58328			
8	-3,808819		,324499	,000	-4,77080	-2,84684			

Se observa que existen regiones donde no se visualizan diferencias significativas de rendimientos para los distintos períodos climáticos, conformando subconjuntos homogéneos como se presentan a continuación.

Subconjuntos homogéneos						
13RMH						
HSD de Tukey <sub>ab</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	55	4,60502				
4	70		5,90221			
3	68		6,67520	6,67520		
7	81			7,71040	7,71040	
6	37				7,91208	
5	30				8,21760	
8	39					10,40905
Sig.		1,000	,394	,094	,835	1,000

16RMN					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	3,79779			
4	70		5,08303		
3	68		5,28341		
6	37			6,61645	
7	81			6,65439	
5	30			7,07685	
8	39				9,09223
Sig.		1,000	,997	,803	1,000

19RMS					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	2,99025			
3	68	3,58906	3,58906		
4	70		4,07284		
5	30			4,88545	
6	37			5,03049	
7	81			5,50851	
8	39				6,81014
Sig.		,257	,521	,214	1,000

#### f.-Anova de un factor de los rendimientos modelados para Soja.

Se realizó un análisis de varianza sobre la serie de rendimientos modelados en soja para periodos húmedos, normales y secos por región para ver si son estadísticamente diferentes.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
13RSH	Inter-grupos	118,109	6	19,685	46,951	,000
	Intra-grupos	156,384	373	,419		
	Total	274,493	379			
16RSN	Inter-grupos	94,166	6	15,694	46,163	,000
	Intra-grupos	126,810	373	,340		
	Total	220,976	379			
19RSS	Inter-grupos	55,416	6	9,236	39,491	,000
	Intra-grupos	87,237	373	,234		
	Total	142,653	379			

Se observa que para las tres situaciones son estadísticamente diferentes al 99%. Para visualizar si todos los grupos son distintos o hay alguno que difiere del resto se realizó la prueba de Tukey, donde se observa un análisis de comparaciones múltiples.

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%			
						Limite inferior	Limite superior		
13RSH	2	3	-.976708	,117424	,000	-1,32481	-.62860		
		4	-.402520	,116672	,011	-.74840	-.05664		
		5	-1,038319	,146963	,000	-1,47399	-.60264		
		6	-.961306	,137675	,000	-1,36944	-.55317		
		7	-.510811	,113133	,000	-.84619	-.17543		
		8	-2,055377	,135548	,000	-2,45721	-1,65354		
		3	2	,976708	,117424	,000	,62860	1,32481	
			4	,574188	,110250	,000	,24735	,90103	
	5		-.061611	,141919	,999	-.48233	,35911		
	6		,015402	,132276	1,000	-.37673	,40754		
	7		,465897	,106497	,000	,15018	,78161		
	8		-1,078669	,130061	,000	-1,46424	-.69310		
	4		2	,402520	,116672	,011	,05664	,74840	
			3	-.574188	,110250	,000	-.90103	-.24735	
		5	-.635799	,141297	,000	-1,05468	-.21692		
		6	-.558786	,131608	,001	-.94894	-.16863		
		7	-.108291	,105667	,948	-.42154	,20496		
		8	-1,652857	,129382	,000	-2,03641	-1,26930		
		5	2	1,038319	,146963	,000	,60264	1,47399	
			3	,061611	,141919	,999	-.35911	,48233	
	4		,635799	,141297	,000	,21692	1,05468		
	6		,077013	,159081	,999	-.39458	,54861		
	7		,527508	,138389	,003	,11725	,93776		
	8		-1,017058	,157244	,000	-1,48321	-.55091		
	6		2	,961306	,137675	,000	,55317	1,36944	
			3	-.015402	,132276	1,000	-.40754	,37673	
		4	,558786	,131608	,001	,16863	,94894		
		5	-.077013	,159081	,999	-.54861	,39458		
		7	,450495	,128481	,009	,06961	,83138		
		8	-1,094071	,148599	,000	-1,53459	-.65355		
		7	2	,510811	,113133	,000	,17543	,84619	
			3	-.465897	,106497	,000	-.78161	-.15018	
	4		,108291	,105667	,948	-.20496	,42154		
	5		-.527508	,138389	,003	-.93776	-.11725		
	6		-.450495	,128481	,009	-.83138	-.06961		
	8		-1,544566	,126200	,000	-1,91869	-1,17045		
	8		2	2,055377	,135548	,000	1,65354	2,45721	
			3	1,078669	,130061	,000	,69310	1,46424	
		4	1,652857	,129382	,000	1,26930	2,03641		
		5	1,017058	,157244	,000	,55091	1,48321		
		6	1,094071	,148599	,000	,65355	1,53459		
		7	1,544566	,126200	,000	1,17045	1,91869		
		16RSN	2	3	-.800989	,105740	,000	-1,11446	-.48752
				4	-.396991	,105062	,003	-.70845	-.08553
	5			-.959922	,132340	,000	-1,35224	-.56760	
	6			-.878613	,123975	,000	-1,24614	-.51109	
	7			-.520860	,101875	,000	-.82287	-.21885	
	8			-1,881196	,122060	,000	-2,24304	-1,51935	
3	2			,800989	,105740	,000	,48752	1,11446	
	4			,403998	,099279	,001	,10968	,69831	
	5		-.158932	,127797	,877	-.53779	,21992		
	6		-.077623	,119114	,995	-.43074	,27549		
	7		,280129	,095900	,056	-.00417	,56443		
	8		-1,080206	,117119	,000	-1,42741	-.73301		

Como resultado se observa en las columnas los grupos (agrupando regiones) que no difieren significativamente para cada tipo de situación hídrica.

A continuación, se detallan las regiones donde no se visualizan diferencias significativas de rendimientos para los distintos períodos climáticos, conformando subconjuntos homogéneos como se presentan a continuación.

Subconjuntos homogéneos					
13RSH					
HSD de Tukey <sub>Y<sub>ab</sub></sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	2,50548			
4	70		2,90800		
7	81		3,01630		
6	37			3,46679	
3	68			3,48219	
5	30			3,54380	
8	39				4,56086
Sig.		1,000	,983	,997	1,000

16RSN						
HSD de Tukey <sub>Y<sub>ab</sub></sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	55	2,24399				
4	70		2,64098			
7	81		2,76485	2,76485		
3	68			3,04498	3,04498	
6	37				3,12260	
5	30				3,20391	
8	39					4,12519
Sig.		1,000	,944	,221	,834	1,000

19RSS				
HSD de Tukey <sub>Y<sub>ab</sub></sub>				
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
2	55	1,90357		
4	70		2,27347	
7	81		2,45005	2,45005
3	68		2,47951	2,47951
5	30			2,57529
6	37			2,69067
8	39			
Sig.		1,000	,361	,185

### g.-Anova de un factor de los rendimientos modelados para Trigo.

Se realizó un análisis de varianza sobre la serie de rendimientos modelados en trigo para periodos húmedos, normales y secos por región para ver si son estadísticamente diferentes.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
13RTH	Inter-grupos	191,949	6	31,991	50,066	,000
	Intra-grupos	238,340	373	,639		
	Total	430,288	379			
16RTN	Inter-grupos	250,203	6	41,701	58,856	,000
	Intra-grupos	264,275	373	,709		
	Total	514,479	379			
19RTS	Inter-grupos	161,076	6	26,846	57,933	,000
	Intra-grupos	172,846	373	,463		
	Total	333,921	379			

Se observa que para las tres situaciones son estadísticamente diferentes al 99%. Para visualizar si todos los grupos son distintos o hay alguno que difiere del resto se realizó la prueba de Tukey, donde se observa un análisis de comparaciones múltiples.

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%			
						Limite inferior	Limite superior		
13RTH	2	3	-1,976426	,144964	,000	-2,40617	-1,54668		
		4	-1,023049	,144035	,000	-1,45004	-,59606		
		5	-,775528	,181431	,000	-1,31338	-,23767		
		6	-,948302	,169963	,000	-1,45216	-,44444		
		7	-,331272	,139666	,214	-,74531	,08277		
		8	-1,943157	,167338	,000	-2,43923	-1,44708		
		3	2	1,976426	,144964	,000	1,54668	2,40617	
			4	,953377	,136107	,000	,54989	1,35687	
	5		1,200899	,175203	,000	,68151	1,72029		
	6		1,028124	,163299	,000	,54402	1,51223		
	7		1,645155	,131474	,000	1,25540	2,03491		
	8		,033269	,160564	1,000	-,44273	,50926		
	4		2	1,023049	,144035	,000	,59606	1,45004	
			3	-,953377	,136107	,000	-1,35687	-,54989	
		5	,247521	,174435	,791	-,26959	,76464		
		6	,074747	,162475	,999	-,40691	,55641		
		7	,691778	,130449	,000	,30506	1,07850		
		8	-,920108	,159726	,000	-1,39362	-,44660		
		5	2	,775528	,181431	,000	,23767	1,31338	
			3	-1,200899	,175203	,000	-1,72029	-,68151	
	4		-,247521	,174435	,791	-,76464	,26959		
	6		-,172774	,196390	,975	-,75498	,40943		
	7		,444256	,170845	,129	-,06222	,95073		
	8		-1,167629	,194122	,000	-1,74311	-,59215		
	6		2	,948302	,169963	,000	,44444	1,45216	
			3	-1,028124	,163299	,000	-1,51223	-,54402	
		4	-,074747	,162475	,999	-,55641	,40691		
		5	,172774	,196390	,975	-,40943	,75498		
		7	,617030	,158614	,002	,14682	1,08724		
		8	-,994855	,183450	,000	-1,53869	-,45102		
		7	2	,331272	,139666	,214	-,08277	,74531	
			3	-1,645155	,131474	,000	-2,03491	-1,25540	
	4		-,691778	,130449	,000	-1,07850	-,30506		
	5		-,444256	,170845	,129	-,95073	,06222		
	6		-,617030	,158614	,002	-1,08724	-,14682		
	8		-1,611886	,155797	,000	-2,07375	-1,15002		
	8		2	1,943157	,167338	,000	1,44708	2,43923	
			3	-,033269	,160564	1,000	-,50926	,44273	
		4	,920108	,159726	,000	,44660	1,39362		
		5	1,167629	,194122	,000	,59215	1,74311		
		6	,994855	,183450	,000	,45102	1,53869		
		7	1,611886	,155797	,000	1,15002	2,07375		
		16RTN	2	3	-2,464312	,152648	,000	-2,91684	-2,01179
				4	-1,484260	,151670	,000	-1,93389	-1,03463
	5			-1,199986	,191048	,000	-1,76635	-,63362	
	6			-1,025952	,178972	,000	-1,55652	-,49539	
	7			-,518232	,147068	,009	-,95422	-,08225	
	8			-1,878171	,176207	,000	-2,40054	-1,35580	
3	2			2,464312	,152648	,000	2,01179	2,91684	
	4			,980052	,143321	,000	,55517	1,40493	
	5		1,264326	,184490	,000	,71740	1,81125		
	6		1,438360	,171954	,000	,92860	1,94812		
	7		1,946080	,138443	,000	1,53566	2,35649		
	8		,586141	,169075	,010	,08492	1,08737		

Como resultado se observa en las columnas los grupos (agrupando regiones) que no difieren significativamente para cada tipo de situación hídrica.

Aquí también existen regiones donde no se visualizan diferencias significativas de rendimientos para los distintos períodos climáticos, conformando subconjuntos homogéneos como se presentan a continuación.

Subconjuntos homogéneos					
13RTH					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	3,63202			
7	81	3,96329	3,96329		
5	30		4,40755	4,40755	
6	37			4,58032	
4	70			4,65507	
8	39				5,57518
3	68				5,60845
Sig.		,396	,095	,734	1,000

16RTN						
HSD de Tukey <sub>ab</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	55	2,87875				
7	81		3,39699			
6	37		3,90471	3,90471		
5	30			4,07874		
4	70			4,36301	4,36301	
8	39				4,75693	
3	68					5,34307
Sig.		1,000	,051	,109	,249	1,000

19RTS					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	2,19871			
7	81		2,69846		
6	37		3,00621		
5	30		3,01480		
8	39			3,45894	
4	70			3,59103	
3	68				4,21339
Sig.		1,000	,257	,964	1,000

### h.-Anova de un factor de los rendimientos modelados para Girasol.

Se realizó un análisis de varianza sobre la serie de rendimientos modelados en girasol para periodos húmedos, normales y secos por región para ver si son estadísticamente diferentes.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
13RGH	Inter-grupos	77,526	6	12,921	35,176	,000
	Intra-grupos	137,013	373	,367		
	Total	214,539	379			
16RGN	Inter-grupos	63,025	6	10,504	36,071	,000
	Intra-grupos	108,621	373	,291		
	Total	171,646	379			
19RGS	Inter-grupos	35,803	6	5,967	31,742	,000
	Intra-grupos	70,120	373	,188		
	Total	105,923	379			

Se observa que para las tres situaciones son estadísticamente diferentes al 99%. Para visualizar si todos los grupos son distintos o hay alguno que difiere del resto se

realizó la prueba de Tukey, donde se observa un análisis de comparaciones múltiples.

Pruebas post hoc									
Comparaciones múltiples									
HSD de Tukey									
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%			
						Limite inferior	Limite superior		
13RGRH	2	3	-.682093	,109912	,000	-1,00793	-.35626		
		4	-.463371	,109207	,001	-.78712	-.13962		
		5	-.884437	,137561	,000	-1,29224	-.47664		
		6	-1,030927	,128866	,000	-1,41295	-.64890		
		7	-.652707	,105894	,000	-.96663	-.33878		
		8	-1,730226	,126875	,000	-2,10635	-1,35410		
		3	2	,682093	,109912	,000	,35626	1,00793	
			4	,218722	,103196	,343	-.08720	,52465	
	5		-.202344	,132839	,731	-.59615	,19146		
	6		-.348834	,123813	,075	-.71588	,01821		
	7		,029385	,099683	1,000	-.26613	,32490		
	8		-1,048133	,121740	,000	-1,40903	-.68723		
	4		2	,463371	,109207	,001	,13962	,78712	
			3	-.218722	,103196	,343	-.52465	,08720	
		5	-.421066	,132257	,026	-.81314	-.02899		
		6	-.567556	,123188	,000	-.93275	-.20236		
		7	-.189336	,098906	,472	-.48255	,10387		
		8	-1,266855	,121104	,000	-1,62587	-.90784		
		5	2	,884437	,137561	,000	,47664	1,29224	
			3	,202344	,132839	,731	-.19146	,59615	
	4		,421066	,132257	,026	,02899	,81314		
	6		-.146489	,148903	,957	-.58791	,29494		
	7		,231730	,129534	,556	-.15228	,61574		
	8		-.845789	,147183	,000	-1,28212	-.40946		
	6		2	1,030927	,128866	,000	,64890	1,41295	
			3	,348834	,123813	,075	-.01821	,71588	
		4	,567556	,123188	,000	,20236	,93275		
		5	,146489	,148903	,957	-.29494	,58791		
		7	,378219	,120261	,029	,02170	,73473		
		8	-.699300	,139092	,000	-1,11164	-.28696		
		7	2	,652707	,105894	,000	,33878	,96663	
			3	-.029385	,099683	1,000	-.32490	,26613	
	4		-.189336	,098906	,472	-.10387	,48255		
	5		-.231730	,129534	,556	-.61574	,15228		
	6		-.378219	,120261	,029	-.73473	-.02170		
	8		-1,077519	,118125	,000	-1,42770	-.72734		
	8		2	1,730226	,126875	,000	1,35410	2,10635	
			3	1,048133	,121740	,000	,68723	1,40903	
		4	1,266855	,121104	,000	,90784	1,62587		
		5	,845789	,147183	,000	,40946	1,28212		
		6	,699300	,139092	,000	,28696	1,11164		
		7	1,077519	,118125	,000	,72734	1,42770		
		16RGN	2	3	-.565402	,097863	,000	-.85552	-.27529
				4	-.437532	,097236	,000	-.72579	-.14927
	5			-.809072	,122481	,000	-1,17217	-.44597	
	6			-.928634	,114740	,000	-1,26878	-.58849	
	7			-.620562	,094286	,000	-.90007	-.34105	
	8			-1,564386	,112967	,000	-1,89928	-1,22949	
3	2			,565402	,097863	,000	,27529	,85552	
	4			,127870	,091884	,806	-.14452	,40026	
	5		-.243670	,118277	,379	-.59430	,10696		
	6		-.363232	,110241	,018	-.69004	-.03642		
7	-.055160		,088756	,996	-.31828	,20796			
8	-.998985		,108395	,000	-1,32032	-.67765			

Como resultado se observa en las columnas los grupos (agrupando regiones) que no difieren significativamente para cada tipo de situación hídrica. Por último, para el caso del girasol también se observa que existen regiones donde no se visualizan diferencias significativas de rendimientos para los distintos períodos climáticos, conformando subconjuntos homogéneos como se presentan a continuación.

Subconjuntos homogéneos						
13RGH						
HSD de Tukey <sub>ab</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	55	1,38288				
4	70		1,84625			
7	81		2,03558	2,03558		
3	68		2,06497		2,06497	
5	30			2,26731	2,26731	
6	37				2,41380	
8	39					3,11310
Sig.		1,000	,569	,498	,074	1,000

16RGN						
HSD de Tukey <sub>ab</sub>						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	55	1,22710				
4	70		1,66463			
3	68		1,79250	1,79250		
7	81		1,84766	1,84766	1,84766	
5	30			2,03617	2,03617	
6	37				2,15573	
8	39					2,79148
Sig.		1,000	,641	,290	,078	1,000

19RGS					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2	55	1,00952			
3	68		1,40522		
4	70		1,41301		
5	30		1,55757	1,55757	
7	81		1,61438	1,61438	
6	37			1,78775	
8	39				2,16763
Sig.		1,000	,216	,128	1,000

8°.

### Huella Hídrica Verde

#### i.-Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Maíz

En la siguiente tabla se presentan los cálculos de Huella Hídrica verde por ZAH, en promedio simple y promedio ponderado por superficie de polígonos. En la primera columna de la tabla se indica la ZAH; luego, para cada tipo de año (seco, normal o húmedo), de izquierda a derecha se indican valor mínimo (Mín.) y máximo (Máx.) estimados, valor promedio simple (Prom. Simple) y valor promedio ponderado por superficie de cada polígono incluido (Prom. P. S.).

Se observan dos grupos de resultados. Por un lado, las ZAH 5, 6, 7 y 8 se corresponden con valores promedio ponderados por superficie inferiores a 850

m<sup>3</sup>/Tn en año seco, 780 m<sup>3</sup>/Tn en año normal, y 750 m<sup>3</sup>/Tn en año húmedo. En cambio, las ZAH 2, 3 y 4, presentan valores sensiblemente mayores, superando los 1.100 m<sup>3</sup>/Tn en año seco, 975 m<sup>3</sup>/Tn en año normal y 900 m<sup>3</sup>/Tn en año húmedo.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Maíz (m <sup>3</sup> /Tn)												
ZAH	Año Seco				Año Normal				Año Húmedo			
	Mín.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Mín.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Mín.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.
Zona 2	754	5.159	1.409	<b>1.394</b>	698	4.008	1.271	<b>1.265</b>	653	3.436	1.185	<b>1.185</b>
Zona 3	560	4.617	1.153	<b>1.175</b>	507	2.409	949	<b>980</b>	482	1.910	876	<b>910</b>
Zona 4	608	2.835	1.122	<b>1.110</b>	560	2.581	1.049	<b>1.040</b>	544	2.384	1.002	<b>994</b>
Zona 5	584	922	796	<b>794</b>	545	874	719	<b>717</b>	538	838	692	<b>690</b>
Zona 6	603	1.109	817	<b>849</b>	548	898	750	<b>778</b>	527	854	717	<b>740</b>
Zona 7	473	1.340	827	<b>812</b>	462	1.182	780	<b>769</b>	455	1.099	746	<b>739</b>
Zona 8	551	825	620	<b>621</b>	526	747	572	<b>575</b>	513	726	555	<b>558</b>

Tabla V-16 Huella Hídrica Verde por ZAH para cultivos de maíz

En la siguiente tabla se presenta el valor de la media simple de la huella hídrica verde del maíz en cada ZAH para un año normal, junto a la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV). Esta última medida de variabilidad relativa de los valores estimados indica que para las ZAH 5, 6 y 8 la dispersión es aceptable (valores entre 10% y 14%), mientras que en ZAH 2, 3 y 4 se presenta amplia dispersión (coeficientes de variación superiores a 40%). La ZAH 7, con 25,2%, puede considerarse en el rango de dispersión aceptable dado el carácter regional del análisis.

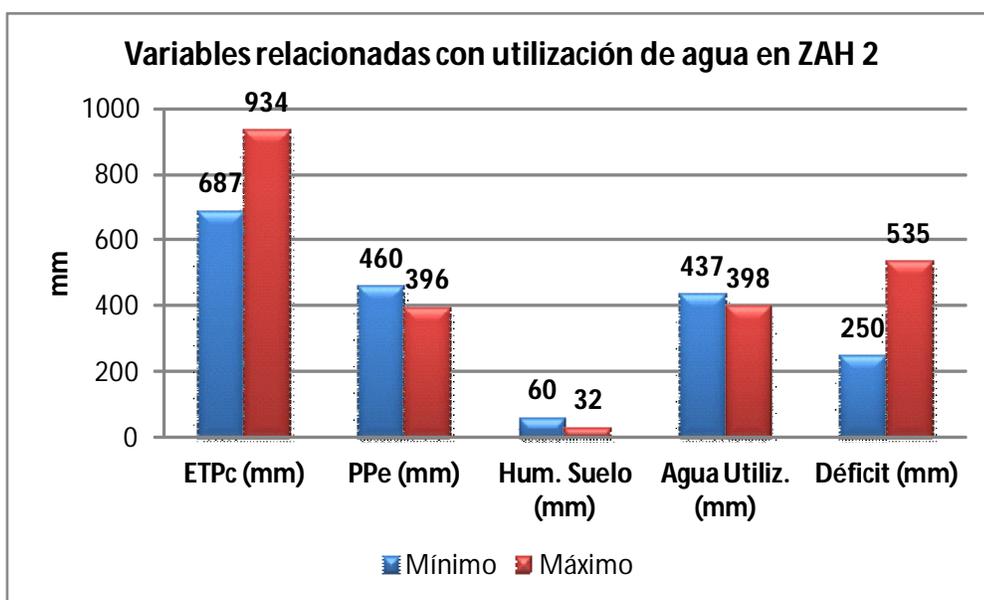
ZAH	Media (m <sup>3</sup> /Tn)	Desviación Estandar (m <sup>3</sup> /Tn)	Coefficiente de Variación
Zona 2	1.268	550	43,4%
Zona 3	949	428	45,1%
Zona 4	1.049	451	43,0%
Zona 5	719	77	10,8%
Zona 6	750	99	13,2%
Zona 7	780	197	25,2%
Zona 8	572	62	10,8%

Tabla V-17 Estadísticos de posición y dispersión para Huella Hídrica de año normal en Maíz

Las altas dispersiones observadas en algunas ZAH surgen de la combinación de diversos factores modelados por CropWat. Una huella hídrica de valor muy alto indicaría una alta evapotranspiración potencial del cultivo, escasa precipitación, moderada a escasa profundidad del suelo para el crecimiento de raíces, poca agua

disponible en el perfil del suelo y baja tasa de infiltración diaria en dicho perfil. Por el contrario, una huella hídrica de valor bajo (en relación a la media) indicaría valores contrarios para las variables de entrada del modelo mencionadas.

El siguiente gráfico ejemplifica las variables de entrada en relación a la utilización de agua por parte del cultivo. Los valores corresponden a la ZAH 2 (CV de 43,4%), cuyas huellas hídricas mínima y máxima estimadas para un año normal fueron de 698 m<sup>3</sup>/Tn y 4.008 m<sup>3</sup>/Tn respectivamente.



**Gráfico V-13. Diferencia entre variables relacionadas con la utilización del agua en maíz**

La huella hídrica mínima se corresponde con la ETPc de la Estación Pehuajó (687 mm), las precipitaciones de año normal de la Estación Guaminí (precipitación efectiva de 460 mm), y la serie de suelo La Colina (cuya agua disponible en el perfil del suelo al momento de la siembra totaliza 60 mm para ese tipo de año).

La huella máxima se registró para la ETPc de Bahía Blanca (934 mm), precipitación efectiva de Cabildo (396 mm), y agua disponible en el perfil el día de siembra de 32 mm (serie de suelo Estancia Ojo de Agua). Es decir, la huella es más alta con mayor ETPc, menores precipitaciones y menor agua útil disponible al momento de la siembra, tal como fue mencionado anteriormente.

En consecuencia con estos datos, los resultados indican mayor utilización de agua y menor déficit para la zona de Guaminí (437 mm y 250 mm, respectivamente) que en el caso de Cabildo (398 mm y 535 mm, respectivamente).

El déficit registrado en cada caso provoca una disminución del rendimiento máximo potencial esperado del 46% en La Colina y de 72% en Estancia Ojo de Agua. Los rendimientos máximos potenciales obtenidos por opinión experta (11.500 Kg/ha sobre la serie La Colina y 3.500 Kg/ha en Estancia Ojo de Agua), se apoyan en las características del perfil de la serie de suelo.

En tal sentido, la serie La Colina, presenta una profundidad radicular máxima de 70 cm, mientras que en Estancia Ojo de Agua el valor es de casi la mitad (37 cm). La humedad disponible para La colina es de 120 mm/metro de perfil, mientras que en el otro suelo es de 63 mm/metro. Por último, la tasa de infiltración máxima es de 32 mm/día para la serie La Colina, y de 23 mm/día para Estancia Ojo de Agua.

La siguiente tabla detalla los valores extremos de Huella Hídrica Verde para maíz en ZAH 2, junto a los valores de las variables y resultados mencionados en los párrafos precedentes.

ZAH	Tipo de Año	Valor	Huella Hídrica (m <sup>3</sup> /Tn)	ETPc (mm)	PPe (mm)	Hum. Suelo (mm)	Agua Utiliz. (mm)	Déficit (mm)	% Dimin. Rend.	Rend. Esper. (Tn/ha)
Zona 2	Normal	Mínimo	698	687	460	60	437	250	46%	6,268
		Máximo	4.008	934	396	32	398	535	72%	0,994

**Tabla V-18 Valores extremos de huella hídrica en ZAH 2 para maíz, y variables relacionadas**

Otro detalle que se observa en los resultados es la disminución de la huella hídrica en cada ZAH para años con mayores precipitaciones. Esto se debe a que la tasa de variación de rendimiento supera a la de disponibilidad de agua cuando se pasa de un año seco a un año húmedo (o disminuye más cuando la condición es a la inversa). A modo de ejemplo, en el polígono conformado por la ETPc de La Estación Meteorológica Junín, las precipitaciones de Vedia y sobre la serie de suelo Santa Isabel (en ZAH 7) el valor máximo para año seco es de 624 m<sup>3</sup>/Tn, mientras que en año normal es ligeramente inferior (591 m<sup>3</sup>/Tn) y menor aún para año húmedo (571 m<sup>3</sup>/Tn). Este comportamiento se verifica en todos los polígonos indicando que, al

pasar de años secos a húmedos, la tasa de aumento de producción del maíz supera la tasa de incremento de las lluvias.

Para visualizar esta última afirmación, se presenta un ejemplo numérico sobre un polígono de la ZAH 8 (zona núcleo). La siguiente tabla contiene los datos y resultados. Los datos climáticos corresponden a las estaciones meteorológicas de Pergamino para la ETo y de San Nicolás para las lluvias. La serie de suelo también incluye a la Estación Ramallo, y de acuerdo a sus propiedades se estima un rendimiento máximo potencial de maíz de 10 Tn/ha. La ETPc calculada por CropWat es de 614,7 mm/ha año. Las columnas de la tabla, de izquierda a derecha, presentan el tipo de año seco, normal y húmedo; el agua disponible total en el perfil del suelo en la fecha de siembra (ADT siembra), la precipitación efectiva y el agua total disponible. Los valores de esta columna, junto a la de agua utilizada por la planta, aumentan conforme se pasa de año seco a años con mayores lluvias. Dado que la ETPc es constante, con el aumento del uso de agua disminuyen el déficit y el porcentaje de disminución de rendimiento, aumentando el rendimiento esperado a cosecha. La última columna contiene los valores respectivos de Huella Hídrica Verde, la cual disminuye conforme aumentan la cantidad de agua utilizada por el cultivo y el rendimiento.

Calculo de Huella Hídrica en Maíz (ETPc = 6.147 m <sup>3</sup> /ha - Rend. Máx. Pot.= 10 Tn/ha)								
Tipo de Año	ADT siembra (m <sup>3</sup> /ha)	P. Efect. (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Total (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Usada (m <sup>3</sup> /ha)	Deficit H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> /ha)	% Dism. Rend.	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hidrica Verde (m <sup>3</sup> /Tn)
Seco	340	3.898	4.238	3.755	2.558	48,6%	5,140	731
	425	4.113	4.538	4.021	2.292	43,2%	5,680	708
	510	4.332	4.842	4.291	2.022	37,7%	6,230	689
	595	4.548	5.143	4.556	1.757	32,4%	6,760	674
	680	4.765	5.445	4.820	1.493	27,0%	7,300	660
	765	4.982	5.747	5.083	1.230	21,6%	7,840	648
Normal	850	4.965	5.815	5.130	1.183	20,7%	7,930	647
	935	5.052	5.987	5.249	1.064	18,3%	8,170	642
	1.020	5.138	6.158	5.363	950	15,9%	8,410	638
	1.105	5.223	6.328	5.474	839	13,7%	8,630	634
	1.190	5.309	6.499	5.582	731	11,5%	8,850	631
Húmedo	1.275	5.396	6.671	5.690	623	9,3%	9,070	627
	1.360	5.475	6.835	5.788	525	7,3%	9,270	624

**Tabla V-19 Ejemplo de disminución de Huella Hídrica Verde del maíz frente al aumento de lluvias**

En el siguiente gráfico se representan los aumentos de agua disponible total al pasar de años secos a húmedos (línea intermedia), de agua utilizada (línea inferior) y de

rendimiento (línea superior). Se observa gráficamente que la pendiente de la línea superior (rendimiento) es mayor que las líneas de aumentos de agua.

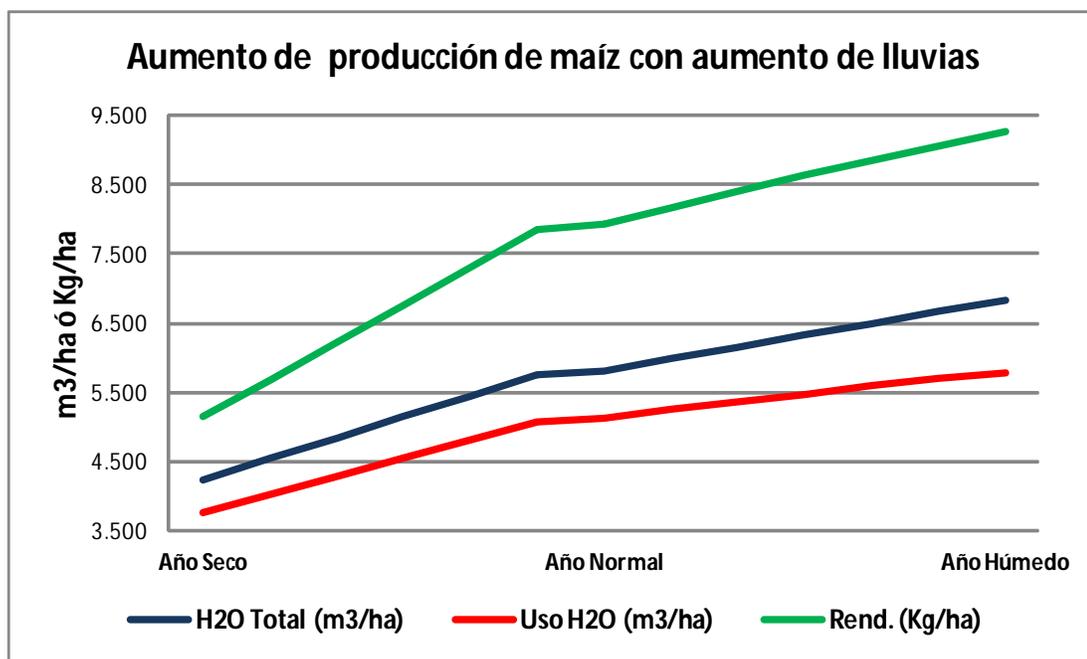


Gráfico V-14. Comparación de pendientes entre aumentos de humedad y rendimiento para cultivos de maíz

Estos resultados se derivan de la función de incremento frente a la disminución del déficit de humedad utilizada por CropWat. Para maíz, el programa asume que esta función posee un factor de incremento mayor a la unidad; concretamente de 1,25 de aumento de rendimiento por cada unidad de aumento de agua disponible. La causa de que algunos cultivos, como el maíz, presenten menores requerimientos hídricos por kilo de cosecha se esclareció en la década del '60 por fisiólogos que demostraron que estas especies disponían de una vía de fotosíntesis de mayor rendimiento (fotosíntesis C4).

Al comparar directamente los valores extremos de la tabla anterior (año tipo seco con año tipo húmedo) se observa que, debido al aumento de las precipitaciones, el cultivo utiliza un 54% más de agua, mientras que el rendimiento esperado (inferior al máximo potencial en ambos casos, debido a que el agua disponible es inferior a la demanda potencial del cultivo) se incrementa en un 80% entre ambos años, tal como se indica en la tabla siguiente.

Estación Meteo. Eto	Estación Meteo. Lluvias	Serie de Suelo	Rend. Máx. (Tn/ha)	ETPc (m <sup>3</sup> /ha)	Tipo de Año	Uso H <sub>2</sub> O Actual (m <sup>3</sup> /ha)	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hídrica (m <sup>3</sup> /Tn)
Pergamino	San Nicolás	Ramallo	10,000	6.147	Seco	3.755	5,140	731
					Húmedo	5.788	9,270	624
<b>Diferencia porcentual de año seco a húmedo</b>						<b>54%</b>	<b>80%</b>	<b>-15%</b>

**Tabla V-20 Ejemplo de diferencias de Huella Hídrica Verde entre año seco y húmedo para el Maíz**

La Huella Hídrica verde se define como el cociente entre el uso actual del agua (numerador) y el rendimiento esperado (denominador). Debido a que el denominador presenta un mayor incremento porcentual que el numerador (80% vs 54%), la Huella Hídrica disminuye desde el año tipo seco al año tipo húmedo en un 15%.

A partir de los resultados logrados por ZAH se estimó la Huella Hídrica verde del maíz en la Provincia de Buenos Aires como promedio ponderado por superficie de polígonos y producción en cada ZAH (Prom.P.S y P.), tal como se detalla en la siguiente tabla. Los resultados indican una Huella de 834 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo seco”, 771 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo normal” y 738 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo húmedo”. La diferencia relativa entre año seco y húmedo indica que la huella en año húmedo es 11,4% inferior a la estimada para año seco.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Maíz en Pcia. de Bs. As. (m <sup>3</sup> /Tn)							
ZAH	Producción (Tn/año)	Año Seco		Año Normal		Año Húmedo	
		Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
Zona 2	130.566	1.394		1.265		1.185	
Zona 3	327.310	1.175		980		910	
Zona 4	539.156	1.110		1.040		994	
Zona 5	597.350	794	<b>834</b>	717	<b>771</b>	690	<b>738</b>
Zona 6	1.099.130	849		778		740	
Zona 7	2.668.320	812		769		739	
Zona 8	1.260.528	621		575		558	

**Tabla V-21 Huella Hídrica Verde para el Maíz en Provincia de Buenos Aires**

Con estos valores estimados se realizó una comparación con el valor de la *Water Footprint Network (WFN)*. En el Apéndice II, “*Water footprint per ton of crop or derived crop product at national and sub-national level (m<sup>3</sup> .t<sup>-1</sup>) (1996-2005)*”. Se puede observar lo siguiente:

Comparación de Huella Hídrica Verde estimada con valor de WFN (m <sup>3</sup> /Tn)					
Maíz WFN	Maíz Min Calculado	Maíz Max Calculado	Prom. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
1.063	462	4.008	907	875	771

**Tabla V-22 Comparación de Huella Hídrica Verde del Maíz**

Para el caso del maíz, se observa que el valor calculado por la WFN es superior al valor promedio simple (907 m<sup>3</sup>/Tn) y al promedio ponderado por superficies de polígonos (875 m<sup>3</sup>/Tn), calculados para el año normal. Si se toma el valor promedio ponderado por producción (771 m<sup>3</sup>/Tn), se observa que el valor de la WFN (1.063 m<sup>3</sup>/Tn) es un 38% más alto que el calculado.

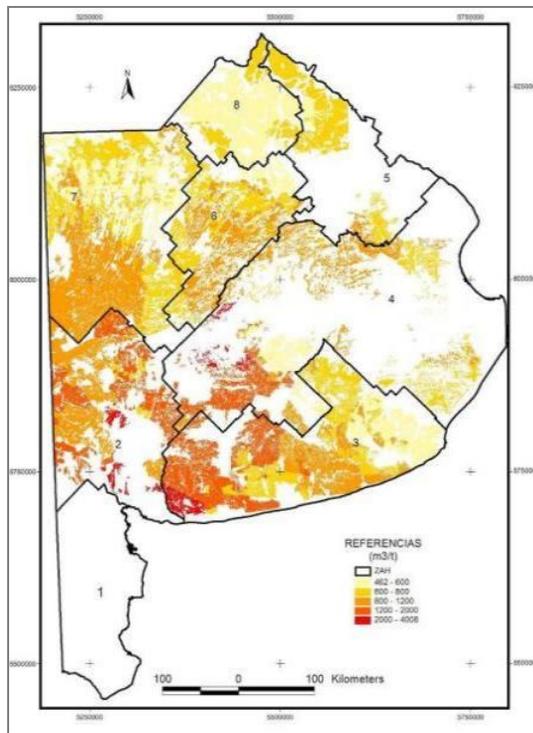
Por último al realizar la correlación entre el Índice de Productividad (IP) por región y las Huellas Hídricas calculadas por periodo, se observa que en todos los casos hay correlación negativa entre ambas, lo que indica que al disminuir la calidad del suelo, aumenta la Huella Hídrica. A su vez esta correlación disminuye levemente de periodo húmedo hacia el seco.

Correlations			
		7IP	1HHMH
7IP	Pearson Correlation	1	-,642**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
1HHMH	Pearson Correlation	-,642**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

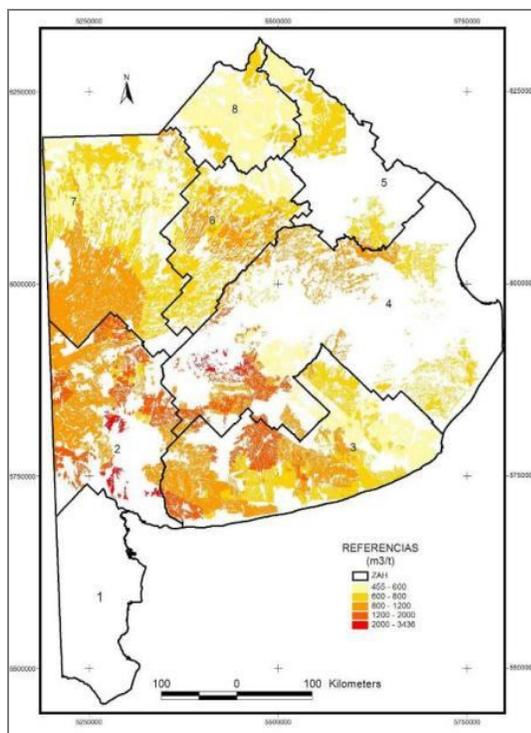
Correlations			
		7IP	1HHMN
7IP	Pearson Correlation	1	-,625**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
1HHMN	Pearson Correlation	-,625**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

Correlations			
		7IP	1HHMS
7IP	Pearson Correlation	1	-,564**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
1HHMS	Pearson Correlation	-,564**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

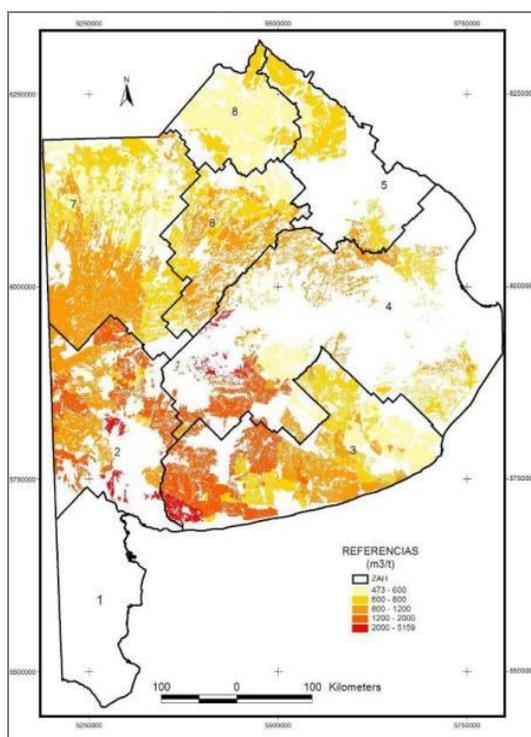
8) Mapas síntesis de resultados de Maíz



Mapa 67. Maíz. Huella Hídrica verde. Período normal



**Mapa 68. Maíz. Huella Hídrica verde. Período húmedo**



**Mapa 69. Maíz. Huella Hídrica verde. Período seco**

### 9) Anova de las Huellas Hídricas para Maíz por región

A continuación se realizaron los análisis de varianza para las situaciones hídricas estudiadas en todos los cultivos, para visualizar si eran significativamente diferentes para las distintas regiones. Asimismo se realizó el Post hoc (Test de Tukey), donde se observa para cada condición hídrica, cuáles Huellas Hídricas pueden agruparse en las distintas regiones, al no mostrar diferencias significativas. Lo expresado se presenta a continuación.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
HHMH	Inter-grupos	14507960,600	6	2417993,433	24,339	,000
	Intra-grupos	37056650,296	373	99347,588		
	Total	51564610,896	379			
HHMN	Inter-grupos	17708775,098	6	2951462,516	23,024	,000
	Intra-grupos	47814994,827	373	128190,335		
	Total	65523769,925	379			
HHMS	Inter-grupos	24074521,331	6	4012420,222	17,623	,000
	Intra-grupos	84925098,456	373	227681,229		
	Total	108999619,787	379			

HHMH					
HSD de					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	555,1			
5	30	692,0	692,0		
6	37	716,9	716,9		
7	81		746,3		
3	68		876,1	876,1	
4	70			1.001,9	
2	55				1.211,8
Sig.		0,2	0,1	0,4	1,0

HHMN					
HSD de					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	572,4			
5	30	718,6			
6	37	750,4	750,4		
7	81	780,2	780,2		
3	68		948,7	948,7	
4	70			1.049,1	
2	55				1.301,0
Sig.		0,1	0,1	0,8	1,0

HHMS				
HSD de				
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
8	39	619,7		
5	30	796,2		
6	37	817,5		
7	81	826,6		
4	70		1.121,6	
3	68		1.152,6	
2	55			1.445,4
Sig.		0,3	1,0	1,0

**Tabla V-23: Tablas de ANOVA para las Huellas Hídricas de Maíz**

### j.- Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Soja de Primera

En la siguiente tabla se presentan los cálculos para Huella Hídrica verde por ZAH, en promedio simple y promedio ponderado, por superficie de polígonos. En la primera columna de la tabla se indica la ZAH; luego, para cada tipo de año (seco, normal o húmedo), de izquierda a derecha se indican valor mínimo (Mín.) y máximo (Máx.) estimados, valor promedio simple (Prom. Simple) y valor promedio ponderado por superficie de cada polígono incluido (Prom. P. S.).

Se observan tres grupos de resultados: las ZAH 2 y 4 se corresponden con valores promedio ponderados por superficie superiores a 1.700 m<sup>3</sup>/Tn en año seco, 1.800 m<sup>3</sup>/Tn en año normal y 1.850 m<sup>3</sup>/Tn en año húmedo. En cambio, las ZAH 3, 5, 6 y 7, presentan valores intermedio, superando los 1.500 m<sup>3</sup>/Tn en año seco, 1.560 m<sup>3</sup>/Tn en año normal y 1.610 m<sup>3</sup>/Tn en año húmedo. La ZAH 8 presenta valores sensiblemente inferiores, con 1.193 m<sup>3</sup>/Tn en año seco, 1.254 m<sup>3</sup>/Tn en año normal y 1.278 m<sup>3</sup>/Tn en año húmedo.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Soja de Primera Ocupación (m <sup>3</sup> /Tn)												
ZAH	Año Seco				Año Normal				Año Húmedo			
	Mín.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Mín.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Mín.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.
Zona 2	1.214	2.668	1.816	<b>1.852</b>	1.287	2.905	1.913	<b>1.953</b>	1.327	3.076	1.972	<b>2.012</b>
Zona 3	1.044	2.137	1.456	<b>1.492</b>	1.097	2.302	1.529	<b>1.576</b>	1.126	2.450	1.577	<b>1.624</b>
Zona 4	1.195	2.733	1.734	<b>1.741</b>	1.266	2.782	1.802	<b>1.808</b>	1.300	2.832	1.844	<b>1.851</b>
Zona 5	1.301	1.645	1.509	<b>1.504</b>	1.374	1.734	1.589	<b>1.584</b>	1.387	1.761	1.622	<b>1.619</b>
Zona 6	1.122	1.920	1.524	<b>1.545</b>	1.171	1.971	1.569	<b>1.568</b>	1.194	2.006	1.608	<b>1.638</b>
Zona 7	1.126	2.138	1.632	<b>1.644</b>	1.159	2.181	1.692	<b>1.695</b>	1.180	2.229	1.721	<b>1.722</b>
Zona 8	1.045	1.595	1.197	<b>1.193</b>	1.157	1.679	1.257	<b>1.254</b>	1.182	1.713	1.282	<b>1.278</b>

**Tabla V-24 Huella Hídrica Verde por ZAH para cultivos de soja**

En la siguiente tabla se presenta el valor de la media simple de la huella hídrica verde de soja de primera ocupación en cada ZAH para un año normal, junto a la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV). Esta última medida de variabilidad relativa de los valores estimados indica que para todas las ZAH la dispersión (valores entre 11% y 23%) puede considerarse como aceptable dado el carácter regional del análisis.

ZAH	Media (m <sup>3</sup> /Tn)	Desviación Estandar (m <sup>3</sup> /Tn)	Coefficiente de Variación
Zona 2	1.913	303	15,8%
Zona 3	1.529	344	22,5%
Zona 4	1.802	407	22,6%
Zona 5	1.589	106	6,7%
Zona 6	1.569	216	13,8%
Zona 7	1.692	295	17,4%
Zona 8	1.257	140	11,1%

Tabla V-25 Estadísticos de posición y dispersión para Huella Hídrica de año normal en Soja

Las dispersiones superiores observadas en algunas ZAH surgen de la combinación de diversos factores modelados por CropWat. El siguiente gráfico ejemplifica las variables de entrada en relación a la utilización de agua por parte del cultivo. Los valores corresponden a la ZAH 3 (CV de 22,5%), cuyas huellas hídricas mínima y máxima estimadas para un año normal fueron de 1.097 m<sup>3</sup>/Tn y 2.302 m<sup>3</sup>/Tn respectivamente.

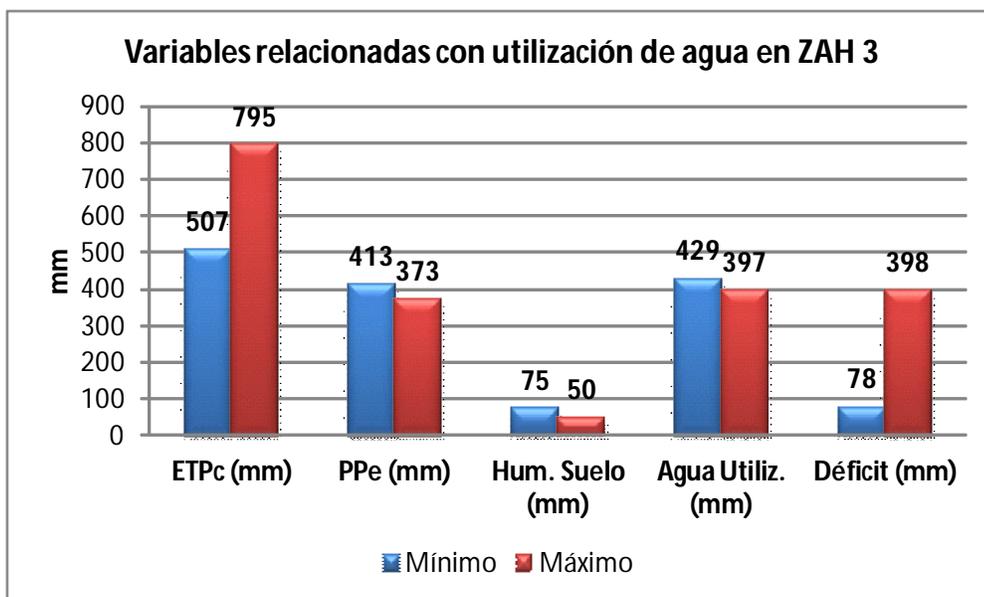


Gráfico V-15. Diferencia entre variables relacionadas con la utilización del agua en soja.

La huella hídrica mínima se corresponde con la ETPc de la Estación Pehuajó (507 mm), las precipitaciones de año normal de la Estación Miramar (precipitación efectiva de 413 mm), y la serie de suelo Tandil (cuya agua disponible en el perfil del suelo al momento de la siembra totaliza 75 mm para ese tipo de año).

La huella máxima se registró para la ETPc de Bahía Blanca (795 mm), la precipitación efectiva de Coronel Dorrego (373 mm), y el agua disponible en el perfil el día de siembra de 50 mm (serie de suelo Tres Arroyos). Es decir, la huella es más alta con mayor ETPc, menores precipitaciones y menor agua útil disponible al momento de la siembra.

En consecuencia con estos datos, los resultados indican mayor utilización de agua y menor déficit para la zona de Miramar (429 mm y 78 respectivamente) que en el caso de Coronel Dorrego (397 mm y 398 mm respectivamente).

El déficit registrado en cada caso provoca una disminución del rendimiento máximo potencial esperado del 13% en la serie Tandil y de 43% en la serie Tres Arroyos. Los rendimientos máximos potenciales obtenidos por opinión experta (4.500 Kg/ha sobre la serie Tandil y 3.000 Kg/ha en Tres Arroyos), se apoyan en las características del perfil de la serie de suelo.

En tal sentido, la serie Tandil presenta una profundidad radicular sin limitantes, mientras que en la serie Tres Arroyos el valor es de 80 cm. La humedad disponible para la serie Tandil es de 150 mm/metro de perfil, mientras que en el otro suelo es de 100 mm/metro. Por último, la tasa de infiltración máxima es de 30 mm/día para la serie Tandil, y de 28 mm/día para la serie Tres Arroyos.

La siguiente tabla detalla los valores extremos de Huella Hídrica Verde para soja de primera ocupación en ZAH 3, junto a los valores de las variables y resultados mencionados en los párrafos precedentes.

ZAH	Tipo de Año	Valor	Huella Hídrica (m <sup>3</sup> /Tn)	ETPc (mm)	PPe (mm)	Hum. Suelo (mm)	Agua Utiliz. (mm)	Déficit (mm)	% Dimin. Rend.	Rend. Esper. (Tn/ha)
Zona 3	Normal	Mínimo	1.097	507	413	75	429	78	13%	3,911
		Máximo	2.302	795	373	50	397	398	43%	1,725

**Tabla V-26 Valores extremos de huella hídrica en ZAH 3 para soja, y variables relacionadas**

Otro detalle que se observa en los resultados es el aumento de la huella hídrica en cada ZAH para años con mayores precipitaciones. Esto se debe a que la tasa de variación de rendimiento es inferior al aumento de la disponibilidad de agua cuando se pasa de un año seco a un año húmedo. Por ejemplo, en el polígono conformado por la ETPc de la Estación Meteorológica Junín, las precipitaciones de Vedia y sobre la serie de suelo Santa Isabel (en ZAH 7) el valor de huella hídrica para año seco es de 1.227 m<sup>3</sup>/Tn, mientras que en año normal es ligeramente superior (1.286 m<sup>3</sup>/Tn) y mayor aún para año húmedo (1.313 m<sup>3</sup>/Tn). Este comportamiento se verifica en todos los polígonos, indicando que la tasa de incremento

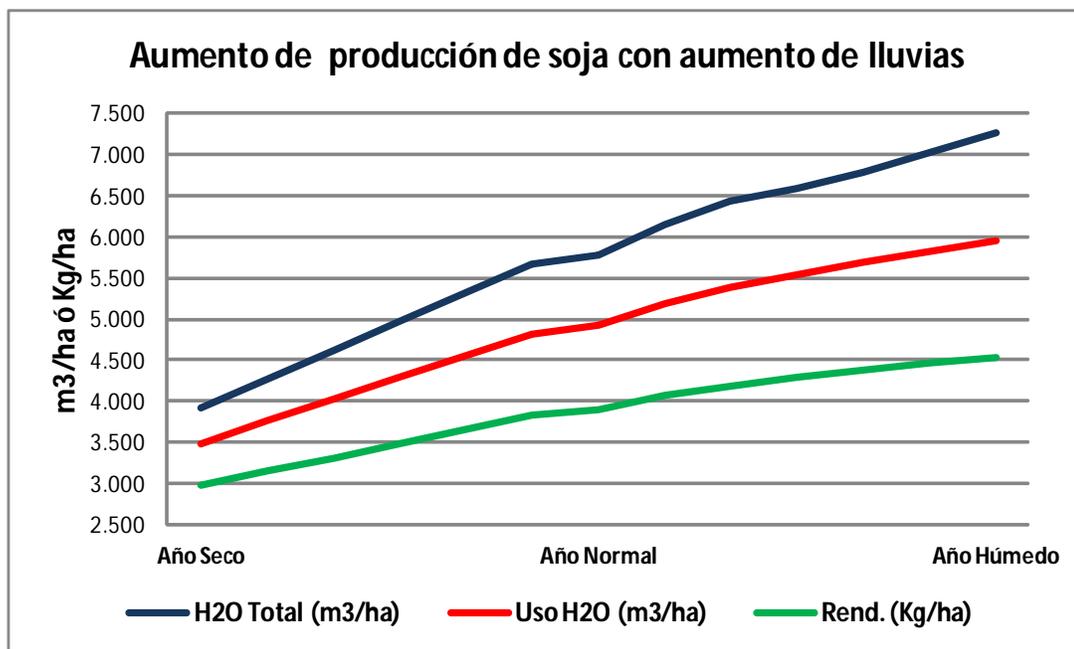
de las lluvias al pasar de años secos a húmedos supera la tasa de aumento de producción de soja.

Para visualizar esta última afirmación, se presenta un ejemplo numérico sobre un polígono de la ZAH 6. La siguiente tabla contiene los datos y resultados. Los datos climáticos corresponden a las estaciones meteorológicas de Nueve de Julio para le ETo y Cuartel V para las lluvias. La serie de suelo refiere a la estación O'Higgins, y de acuerdo a sus propiedades se estima un rendimiento máximo potencial de soja de 5 Tn/ha. La ETPc calculada por CropWat es de 667 mm. Las columnas de la tabla, de izquierda a derecha, presentan el tipo de año seco, normal y húmedo; el agua disponible total en el perfil del suelo en la fecha de siembra (ADT siembra), la precipitación efectiva y el agua total disponible. Los valores de esta columna, junto a la de agua utilizada por la planta, aumentan conforme pasamos de año seco a años con mayores lluvias. Dado que la ETPc es constante, con el aumento del uso de agua disminuyen el déficit y el porcentaje de disminución de rendimiento, aumentando el rendimiento esperado a cosecha. La última columna contiene los valores respectivos de Huella Hídrica verde, la cual aumenta conforme aumentan la cantidad de agua utilizada por el cultivo y el rendimiento.

Calculo de Huella Hídrica en Soja (ETPc = 6.668 m <sup>3</sup> /ha - Rend. Máx. Pot.= 5 Tn/ha)								
Tipo de Año	ADT siembra (m <sup>3</sup> /ha)	P. Efect. (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Total (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Usada (m <sup>3</sup> /ha)	Deficit H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> /ha)	% Dism. Rend.	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hídrica Verde (m <sup>3</sup> /Tn)
Seco	220	3.688	3.908	3.480	2.833	40,6%	2,970	1.172
	275	3.984	4.259	3.755	2.558	37,1%	3,145	1.194
	330	4.279	4.609	4.026	2.287	33,7%	3,315	1.214
	385	4.576	4.961	4.296	2.017	30,2%	3,490	1.231
	440	4.872	5.312	4.562	1.751	26,8%	3,660	1.246
Normal	495	5.170	5.665	4.823	1.490	23,5%	3,825	1.261
	550	5.218	5.768	4.929	1.384	22,2%	3,890	1.267
	605	5.548	6.153	5.196	1.117	18,8%	4,060	1.280
	660	5.775	6.435	5.384	929	16,4%	4,180	1.288
	715	5.880	6.595	5.544	769	14,3%	4,285	1.294
Húmedo	770	6.008	6.778	5.688	625	12,5%	4,375	1.300
	825	6.197	7.022	5.821	492	10,8%	4,460	1.305
	880	6.718	7.598	5.943	370	9,2%	4,540	1.309

**Tabla V-27 Ejemplo de aumento de Huella Hídrica Verde de la soja frente al aumento de lluvias**

En el siguiente gráfico se representan los aumentos de agua disponible total al pasar de años secos a húmedos (línea superior), de agua utilizada (línea intermedia) y de rendimiento (línea inferior). Se observa gráficamente que la pendiente de la línea inferior (rendimiento) es menor que las líneas de aumentos de agua disponible y utilizada.



**Gráfico V-16. Comparación de pendientes entre aumentos de humedad y rendimiento para cultivos de soja de primera ocupación**

Estos resultados se derivan de la función de incremento frente a la disminución del déficit de humedad utilizada por CropWat. Para soja, el programa asume que esta función posee un factor de incremento menor a la unidad (específicamente de 0,85) de aumento de rendimiento por cada unidad de aumento de agua disponible.

Al comparar directamente los valores extremos de la tabla anterior (año tipo seco con año tipo húmedo) se observa que debido al aumento de las precipitaciones, el cultivo utiliza un 71% más de agua, mientras que el rendimiento esperado (inferior al máximo potencial en ambos casos, debido a que el agua disponible es inferior a la demanda potencial del cultivo) se incrementa en un 53% entre ambos años, tal como se indica en la tabla siguiente.

Estación Meteo. Eto	Estación Meteo. Lluvias	Serie de Suelo	Rend. Máx. (Tn/ha)	ETPc (m <sup>3</sup> /ha)	Tipo de Año	Uso H <sub>2</sub> O Actual (m <sup>3</sup> /ha)	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hídrica (m <sup>3</sup> /Tn)
9 de Julio	Cuartel V	O Higgins	5,000	6.668	Seco	3.480	2,970	1.172
					Húmedo	5.943	4,540	1.309
<b>Diferencia porcentual de año seco a húmedo</b>						<b>71%</b>	<b>53%</b>	<b>12%</b>

**Tabla V-28 Ejemplo de diferencias de Huella Hídrica Verde entre año seco y húmedo para soja de primera ocupación**

A partir de los resultados logrados por ZAH se estimó la Huella Hídrica Verde de soja de primera ocupación en la Provincia de Buenos Aires como promedio ponderado por superficie de polígonos y producción en cada ZAH (Prom. P.S y P.), tal como se detalla en la siguiente tabla. Los resultados indican una Huella de 1.496 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo seco”, 1.553 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo normal” y 1.591 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo húmedo”. La diferencia relativa entre año seco y húmedo indica que la huella en año húmedo es 6,3% superior a la estimada para año seco.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Soja 1ra en Pcia. de Bs. As. (m <sup>3</sup> /Tn)							
ZAH	Producción (Tn/año)	Año Seco		Año Normal		Año Húmedo	
		Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
Zona 2	429.004	1.852		1.953		2.012	
Zona 3	1.176.306	1.507		1.577		1.624	
Zona 4	1.030.626	1.741		1.808		1.851	
Zona 5	1.329.473	1.504	<b>1.496</b>	1.584	<b>1.553</b>	1.619	<b>1.591</b>
Zona 6	1.844.606	1.545		1.568		1.638	
Zona 7	3.417.083	1.644		1.695		1.722	
Zona 8	3.404.311	1.193		1.254		1.278	

**Tabla V-29 Huella Hídrica Verde para soja 1ra en Provincia de Buenos Aires**

Nuevamente, con estos valores estimados se realizó una comparación con el valor de la WFN - Apéndice II, resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Comparación de Huella Hídrica Verde estimada con valor de WFN (m <sup>3</sup> /Tn)					
Soja WFN	Soja Min Calculado	Soja Max Calculado	Prom. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
2.090	1.097	2.905	1.654	1.634	1.553

**Tabla V-30 Comparación de Huella Hídrica Verde de soja de 1ra**

Para el caso de la soja de primera se observa que el valor calculado por la WFN es superior al valor promedio simple (1.654 m<sup>3</sup>/Tn) y al promedio ponderado por superficies de polígonos (1.634 m<sup>3</sup>/Tn), calculados para el año normal. Si se toma el valor promedio ponderado por producción (1.553 m<sup>3</sup>/Tn), se observa que el valor del la WFN (2.090 m<sup>3</sup>/Tn) es un 35% más alto que el calculado.

Por último al realizar la correlación entre el Índice de Productividad (IP) por región y las Huellas Hídricas calculadas por periodo, se observa que en todos los casos hay

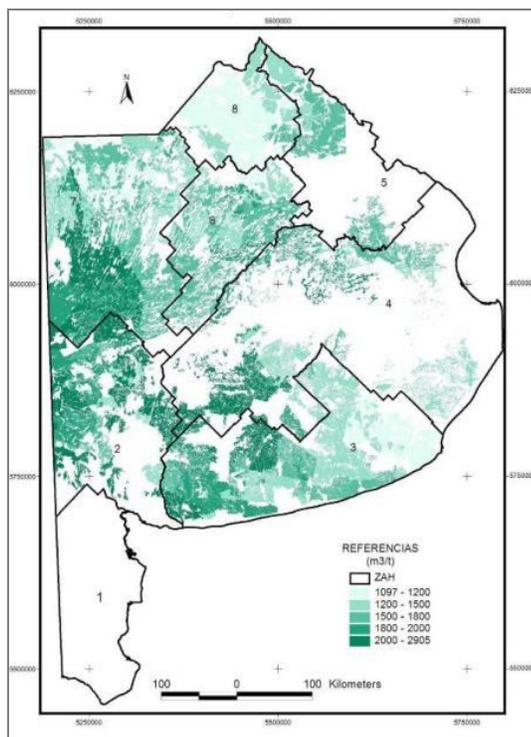
correlación negativa entre ambas, lo que indica que al disminuir la calidad del suelo, aumenta la Huella Hídrica, al igual que el cultivo anterior.

Correlations			
		7IP	2HSH
7IP	Pearson Correlation	1	-,659**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
2HSH	Pearson Correlation	-,659**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

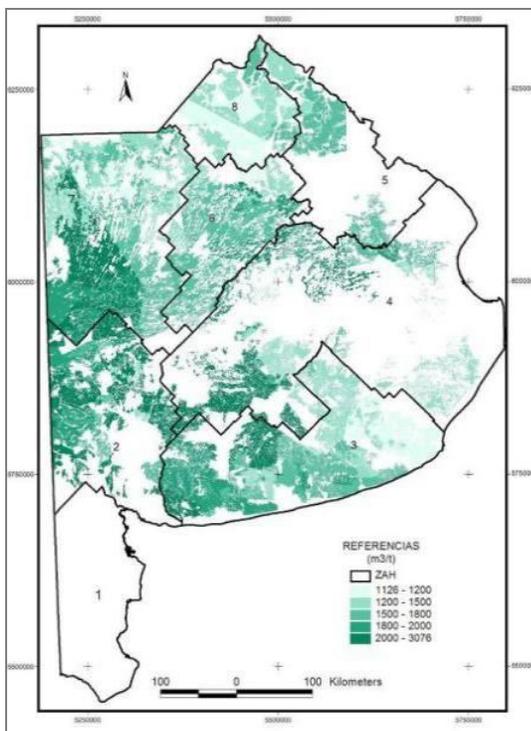
Correlations			
		7IP	2HSHN
7IP	Pearson Correlation	1	-,661**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
2HSHN	Pearson Correlation	-,661**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

Correlations			
		7IP	2HHSS
7IP	Pearson Correlation	1	-,659**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
2HHSS	Pearson Correlation	-,659**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

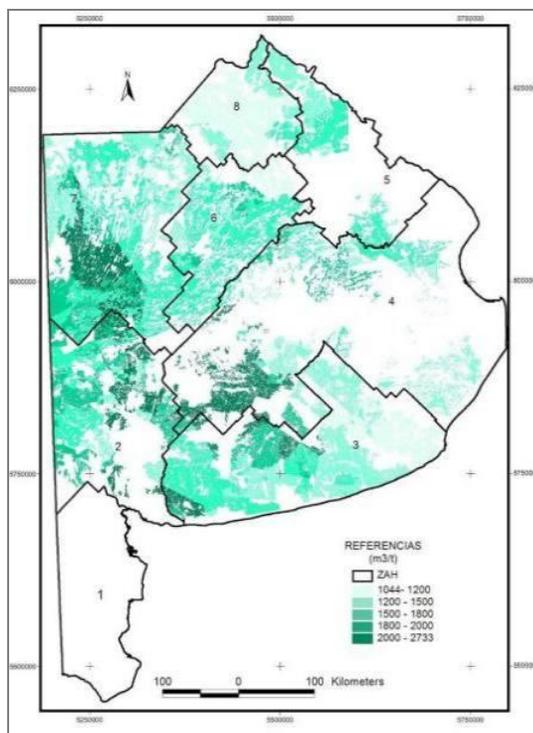
10) Mapas síntesis de resultados de Soja de primera



**Mapa 70. Soja. Huella Hídrica verde. Período normal**



**Mapa 71. Soja. Huella Hídrica verde. Período húmedo**



**Mapa 72. Soja. Huella Hídrica verde. Período seco**

### 11) Anova de las Huellas Hídricas para Soja por región

Se realizó el análisis de varianza para las situaciones hídricas estudiadas para visualizar si eran significativamente diferentes para las distintas regiones. Asimismo se realizó el Post hoc (Test de Tukey), donde se observa para cada condición hídrica, cuáles Huellas Hídricas pueden agruparse en las distintas regiones, al no mostrar diferencias significativas. Lo expresado se presenta a continuación.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
HSH	Inter-grupos	14309022,672	6	2384837,112	23,927	,000
	Intra-grupos	37178163,854	373	99673,362		
	Total	51487186,526	379			
HNS	Inter-grupos	13383666,163	6	2230611,027	24,232	,000
	Intra-grupos	34336027,453	373	92053,693		
	Total	47719693,616	379			
HSS	Inter-grupos	12290976,626	6	2048496,104	24,020	,000
	Intra-grupos	31810799,359	373	85283,644		
	Total	44101775,985	379			

Subconjuntos homogéneos					
HSSH					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	1.282,12			
3	68		1.577,06		
6	37		1.607,55		
5	30		1.622,45		
7	81		1.721,03	1.721,03	
4	70			1.843,64	1.843,64
2	55				1.986,55
Sig.		1,00	0,28	0,48	0,29

HHSN					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	1.256,61			
3	68		1.528,83		
6	37		1.568,61		
5	30		1.588,75		
7	81		1.691,65	1.691,65	
4	70			1.802,23	1.802,23
2	55				1.927,37
Sig.		1,00	0,12	0,56	0,40

HHSS					
HSD de Tukey <sub>ab</sub>					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	1.196,53			
3	68		1.456,35		
5	30		1.508,60		
6	37		1.524,19		
7	81		1.632,08	1.632,08	
4	70			1.733,60	1.733,60
2	55				1.827,89
Sig.		1,00	0,05	0,61	0,69

Tabla V-31: Tablas de ANOVA para las Huellas Hídricas de Soja

### k.-Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Trigo

En la siguiente tabla se presentan los cálculos de Huella Hídrica verde por ZAH, promedio simple y promedio ponderado por superficie de polígonos. En la primera columna de la tabla se indica la ZAH; luego, para cada tipo de año (seco, normal o húmedo), de izquierda a

derecha se indican valor mínimo (Mín.) y máximo (Máx.) estimados, valor promedio simple (Prom. Simple) y valor promedio ponderado por superficie de cada polígono incluido (Prom. P. S.).

Se observan tres grupos de resultados: ZAH 3, 4 y 8 se corresponden con valores promedio ponderados por superficie inferiores a 1.000 m<sup>3</sup>/Tn en los tres tipos de año. En cambio, las ZAH 5, 6 y 7 presentan valores mayores, superando a 1.000 m<sup>3</sup>/Tn. La ZAH 2 presenta valores sensiblemente superiores, que superan los 1.500 m<sup>3</sup>/Tn.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Trigo (m <sup>3</sup> /Tn)												
ZAH	Año Seco				Año Normal				Año Húmedo			
	Min.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Min.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Min.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.
Zona 2	930	2.540	1.494	<b>1.510</b>	932	2.541	1.497	<b>1.516</b>	931	2.540	1.497	<b>1.517</b>
Zona 3	470	1.000	658	<b>672</b>	470	1.001	658	<b>672</b>	470	1.001	658	<b>672</b>
Zona 4	619	1.664	947	<b>955</b>	620	1.664	940	<b>938</b>	620	1.665	940	<b>938</b>
Zona 5	911	1.092	1.019	<b>1.021</b>	912	1.092	1.019	<b>1.021</b>	911	1.093	1.019	<b>1.021</b>
Zona 6	765	1.278	1.058	<b>1.099</b>	765	1.278	1.058	<b>1.100</b>	765	1.278	1.058	<b>1.100</b>
Zona 7	702	1.640	1.126	<b>1.132</b>	702	1.639	1.139	<b>1.133</b>	703	1.639	1.137	<b>1.132</b>
Zona 8	759	1.084	822	<b>828</b>	758	1.083	831	<b>828</b>	758	1.083	831	<b>828</b>

**Tabla V-32 Huella Hídrica Verde por ZAH para cultivos de trigo**

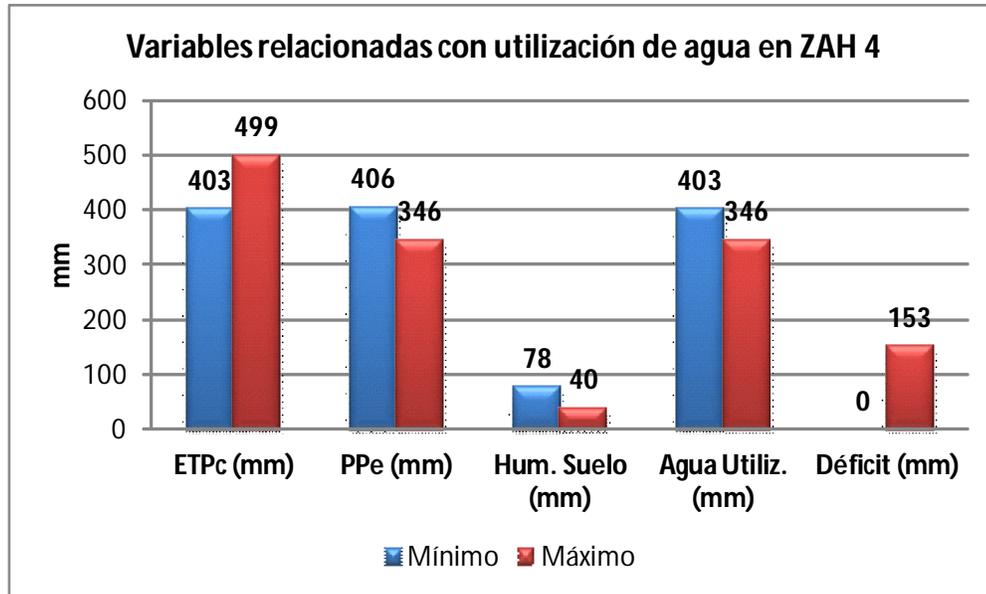
En la siguiente tabla se presenta el valor de la media simple de la huella hídrica verde de soja de primera para cada ZAH y para un año normal, junto a la desviación estándar y el coeficiente de variación. Esta última medida de variabilidad relativa de los valores estimados indica que, para todas las ZAH, la dispersión (valores entre 11% y 25%) puede considerarse como aceptable dado el carácter regional del análisis.

ZAH	Media (m <sup>3</sup> /Tn)	Desviación Estandar (m <sup>3</sup> /Tn)	Coficiente de Variación
Zona 2	1.497	306	20,4%
Zona 3	658	149	22,7%
Zona 4	940	230	24,5%
Zona 5	1.019	59	5,8%
Zona 6	1.058	155	14,6%
Zona 7	1.139	284	25,0%
Zona 8	831	94	11,3%

**Tabla V-33 Estadísticos de posición y dispersión para Huella Hídrica de año normal en Trigo**

Las dispersiones superiores observadas en algunas ZAH surgen de la combinación de diversos factores modelados por CropWat. El siguiente gráfico ejemplifica las variables de

entrada en relación a la utilización de agua por parte del cultivo. Los valores corresponden a la ZAH 4 (CV de 24,5%), cuyas huellas hídricas mínima y máxima estimadas para un año normal fueron de 620 m<sup>3</sup>/Tn y 1.664 m<sup>3</sup>/Tn respectivamente.



**Gráfico V-17. Diferencia entre variables relacionadas con la utilización del agua en trigo**

La huella hídrica mínima se corresponde con la ETPc y las precipitaciones de la Estación Azul (402,8 mm de ETPc y 406 mm de precipitación efectiva), y la serie de suelo Mar del Plata (cuya agua disponible en el perfil del suelo al momento de la siembra totaliza 78 mm para ese tipo de año).

La huella máxima se registró para la ETPc de Laprida (499 mm), precipitación efectiva de General Lamadrid (346 mm), y agua disponible en el perfil el día de siembra de 40 mm (serie de suelo La Delicia). Es decir, la huella es más alta con mayor ETPc, menores precipitaciones y menor agua útil disponible al momento de la siembra.

En consecuencia con estos datos, los resultados indican mayor utilización de agua y menor déficit para la zona de Azul (403 mm y 0 mm respectivamente) que en el caso de General Lamadrid (346 mm y 153 mm respectivamente).

La ausencia de déficit en la zona de Azul no provoca disminución del rendimiento máximo potencial esperado del 13% en la serie Mar del Plata, mientras que sobre la serie de suelo La Delicia en la zona de General Lamadrid, la disminución de rendimiento es de 31%. Los rendimientos máximos potenciales obtenidos por opinión experta (6.500 Kg/ha sobre la serie Mar del Plata y 3.000 Kg/ha en La Delicia), se apoyan en las características del perfil de la serie de suelo.

En tal sentido, la serie Mar del Plata, presenta una profundidad radicular sin limitantes, mientras que en Tres Arroyos el valor es de 47 cm. La humedad disponible para Mar del Plata es de 155 mm/metro de perfil, mientras que en el otro suelo es de 80 mm/metro. Por último, la tasa de infiltración máxima es de 32 mm/día para la serie Tandil, y de 25 mm/día para Tres Arroyos.

La siguiente tabla detalla los valores extremos de Huella Hídrica Verde para trigo en ZAH 4, junto a los valores de las variables y resultados mencionados en los párrafos precedentes.

ZAH	Tipo de Año	Valor	Huella Hídrica (m <sup>3</sup> /Tn)	ETPc (mm)	PPe (mm)	Hum. Suelo (mm)	Agua Utiliz. (mm)	Déficit (mm)	% Dimin. Rend.	Rend. Esper. (Tn/ha)
Zona 4	Normal	Mínimo	620	403	406	78	403	0	0%	6,500
		Máximo	1.664	499	346	40	346	153	31%	2,079

**Tabla V-34 Valores extremos de huella hídrica en ZAH 4 para trigo, y variables relacionadas**

Otro detalle que se observa en los resultados es que al aumentar las precipitaciones, se presenta un aumento de la huella hídrica en cada ZAH de similar magnitud al aumento relativo de la disponibilidad de agua. Esto se debe a que la tasa de variación de rendimiento es igual a la tasa de aumento de disponibilidad de agua cuando se pasa de un año seco a un año húmedo. Por ejemplo, en el polígono conformado por la ETPc de La Estación Meteorológica de Junín, las precipitaciones de Vedia y sobre la serie de suelo Santa Isabel (en ZAH 7) el valor de huella para año seco es de 838 m<sup>3</sup>/Tn, y en años normal y húmedo el valor estimado, es similar (con diferencias en los decimales). Este comportamiento se verifica en todos los polígonos, indicando que la tasa de incremento de las lluvias al pasar de años secos a húmedos es igual a la tasa de aumento de producción de trigo.

Para visualizar esta última afirmación, se presenta un ejemplo numérico sobre un polígono de la ZAH 8 (zona núcleo). La siguiente tabla contiene los datos y resultados. Los datos climáticos corresponden a la estación meteorológica de Junín. La serie de suelo también se denomina Junín, y de acuerdo a sus propiedades se estima un rendimiento máximo potencial de soja de 3 Tn/ha. La ETPc calculada por CropWat es de 461 mm. Las columnas de la tabla, de izquierda a derecha, presentan el tipo de año seco, normal y húmedo; el agua disponible total en el perfil del suelo en la fecha de siembra (ADT siembra), la precipitación efectiva y el agua total disponible. Los valores de esta columna, junto a la de agua utilizada por la planta, aumentan conforme pasamos de año seco a años con mayores lluvias. Dado que la ETPc es constante, con el aumento del uso de agua disminuyen el déficit y el porcentaje de disminución de rendimiento, aumentando el rendimiento esperado a cosecha. La última columna contiene los valores respectivos de Huella Hídrica Verde, la cual se

mantiene prácticamente constante conforme aumentan la cantidad de agua utilizada por el cultivo y el rendimiento.

Calculo de Huella Hídrica en Trigo (ETPc = 4.610 m <sup>3</sup> /ha - Rend. Máx. Pot.= 5,2 Tn/ha)								
Tipo de Año	ADT siembra (m <sup>3</sup> /ha)	P. Efect. (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Total (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Usada (m <sup>3</sup> /ha)	Deficit H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> /ha)	% Dism. Rend.	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hidrica Verde (m <sup>3</sup> /Tn)
Seco	196	3.369	3.565	3.090	3.223	33,0%	3,484	887
	245	3.512	3.757	3.259	3.054	29,3%	3,676	886
	294	3.656	3.950	3.428	2.885	25,6%	3,869	886
	343	3.796	4.139	3.592	2.721	22,1%	4,051	887
	392	3.941	4.333	3.756	2.557	18,5%	4,238	886
	441	4.087	4.528	3.918	2.395	15,0%	4,420	886
Normal	490	4.086	4.576	3.991	2.322	13,4%	4,503	886
	539	4.241	4.780	4.154	2.159	9,9%	4,685	887
	588	4.398	4.986	4.311	2.002	6,5%	4,862	887
	637	4.557	5.194	4.453	1.860	3,4%	5,023	886
	686	4.713	5.399	4.565	1.748	1,0%	5,148	887
	735	4.872	5.607	4.609	1.704	0,0%	5,200	886
Húmedo	784	4.871	5.655	4.610	1.703	0,0%	5,200	887

Tabla V-35 Ejemplo de aumento de Huella Hídrica Verde del trigo frente al aumento de lluvias

En el siguiente gráfico se representan los aumentos de agua disponible total al pasar de años secos a húmedos (línea superior), de agua utilizada (línea inferior) y de rendimiento (línea intermedia). Se observa gráficamente que la pendiente de la línea intermedia (rendimiento) replica la pendiente de la línea de agua utilizada (línea inferior).

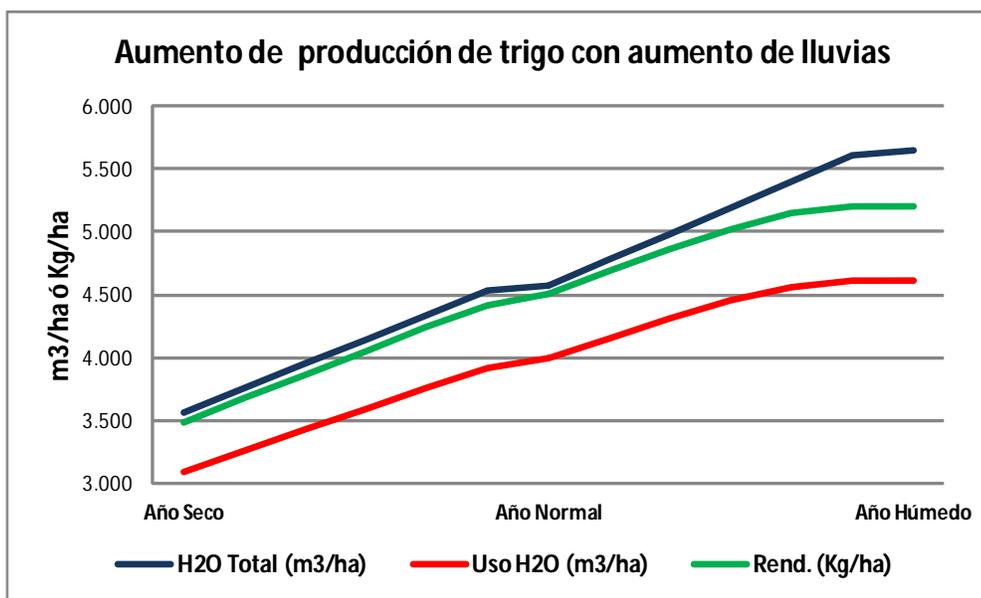


Gráfico V-18. Comparación de pendientes entre aumentos de humedad y rendimiento para cultivos de trigo

Estos resultados se derivan de la función de incremento frente a la disminución del déficit de humedad utilizada por CropWat. Para trigo, el programa asume que esta función posee un factor de incremento igual a la unidad, es decir, aumento de rendimiento del 1% por cada 1% de aumento de agua disponible.

Al comparar directamente los valores extremos de la tabla anterior (año tipo seco con año tipo húmedo) se observa que, debido al aumento de las precipitaciones, el cultivo utiliza un 49% más de agua, mientras que el rendimiento esperado (inferior al máximo potencial en ambos casos, debido a que el agua disponible es inferior a la demanda potencial del cultivo) se incrementa también un 49% entre ambos años, tal como se indica en la tabla siguiente.

Estación Meteo.	Serie de Suelo	Rend. Máx. (Tn/ha)	ETPc (m <sup>3</sup> /ha)	Tipo de Año	Uso H <sub>2</sub> O Actual (m <sup>3</sup> /ha)	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hídrica (m <sup>3</sup> /Tn)
Junin	Junin	5,200	4.610	Seco	3.090	3,484	887
				Húmedo	4.610	5,200	887
<b>Diferencia porcentual de año seco a húmedo</b>					<b>49%</b>	<b>49%</b>	<b>0%</b>

**Tabla V-36 Ejemplo de diferencias de Huella Hídrica Verde entre año seco y húmedo para trigo**

Partiendo de la definición de Huella Hídrica verde como el cociente entre el uso actual del agua (numerador) y el rendimiento esperado (denominador), debido a que el numerador presenta un idéntico incremento porcentual que el denominador (49%), la Huella Hídrica mantiene el mismo valor, independientemente del año tipo del que se trate, dentro del intervalo definido por año seco y año húmedo.

A partir de los resultados logrados por ZAH se estimó la Huella Hídrica Verde de trigo en la Provincia de Buenos Aires como promedio ponderado por superficie de polígonos y producción en cada ZAH (Prom.P.S y P.), tal como se detalla en la siguiente tabla. Los resultados indican una Huella de 919 m<sup>3</sup>/Tn para los tres tipos de año analizados.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Trigo en Pcia. de Bs. As. (m <sup>3</sup> /Tn)							
ZAH	Producción (Tn/año)	Año Seco		Año Normal		Año Húmedo	
		Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
Zona 2	801.793	1.510	<b>919</b>	1.516	<b>919</b>	1.517	<b>919</b>
Zona 3	3.090.108	672		672			
Zona 4	663.352	955		938			
Zona 5	340.333	1.021		1.021			
Zona 6	489.508	1.099		1.100			
Zona 7	983.135	1.132		1.133			
Zona 8	648.851	828		828			

**Tabla V-37 Huella Hídrica Verde para trigo en Provincia de Buenos Aires**

Con estos valores estimados se realizó una comparación con el valor de la WFN Apéndice observándose lo siguiente:

Comparación de Huella Hídrica Verde estimada con valor de WFN (m <sup>3</sup> /Tn)					
Trigo WFN	Trigo Min Calculado	Trigo Max Calculado	Prom. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
1.595	470	2.541	1.021	1.030	919

**Tabla V-38 Comparación de Huella Hídrica Verde de Trigo**

Para el caso del trigo, el valor calculado por la WFN es superior al valor promedio simple (1.021 m<sup>3</sup>/Tn) y al promedio ponderado por superficies de polígonos (1.030 m<sup>3</sup>/Tn). Si se toma el valor promedio ponderado por producción (919 m<sup>3</sup>/Tn), se observa que el valor de la WFN (1.595 m<sup>3</sup>/Tn) es un 73% más alto que el calculado.

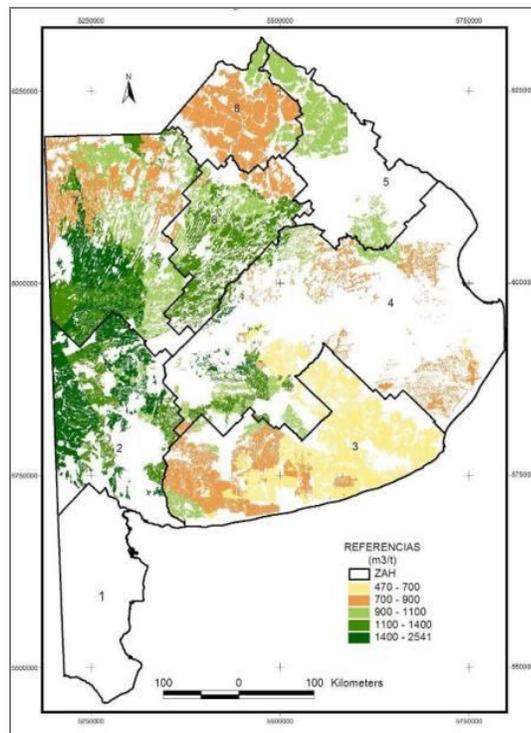
Por último al realizar la correlación entre el Índice de Productividad (IP) por región y las Huellas Hídricas calculadas por periodo, se observa que en todos los casos hay correlación negativa entre ambas, lo que indica que al disminuir la calidad del suelo, aumenta la Huella Hídrica. Estos valores siguen la misma tendencia que los cultivos anteriores, aunque la correlación es más baja que en los cultivos previos.

Correlations			
		7IP	3HHTH
7IP	Pearson Correlation	1	-,451**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
3HHTH	Pearson Correlation	-,451**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

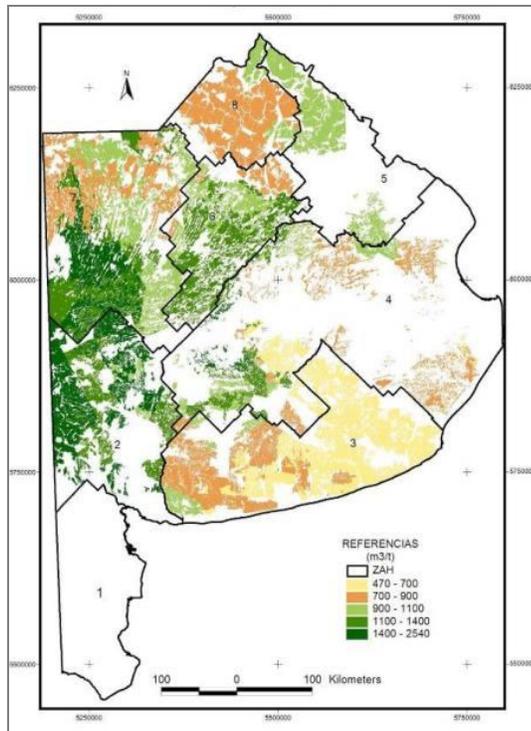
Correlations			
		7IP	3HHTN
7IP	Pearson Correlation	1	-,449**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
3HHTN	Pearson Correlation	-,449**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

Correlations			
		7IP	3HHTS
7IP	Pearson Correlation	1	-,446**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
3HHTS	Pearson Correlation	-,446**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

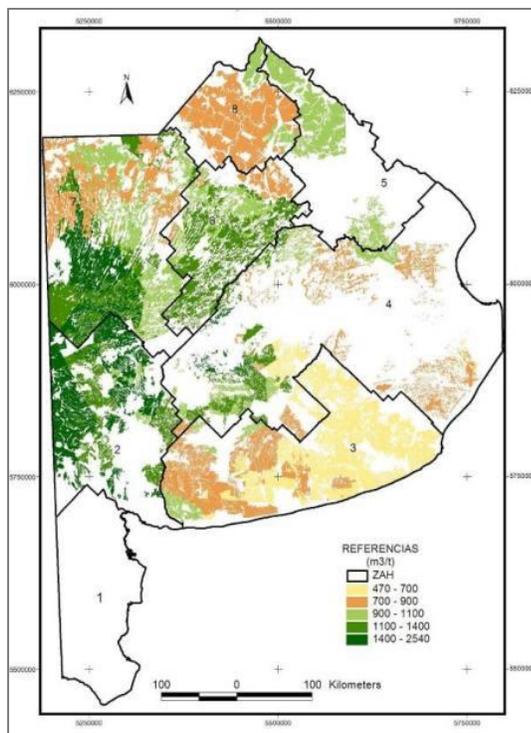
## 12) Mapas síntesis de resultados de Trigo



**Mapa 73. Trigo. Huella Hídrica verde. Período normal**



**Mapa 74. Trigo. Huella Hídrica verde. Período húmedo**



**Mapa 75. Trigo. Huella Hídrica verde. Período seco**

### 13) Anova de las Huellas Hídricas para Trigo por región

Se realizó el análisis de varianza para las situaciones hídricas estudiadas para visualizar si eran significativamente diferentes para las distintas regiones. Asimismo se realizó el Post hoc (Test de Tukey), donde se observa para cada condición hídrica, cuáles Huellas Hídricas pueden agruparse en las distintas regiones, al no mostrar diferencias significativas. Lo expresado se presenta a continuación.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
HHTH	Inter-grupos	24.656.353,42	6	4109392,236	85,168	,000
	Intra-grupos	17.997.378,05	373	48250,343		
	Total	42.653.731,47	379			
HHTN	Inter-grupos	24.717.141,56	6	4119523,593	85,579	,000
	Intra-grupos	17.955.195,66	373	48137,254		
	Total	42.672.337,21	379			
HHTS	Inter-grupos	24.472.798,62	6	4078799,770	85,180	,000
	Intra-grupos	17.860.875,09	373	47884,384		
	Total	42.333.673,72	379			

#### Subconjuntos homogéneos

HHTH						
HSD de						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
3	68	658,0				
8	39		830,60			
4	70		940,19	940,19		
5	30			1.018,86	1.018,86	
6	37			1.058,31	1.058,31	
7	81				1.136,55	
2	55					1.501,39
Sig.		1,0	0,18	0,12	0,12	1,00

HHTN						
HSD de						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
3	68	658,0				
8	39		830,51			
4	70		939,94	939,94		
5	30			1.018,83	1.018,83	
6	37			1.058,20	1.058,20	
7	81				1.139,40	
2	55					1.501,41
Sig.		1,0	0,18	0,12	0,10	1,00

HHTS						
HSD de						
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
3	68	657,9				
8	39		830,59			
4	70		947,00	947,00		
5	30			1.018,92	1.018,92	
6	37			1.058,13	1.058,13	
7	81				1.139,06	
2	55					1.498,34
Sig.		1,0	0,13	0,17	0,10	1,00

**Tabla V-39: Tablas de ANOVA para las Huellas Hídricas de Trigo**

### I.-Resultados de cálculo del Modelo CropWat para el Cultivos de Girasol

En la siguiente tabla se presentan las Huellas Hídricas Verde por ZAH, promedio simple y promedio ponderado por superficie de polígonos. En la primera columna de la tabla se indica la ZAH; luego, para cada tipo de año (seco, normal o húmedo), de izquierda a derecha se indican valor mínimo (Mín.) y máximo (Máx.) estimados, valor promedio simple (Prom. Simple) y valor promedio ponderado por superficie de cada polígono incluido (Prom. P. S.).

Se observan tres grupos de resultados: ZAH 3, 4, 5, 6 y 7 se corresponden con valores promedio ponderados por superficie de carácter intermedio, mayores a 2.300 m<sup>3</sup>/Tn en años seco y normal, y superior a 2.400 m<sup>3</sup>/Tn en año húmedo, pero en todos los casos inferior a 3.000 m<sup>3</sup>/Tn. En cambio, la ZAH 2 presenta valores mayores, superando los 3.500 m<sup>3</sup>/Tn en los tres tipos de años. La ZAH 8 presenta valores sensiblemente inferiores, que no superan los 1.900 m<sup>3</sup>/Tn.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Girasol (m <sup>3</sup> /Tn)												
ZAH	Año Seco				Año Normal				Año Húmedo			
	Min.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Min.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.	Min.	Máx.	Prom. Simple	Prom. P. S.
Zona 2	1.657	8.162	3.413	<b>3.531</b>	1.690	8.387	3.432	<b>3.570</b>	1.707	8.566	3.510	<b>3.630</b>
Zona 3	1.478	4.264	2.514	<b>2.622</b>	1.511	4.440	2.567	<b>2.677</b>	1.523	4.519	2.593	<b>2.703</b>
Zona 4	1.661	7.414	2.869	<b>2.863</b>	1.700	7.461	2.934	<b>2.916</b>	1.712	7.513	2.957	<b>2.939</b>
Zona 5	2.019	2.787	2.424	<b>2.431</b>	2.059	2.847	2.473	<b>2.479</b>	2.080	2.858	2.489	<b>2.496</b>
Zona 6	1.673	3.232	2.304	<b>2.355</b>	1.689	3.281	2.338	<b>2.390</b>	1.702	3.307	2.356	<b>2.409</b>
Zona 7	1.646	4.302	2.762	<b>2.780</b>	1.692	4.334	2.792	<b>2.809</b>	1.695	4.367	2.813	<b>2.828</b>
Zona 8	1.644	2.713	1.864	<b>1.850</b>	1.675	2.767	1.898	<b>1.883</b>	1.687	2.786	1.910	<b>1.894</b>

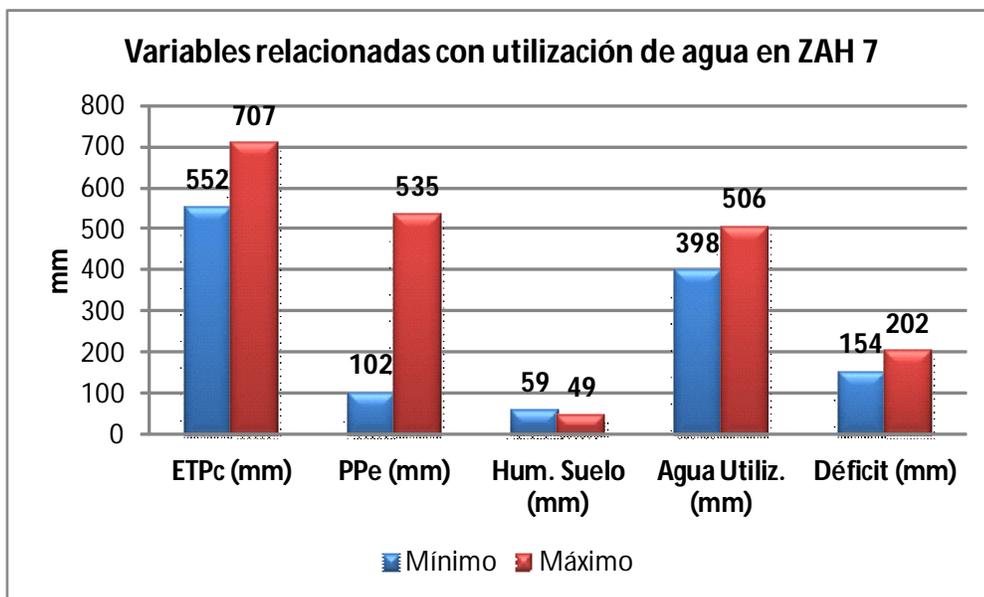
**Tabla V-40 Huella Hídrica Verde por ZAH para cultivos de girasol**

En la siguiente tabla se presenta el valor de la media simple de la huella hídrica verde del girasol en cada ZAH para un año normal, junto a la desviación estándar y el coeficiente de variación. Esta última medida de variabilidad relativa de los valores estimados indica que para las ZAH 5, 6 y 8 la dispersión es aceptable (valores entre 11% y 22%), mientras que para las ZAH 2, 3 y 7 se presenta mayor dispersión (coeficientes de variación superiores a 30%). La ZAH 4, con 47,8% presenta una alta dispersión entre sus valores de huella hídrica estimados.

ZAH	Media (m <sup>3</sup> /Tn)	Desviación Estandar (m <sup>3</sup> /Tn)	Coefficiente de Variación
Zona 2	3.432	1.148	33,5%
Zona 3	2.567	860	33,5%
Zona 4	2.934	1.402	47,8%
Zona 5	2.473	274	11,1%
Zona 6	2.338	509	21,8%
Zona 7	2.792	891	31,9%
Zona 8	1.898	321	16,9%

**Tabla V-41 Estadísticos de posición y dispersión para Huella Hídrica de año normal en Girasol**

Las dispersiones superiores observadas en algunas ZAH surgen de la combinación de diversos factores modelados por CropWat. El siguiente gráfico ejemplifica las variables de entrada en relación a la utilización de agua por parte del cultivo. Los valores corresponden a la ZAH 7 (CV de 31,9%), cuyas huellas hídricas mínima y máxima estimadas para un año normal fueron de 1.692 m<sup>3</sup>/Tn y 4.334 m<sup>3</sup>/Tn respectivamente.



**Gráfico V-19. Diferencia entre variables relacionadas con la utilización del agua en girasol**

La huella hídrica mínima se corresponde con la ETPc y las precipitaciones de la Estación Pehuajó (552 mm de ETPc y 416 mm de precipitación efectiva), y la serie de suelo Ortiz de Rosa (cuya agua disponible en el perfil del suelo al momento de la siembra totaliza 59 mm para ese tipo de año).

La huella máxima se corresponde con la ETPc y las precipitaciones de la Estación Trenque Lauquen (707 mm de ETPc y 535 mm de precipitación efectiva), y agua disponible en el perfil el día de siembra de 49 mm (serie de suelo Piedritas). Es decir, la huella es más alta con mayor ETPc y menor agua útil disponible al momento de la siembra (y otros factores del suelo detallados más abajo), pero con mayores precipitaciones.

En consecuencia con estos datos, los resultados indican menor utilización de agua, pero menor déficit para la zona de Pehuajó (398 mm y 154 mm respectivamente) que en el caso de Trenque Lauquen (506 mm y 202 mm respectivamente).

El déficit registrado en cada caso provoca una disminución del rendimiento máximo potencial esperado del 26,1% en la serie Ortiz de Rosas y de 27,3% en la serie Piedritas. Los rendimientos máximos potenciales obtenidos por opinión experta (3.200 Kg/ha sobre la serie Ortiz de Rosas y 1.600 Kg/ha en Piedritas), se apoyan en las características del perfil de la serie de suelo.

En tal sentido, la serie Ortiz de Rosas presenta una profundidad radicular de 35 mm, mientras que en Piedritas el valor es de 80 cm. La humedad disponible para Ortiz de Rosas es de 118 mm/metro de perfil, mientras que en el otro suelo es de 97 mm/metro. Por último,

la tasa de infiltración máxima es de 28 mm/día para la serie Ortiz de Rosa, y de 36 mm/día para Piedritas.

Nótese que pese, a presentarse déficit sensiblemente diferentes entre ambas zonas en un año normal, la disminución en rendimiento es similar, resultado explicado porque en la zona de Pehuajó, el suelo presenta muy escasa profundidad y menor tasa de infiltración que en la zona de Trenque Lauquen. No obstante ello, la huella hídrica es muy superior en esta última zona, pues la utilización de agua es mayor (506 vs. 398), con rendimiento muy inferior (1.166 Kg/ha) respecto a la otra zona (2.352 Kg/ha).

La siguiente tabla detalla los valores extremos de Huella Hídrica verde para girasol en ZAH 7, junto a los valores de las variables y resultados mencionados en los párrafos precedentes.

ZAH	Tipo de Año	Valor	Huella Hídrica (m <sup>3</sup> /Tn)	ETPc (mm)	PPe (mm)	Hum. Suelo (mm)	Agua Utiliz. (mm)	Déficit (mm)	% Dimin. Rend.	Rend. Esper. (Tn/ha)
Zona 7	Normal	Mínimo	1.692	552	416	59	398	154	27%	2,352
		Máximo	4.334	707	535	49	506	202	27%	1,166

**Tabla V-42 Valores extremos de huella hídrica en ZAH 7 para girasol, y variables relacionadas**

Otro detalle que se observa en los resultados es el aumento de la huella hídrica en cada ZAH para años con mayores precipitaciones. Esto se debe a que la tasa de variación de rendimiento es inferior al aumento de la disponibilidad de agua cuando se pasa de un año seco a un año húmedo. Por ejemplo, en el polígono conformado por la ETPc de La Estación Meteorológica de Junín, las precipitaciones de Vedia y sobre la serie de suelo Santa Isabel (en ZAH 7) el valor de la huella para año seco es de 1.988 m<sup>3</sup>/Tn, mientras que en año normal es ligeramente superior (2.022 m<sup>3</sup>/Tn) y mayor aún para año húmedo (2.033 m<sup>3</sup>/Tn). Este comportamiento se verifica en todos los polígonos, indicando que la tasa de incremento de las lluvias al pasar de años secos a húmedos supera la tasa de aumento de producción de girasol.

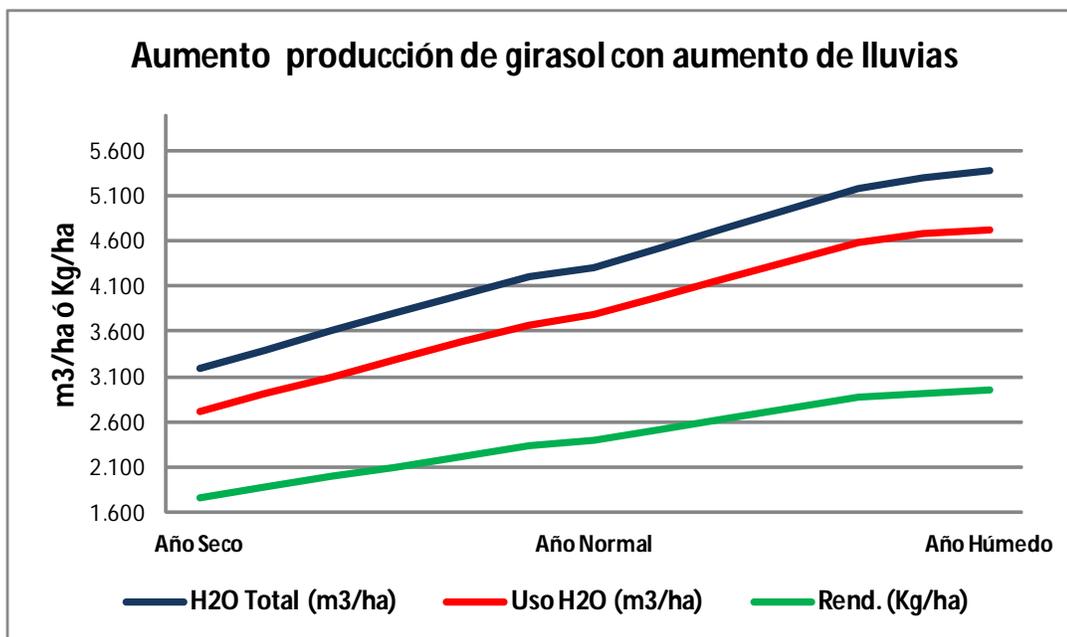
Para visualizar esta última afirmación, se presenta un ejemplo numérico sobre un polígono de la ZAH 3. La siguiente tabla contiene los datos y resultados. Los datos climáticos corresponden a las estaciones meteorológicas de Balcarce para la ET<sub>o</sub> y San Agustín para las lluvias. La serie de suelo se denomina Mar del Plata, y de acuerdo a sus propiedades se estima un rendimiento máximo potencial de soja de 3,2 Tn/ha. La ETPc calculada por CropWat es de 514 mm. Las columnas de la tabla, de izquierda a derecha, presentan el tipo de año seco, normal y húmedo; el agua disponible total en el perfil del suelo en la fecha de

siembra (ADT siembra), la precipitación efectiva y el agua total disponible. Los valores de esta columna, junto a la de agua utilizada por la planta, aumentan conforme pasamos de año seco a años con mayores lluvias. Dado que la ETPc es constante, con el aumento del uso de agua disminuyen el déficit y el porcentaje de disminución de rendimiento, aumentando el rendimiento esperado a cosecha. La última columna contiene los valores respectivos de Huella Hídrica Verde, la cual aumenta conforme aumentan la cantidad de agua utilizada por el cultivo y el rendimiento.

Calculo de Huella Hídrica en Girasol (ETPc = 5.144 m <sup>3</sup> /ha - Rend. Máx. Pot.= 3,2 Tn/ha)								
Tipo de Año	ADT siembra (m <sup>3</sup> /ha)	P. Efect. (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Total (m <sup>3</sup> /ha)	H <sub>2</sub> O Usada (m <sup>3</sup> /ha)	Deficit H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> /ha)	% Dism. Rend.	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hidrica Verde (m <sup>3</sup> /Tn)
Seco	310	2.884	3.194	2.707	3.606	45,0%	1,760	1.538
	388	3.011	3.399	2.902	3.411	41,4%	1,875	1.548
	465	3.135	3.600	3.096	3.217	37,8%	1,990	1.555
	543	3.258	3.801	3.289	3.024	34,3%	2,102	1.564
	620	3.385	4.005	3.483	2.830	30,7%	2,218	1.571
	698	3.508	4.206	3.673	2.640	27,2%	2,330	1.577
Normal	775	3.529	4.304	3.794	2.519	24,9%	2,403	1.579
	853	3.672	4.525	3.994	2.319	21,2%	2,522	1.584
	930	3.813	4.743	4.192	2.121	17,6%	2,637	1.590
	1.008	3.955	4.963	4.387	1.926	14,0%	2,752	1.594
	1.085	4.099	5.184	4.580	1.733	10,4%	2,867	1.597
	1.163	4.136	5.299	4.670	1.643	8,8%	2,918	1.600
Húmedo	1.240	4.132	5.372	4.722	1.591	7,8%	2,950	1.600

**Tabla V-43 Ejemplo de aumento de Huella Hídrica verde del girasol frente al aumento de lluvias**

En el siguiente gráfico se representan los aumentos de agua disponible total al pasar de años secos a húmedos (línea superior), de agua utilizada (línea intermedia) y de rendimiento (línea inferior). Se observa gráficamente que la pendiente de la línea inferior (rendimiento) es menor que las líneas de aumentos de agua disponible y utilizada.



**Gráfico V-20 Comparación de pendientes entre aumentos de humedad y rendimiento para cultivos de girasol**

Estos resultados se derivan de la función de incremento frente a la disminución del déficit de humedad utilizada por CropWat. Para girasol, el programa asume que esta función posee un factor de incremento menor a la unidad; concretamente de 0,95 de aumento de rendimiento por cada unidad de aumento de agua disponible.

Al comparar directamente los valores extremos de la tabla anterior (año tipo seco con año tipo húmedo) se observa que debido al aumento de las precipitaciones, el cultivo utiliza un 74% más de agua, mientras que el rendimiento esperado (inferior al máximo potencial en ambos casos, debido a que el agua disponible es inferior a la demanda potencial del cultivo) se incrementa en un 68% entre ambos años, tal como se indica en la tabla siguiente.

Estación Meteo. Eto	Estación Meteo. Lluvias	Serie de Suelo	Rend. Máx. (Tn/ha)	ETPc (m³/ha)	Tipo de Año	Uso H <sub>2</sub> O Actual (m³/ha)	Rend. Esperado (Tn/ha)	Huella Hídrica (m³/Tn)
Balcarce	San Agustín	Mar del Plata	3,200	5.144	Seco	2.707	1,76	1.538
					Húmedo	4.722	2,950	1.600
<b>Diferencia porcentual de año seco a húmedo</b>						<b>74%</b>	<b>68%</b>	<b>4,1%</b>

**Tabla V-44 Ejemplo de diferencias de Huella Hídrica verde entre año seco y húmedo para girasol**

Nuevamente, a partir de la definición de Huella Hídrica verde como el cociente entre el uso actual del agua (numerador) y el rendimiento esperado (denominador), se observa que el numerador presenta un mayor incremento porcentual que el denominador (74% vs 68%), y la Huella Hídrica verde aumenta desde el año tipo seco al año tipo húmedo en un 4,1%.

A partir de los resultados logrados por ZAH se estimó la Huella Hídrica verde del girasol en la provincia de Buenos Aires como promedio ponderado por superficie de polígonos y producción en cada ZAH (Prom. P.S. y P.), tal como se detalla en la siguiente tabla. Los resultados indican una Huella de 2.825 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo seco”, 2.870 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo normal” y 2.901 m<sup>3</sup>/Tn para “año tipo húmedo”. La diferencia relativa entre año seco y húmedo indica que la huella en año húmedo es apenas 2,7% superior a la estimada para año seco.

Huella Hídrica Verde para el cultivo de Girasol en Pcia. de Bs. As. (m <sup>3</sup> /Tn)							
ZAH	Producción (Tn/año)	Año Seco		Año Normal		Año Húmedo	
		Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
Zona 2	350.636	3.531	2.825	3.570	2.870	3.630	2.901
Zona 3	813.864	2.622		2.677		2.703	
Zona 4	156.224	2.863		2.916		2.939	
Zona 5	38.164	2.431		2.479		2.496	
Zona 6	65.714	2.355		2.390		2.409	
Zona 7	373.307	2.780		2.809		2.828	
Zona 8	25.971	1.850		1.883		1.894	

**Tabla V-45 Huella Hídrica Verde para girasol en Provincia de Buenos Aires**

Con estos valores estimados se realizó una comparación con el valor de la WFN, Apéndice II. Se puede observar lo siguiente:

Comparación de Huella Hídrica Verde estimada con valor de WFN (m <sup>3</sup> /Tn)					
Girasol WFN	Girasol Min Calculado	Girasol Max Calculado	Prom. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. (m <sup>3</sup> /Tn)	Prom. P. S. y P. (m <sup>3</sup> /Tn)
2.784	1.511	8.387	2.714	2.675	2.870

**Tabla V-46 Comparación de Huella Hídrica Verde de girasol**

Para el caso del girasol se observa que el valor calculado por la WFN es superior al valor promedio simple (2.714 m<sup>3</sup>/Tn) y al promedio ponderado por superficies de polígonos (2.675 m<sup>3</sup>/Tn), calculados para el año normal. Si se toma el valor promedio ponderado por producción (2.870 m<sup>3</sup>/Tn), se observa que el valor de la WFN (2.784 m<sup>3</sup>/Tn) es un 3% inferior al calculado.

La mayor huella obtenida en nuestros cálculos se debe a la ponderación por producción en las ZAH. Las ZAH 2, 4 y 7 concentran el 48% de la producción anual, con huellas hídricas

superiores a 2.800 m<sup>3</sup>/Tn, mientras que las ZAH 5, 6 y 8, con huellas inferiores a 2.500 m<sup>3</sup>/Tn, contribuyen a la producción provincial con sólo el 7% de las toneladas anuales.

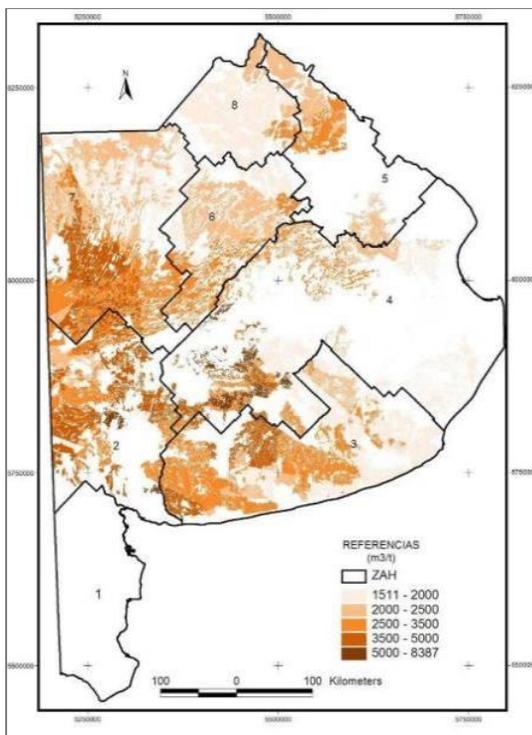
Por último al realizar la correlación entre el Índice de Productividad (IP) por región y las Huellas Hídricas calculadas por periodo, se observa que en todos los casos hay correlación negativa entre ambas, lo que indica que al disminuir la calidad del suelo, aumenta la Huella Hídrica. Estos valores siguen la misma tendencia que los cultivos anteriores, aunque la correlación constante entre periodos y más alta que en los cultivos previos.

Correlations			
		7IP	4HHGH
7IP	Pearson Correlation	1	-,699**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
4HHGH	Pearson Correlation	-,699**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

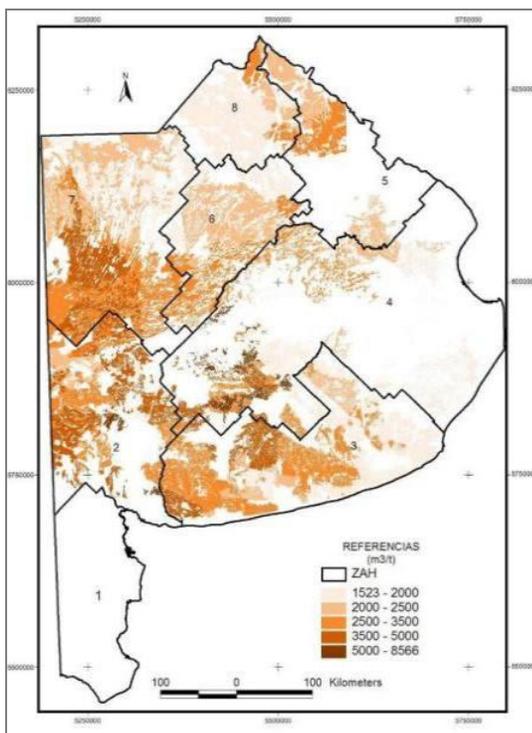
Correlations			
		7IP	4HHGN
7IP	Pearson Correlation	1	-,703**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
4HHGN	Pearson Correlation	-,703**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

Correlations			
		7IP	4HHGS
7IP	Pearson Correlation	1	-,698**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	380	380
4HHGS	Pearson Correlation	-,698**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	380	380

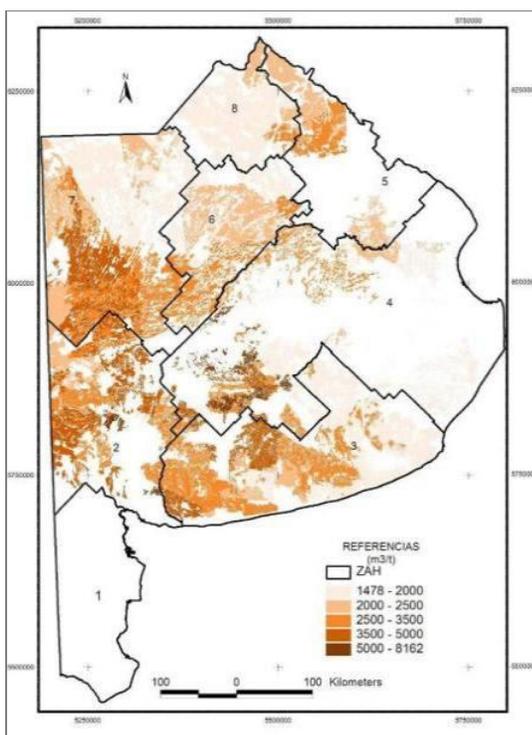
#### 14) Mapas síntesis de resultados de Girasol



**Mapa 76. Girasol. Huella Hídrica verde. Período normal**



**Mapa 77. Girasol. Huella Hídrica verde. Período húmedo**



**Mapa 78. Girasol. Huella Hídrica verde. Período seco**

1) Anova de las Huellas Hídricas para Girasol por región

Se realizó el análisis de varianza para las situaciones hídricas estudiadas para visualizar si eran significativamente diferentes para las distintas regiones. Asimismo se realizó el Post hoc (Test de Tukey), donde se observa para cada condición hídrica, cuáles Huellas Hídricas pueden agruparse en las distintas regiones, al no mostrar diferencias significativas. Lo expresado se presenta a continuación.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
HHGH	Inter-grupos	73.168.780	6,0	12.194.796,7	13,3	0,0
	Intra-grupos	343.155.479	373,0	919.987,9		
	Total	416.324.260	379,0			
HHGN	Inter-grupos	67.619.226	6,0	11.269.871,0	12,5	0,0
	Intra-grupos	336.022.695	373,0	900.865,1		
	Total	403.641.921	379,0			
HHGS	Inter-grupos	68.853.305	6,0	11.475.550,8	13,2	0,0
	Intra-grupos	323.831.661	373,0	868.181,4		
	Total	392.684.966	379,0			

Subconjuntos homogéneos					
HHGH					
HSD de					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	1.910,21			
6	37	2.355,86	2.355,9		
5	30	2.488,88	2.488,9	2.488,9	
3	68		2.593,0	2.593,0	
7	81		2.813,1	2.813,1	
4	70			2.956,9	2.956,9
2	55				3.523,6
Sig.		0,05	0,2	0,2	0,1

Subconjuntos homogéneos					
HHGN					
HSD de					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	1.898,26			
6	37	2.338,20	2.338,2		
5	30		2.472,5	2.472,5	
3	68		2.567,4	2.567,4	
7	81		2.792,0	2.792,0	
4	70			2.933,8	2.933,8
2	55				3.444,6
Sig.		0,26	0,2	0,2	0,1

Subconjuntos homogéneos					
HHGS					
HSD de					
3Reg	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
8	39	1.863,62			
6	37	2.303,95	2.304,0		
5	30	2.424,33	2.424,3	2.424,3	
3	68		2.514,1	2.514,1	
7	81		2.763,3	2.763,3	
4	70			2.877,9	2.877,9
2	55				3.424,9
Sig.		0,05	0,2	0,2	0,1

Tabla V-47: Tablas de ANOVA para las Huellas Hídricas de Girasol

## 9º. - Resumen de Resultados y Conclusiones

Se calculó mediante el uso del software CropWat la Huella Hídrica Verde para cultivos de girasol, maíz, soja de primera ocupación y trigo en 380 polígonos de la provincia de Buenos Aires, distribuidos en las ZAH 2 a 8, cubriendo un área de suelos agrícolas de 11.660.044 ha, y considerando precipitaciones de años secos, normales y húmedos. En total se estimaron 4.560 valores de huella hídrica, correspondiendo 1.140 a cada cultivo. La siguiente tabla contiene los valores medios para la provincia, ponderados por superficie de polígonos y por la importancia productiva de cada ZAH en los cultivos respectivos. Se incluye en la tabla el valor estimado por WFN como parámetro de referencia.

Comparación de Huella Hídrica Verde estimada con valor de WFN (m <sup>3</sup> /Tn)							
Cultivo	Año Tipo	Maíz WFN (Valor de Referencia)	Huella Min. Calculada	Huella Max. Calculada	Prom. Simple	Prom. Pond. Sup.	Prom. Pond. Sup. y Produc.
Maíz	Seco	1.063	473	5.159	1.005	965	834
	Normal		462	4.008	907	875	771
	Húmedo		455	3.436	858	831	738
Soja 1ra	Seco	2.090	1.044	2.733	1.586	1.570	1.496
	Normal		1.097	2.905	1.654	1.634	1.553
	Húmedo		1.126	3.076	1.694	1.678	1.591
Trigo	Seco	1.595	470	2.541	1.022	1.031	919
	Normal		470	2.541	1.021	1.030	919
	Húmedo		470	2.540	1.021	1.030	919
Girasol	Seco	2.784	1.478	8.162	2.673	2.633	2.825
	Normal		1.511	8.387	2.714	2.675	2.870
	Húmedo		1.523	8.566	2.743	2.700	2.901

**Tabla V-48 Huellas Hídricas Verdes promedio ponderado por cultivo en Provincia de Buenos Aires**

Se observa, para los cultivos de maíz, soja y trigo, un menor valor de huella hídrica verde estimada en este trabajo en relación al respectivo valor del WFN, incluso para los tres tipos de años considerados en cuanto a las precipitaciones (seco, normal o húmedo). Comparando con el promedio ponderado por superficie y producción (771 m<sup>3</sup>/Tn en maíz; 1.553 m<sup>3</sup>/Tn en soja de primera, y 919 m<sup>3</sup>/Tn en trigo) el valor del WNF es superior al estimado en el presente trabajo en un 38%, 35% y 73% respectivamente para maíz, soja de primera y trigo.

Para el caso del girasol se observa que el valor calculado por la WFN es superior al valor promedio simple (2.714 m<sup>3</sup>/Tn) y al promedio ponderado por superficies de polígonos (2.675 m<sup>3</sup>/Tn), calculados para el año normal. Si se toma el valor

promedio ponderado por producción ( $2.870 \text{ m}^3/\text{Tn}$ ), se observa que el valor del la WFN ( $2.784 \text{ m}^3/\text{Tn}$ ) es un 3% inferior al calculado.

La mayor huella obtenida en los cálculos para el girasol se debe a la ponderación por producción en las ZAH. Las ZAH 2, 4 y 7 concentran el 48% de la producción anual, con huellas hídricas superiores a  $2.800 \text{ m}^3/\text{Tn}$ , mientras que las ZAH 5, 6 y 8, con huellas inferiores a  $2.500 \text{ m}^3/\text{Tn}$ , contribuyen a la producción provincial con sólo el 7% de las toneladas anuales. Esta distribución irregular de la producción de girasol en la provincia se ha acentuado en los últimos años, siendo desplazado este cultivo a sitios de menor rendimiento (y mayor huella hídrica) por el avance de la soja.

En los resultados de la tabla anterior también puede observarse como el maíz, con menores valores de Huella Hídrica Verde, utiliza el agua de forma más eficiente que otros cultivos, especialmente cuando se lo compara con el trigo, el cual se beneficia de una menor evapotranspiración por su período de desarrollo durante los meses de invierno-primavera, mientras que maíz, soja y girasol son cultivos de verano.

Este resultado para el maíz en comparación con los otros cultivos se encuentra ampliamente documentado, pues desde la década del '60 se demostró que el maíz (como también otras especies) presentan menores requerimientos hídricos por tonelada de cosecha al disponer de una vía de fotosíntesis de mayor rendimiento (fotosíntesis C4).

Otro detalle que caracteriza a la producción del maíz en relación al suministro de agua queda en evidencia al observarse que la huella hídrica disminuye al observarse años con mayores precipitaciones. Por ejemplo, observando la columna final en la tabla anterior (promedio ponderado por superficie y producción) el valor de huella estimado para año seco es de  $834 \text{ m}^3/\text{Tn}$ , mientras que en año normal es ligeramente inferior ( $771 \text{ m}^3/\text{Tn}$ ) y menor aún para año húmedo ( $738 \text{ m}^3/\text{Tn}$ ). Este comportamiento indica que la tasa de aumento de producción del maíz supera la tasa de incremento de las lluvias al pasar de años secos a húmedos.

Por el contrario, soja y girasol presentan comportamientos inversos al maíz, indicando que frente a un aumento de las precipitaciones, la producción aumenta, pero a una tasa inferior, mientras que el trigo exhibe un comportamiento peculiar, al presentar una tasa de incremento de producción de similar valor a la tasa de

incremento de humedad en el suelo, evidenciado en los valores de huella hídrica de similar magnitud entre años húmedos, normales y secos.

Estos resultados se derivan de la función de incremento de producción utilizada por CropWat frente a la disminución del déficit de humedad por aumento de precipitaciones. Para cultivos de maíz, el programa asume un factor de incremento mayor a la unidad (concretamente de 1,25); para soja y girasol el factor es inferior a la unidad (0,85 y 0,95 respectivamente), mientras que para trigo el factor toma el valor 1.

Se encontró que la huella hídrica calculada para cada uno de los cultivos presenta gran variabilidad en cuanto a sus valores, incluso dentro de una misma ZAH. Como es conocido, la producción de biomasa en cualquier cultivo o comunidad vegetal está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo. Esto resulta evidente con la simple observación de un paisaje natural y lo es mucho más cuando se cuantifica la producción anual (cosecha o biomasa acumulada en Tn/ha) en relación al agua utilizada (medida en m<sup>3</sup>/ha). Esta relación es fácilmente comprobable cuando comparamos diferentes precipitaciones anuales (o durante el período de desarrollo del cultivo) y producción, de forma que la cosecha queda totalmente determinada por el agua utilizada, a pesar de la fuerte interferencia de otros factores limitantes como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes o las horas de luz.

La razón está en que el proceso base de la producción de biomasa (la fotosíntesis) y el del gasto de agua (transpiración) se producen en forma simultánea, utilizando la misma vía (los estomas en las hojas), tanto la entrada del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como la salida del agua. A mayor apertura de los estomas, más fácilmente ingresa el CO<sub>2</sub> pero también más rápidamente se transpira el agua.

La disponibilidad de agua en el suelo depende de los ingresos al mismo (lluvia, corrientes subterránea, riego), de la capacidad de almacenamiento propia del suelo (proporción de elementos grueso y porosidad del suelo) y de la densidad y profundidad del sistema radicular de la planta, que determina el volumen de suelo utilizado respecto del total.

Por otro lado, las necesidades o demanda de agua por parte de los cultivos, dependen fuertemente de las condiciones climáticas, las cuales se sintetizan en la

evaporación potencial, o demanda atmosférica de agua, parámetro que integra los efectos de la cantidad de radiación, humedad, temperatura ambiental y velocidad del viento. La superficie foliar total y la arquitectura de la planta y el cultivo determinan también el gasto real frente a una determinada demanda atmosférica. En consecuencia, la planta desarrolla su arquitectura foliar en función de sus características genéticas y de la disponibilidad de recursos durante el crecimiento.

De lo anteriormente expuesto cabe concluir que las condiciones ambientales condicionan fuertemente el gasto de agua de las plantas e influyen fuertemente los niveles de producción de biomasa. En los resultados ya presentados se destacó la relativa invariancia (medida a través del coeficiente de variación -CV-) en la ETPc y en la precipitación efectiva, mientras que el déficit hídrico presenta mayor variabilidad, explicando las también sensibles variaciones en rendimiento y, consecuentemente, en los valores de huella hídrica verde estimados bajo las diferentes condiciones de ETPc, lluvias, y clases de suelos agrícolas presentes en el territorio bonaerense.

Cabe acotar que en la estimación del déficit se incluyen las características de los suelos en lo referente a sus limitaciones en la profundidad máxima para crecimiento de raíces, la porción de horizonte con agua útil disponible y la velocidad de infiltración y recarga de dicha agua disponible. En general, se encontró que la mayor limitante se debe al factor profundidad máxima, lo cual afecta en gran medida la expresión del potencial genético de las variedades utilizadas en cuanto al desarrollo radicular, disminuyendo el potencial de producción de grano (rendimiento), pero manteniendo el consumo de agua o evapotranspiración.

Debido a los supuestos realizados para estimar la huella hídrica utilizando el software CropWat 8.0, existe una cierta incertidumbre en los resultados presentados, de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- Se utilizó la primera fecha de siembra por ZAH y por cultivo, no considerándose las diferentes variedades de ciclos largos, cortos o intermedios, las cuales pueden potencialmente adaptarse a diversas condiciones hídricas, con una mayor eficiencia en la utilización del recurso agua.
- Las características de los suelos corresponden a las series dominantes a escala de carácter regional, mientras que los productores usualmente siembran los cultivos en

lotes con las mejores características en cuanto a evitar limitantes en la profundidad y con mayor disponibilidad de agua útil aprovechable por el sistema radicular.

- Las estimaciones de rendimientos máximos potenciales concuerdan con la escala regional utilizada para la caracterización de suelos agrícolas.

- Las estimaciones de la Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) fueron realizadas con datos de sólo 27 estaciones meteorológicas, distribuidas heterogéneamente en el territorio provincial.

- La simplificación utilizada por CropWat al utilizar un único factor de respuesta del rendimiento (Ky), integrando las complejas relaciones entre producción y utilización de agua por parte de los cultivos, limita la exactitud de las estimaciones. Adicionalmente, en este estudio se han utilizado los valores por defecto suministrados por Cropwat, no contándose con valores experimentales específicos para los polígonos evaluados.

- La subdivisión del territorio provincial utilizando las Zonas Agroeconómicas Homogéneas (ZAH) determinadas por la Oficina de Riesgo Agroclimático (ORA), la cual coincide con límites políticos de partidos provinciales, resultó adecuada para realizar la ponderación regional por producción, según datos anuales suministrados por el Sistema Integrado de Información Agropecuaria (SIIA), lo cual permitió obtener un único valor provincial representativo de Huella Hídrica Verde para cada cultivo, según el tipo de año en cuanto a régimen de lluvias (seco, normal o húmedo), con el cual realizar comparaciones intra y extraregionales o con valores de referencia de orden global. Sin embargo, en posteriores estudios se recomienda analizar la posibilidad de realizar una zonificación específica para el cálculo zonal de la huella hídrica, atendiendo a las propiedades agroclimáticas y de suelo, las cuales no tienden a coincidir con las subdivisiones políticas o catastrales provinciales.

En un estudio de escala regional como este, y teniendo en cuenta los supuestos utilizados surgidos de la opinión de expertos consultados, los resultados logrados se consideran valiosos, pero deben ser interpretados teniendo en cuenta las incertidumbres planteadas.

## **VI. RESULTADOS DE LA MODELACION UTILIZANDO AQUACROP PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HIDRICA VERDE**

### **1º. - Introducción**

#### **m.- Generalidades**

La División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) ha desarrollado dos herramientas que permiten modelar la productividad del agua, denominados “ET<sub>o</sub> Calculator 3.1” y “AquaCrop 4.0.”

En el marco del proyecto “Huella hídrica de los productos agrícolas en las exportaciones de la Provincia de Buenos Aires” se utilizaron ambos programas con el fin de determinar la Huella Hídrica de los cultivos en campañas anteriores utilizando datos aportados por AACREA.

El objetivo establecido para el abordaje metodológico con esta herramienta fue el de analizar los resultados producidos por el programa Aquacrop a partir de los estudios de casos y los datos aportados por AACREA provenientes de su red de ensayos a nivel provincial de trigo, maíz, girasol y soja y poder referenciar los resultados de rendimiento observado y calculado, tratando de determinar el nivel de precisión en cada caso particular. Asimismo, determinar con el programa AquaCrop los valores de Índice de cosecha y productividad de agua evapotranspirada y simular, para una localidad y para cada uno de los cuatro cultivos, el efecto de una disminución gradual de la precipitación de hasta el 50% del registro original. Por último, simular para una localidad de cada uno de los cuatro cultivos, el efecto sobre las variables analizadas, de la aplicación de una lámina de riego de 150 mm aplicada por aspersión.

#### **n.- Procedimiento**

AACREA aportó información climática, fenológica y rendimiento de los cultivos evaluados (trigo, soja, girasol y maíz) de su red de ensayos a nivel provincial correspondientes a campañas previas, que se correspondían con años secos, húmedos y normales.

En primer lugar, con el “ET<sub>o</sub> Calculator”, se determinó la ET<sub>o</sub> (evapotranspiración de referencia) para las distintas localidades de la provincia de Buenos Aires donde se llevaron adelante los cultivos antes mencionados.

Posteriormente, utilizando el “AquaCrop”, se realizaron múltiples corridas con la información aportada por AACREA y la generada por el “ET<sub>o</sub> Calculator”, pudiéndose determinar: el rendimiento, el Índice de cosecha y la biomasa producida. Finalmente el rendimiento modelado se comparó con el registrado por AACREA.

Por otro lado para cada uno de los cultivos se simularon riegos para ver su efecto sobre estos indicadores.

## 2º. - **Información de ensayos aportada por AACREA**

Para la simulación realizada, AACREA brindó información perteneciente a su red de ensayos a nivel provincial. Los datos aportados para cada uno de los cuatro cultivos analizados fueron:

### Geográficos:

Localización del ensayo y coordenadas.

### Climáticos:

Precipitación, temperatura máxima y mínima diaria.

### Cultivo:

Fecha y densidad de siembra.

Días hasta: emergencia, floración, y cosecha.

Profundidad máxima y mínima de raíces.

### Suelo:

Capacidad de campo, punto de marchitez permanente y saturación de cada horizonte sus contenidos hídricos referenciales.

Contenido de humedad del suelo a la siembra y salinidad.

Existencia de algún límite al desarrollo de las raíces en su profundidad.

### Niveles de estrés:

Hídrico: debido a falta de humedad en el suelo.

Edáfico: debido a falta de nutrientes en el suelo.

Térmico: debido a falta de temperatura para el desarrollo del cultivo.

En las tablas siguientes se presenta, para los cultivos analizados, su localidad, campaña de realización del mismo, y el tipo de año identificado para el desarrollo del cultivo y para el período de floración.

Trigo	Localidad	Campaña	Desa:Jun-Dic	Flor: Oct-Nov
T1	Balcarce	2004	Seco	Seco
T2	Barrow	2003	Húmedo	Húmedo
T3	Barrow	2004	Húmedo	Seco
T4	Miramar	2004	Normal	Húmedo
T5	Bordenave	2007	Normal	Seco
T6	Roque Perez	2006	Normal	Seco
T7	Roque Perez	2006	Normal	Seco
T8	25 de Mayo	2006	Normal	Seco
T9	25 de Mayo	2006	Normal	Seco
T10	Pehuajó	2006	Normal	Seco
T11	Pehuajó	2006	Normal	Seco
T12	Pehuajó	2007	Seco	Seco
T13	Pergamino	2007	Seco	Seco
T14	Pergamino	2007	Seco	Seco
T15	Pergamino	2007	Seco	Seco

**Tabla VI-1. Lotes de Trigo: Localidad, Campaña y tipo de año**

Fuente: AACREA

Girasol	Localidad	Campaña	Desa: Oct-Feb	Flo: Ene
G1	Pellegrini	2011-2012	Normal	Húmedo
G2	Moreno	2011-2012	Húmedo	Normal
G3	Maza	2011-2012	Normal	Seco
G4	Tres lomas	2010-2011	Seco	Húmedo

**Tabla VI-2. Lotes de Girasol: Localidad, campaña y tipo de año**

Fuente: AACREA

Soja	Localidad	Campaña	Desa: Nov-Mar	Flor: Ene
S1	Villegas	2010-2011	Seco	Normal
S2	Saladillo	2009-2010	Seco	Normal
S3	Junín	2009-2010	Húmedo	Normal
S4	25 de Mayo	2008-2009	Seco	Seco

**Tabla VI-3. Lotes de Soja: Localidad, campaña y tipo de año**

Fuente: AACREA

Maíz	Localidad	Campaña	Desa: Oct-Mar	Flor: Dic
M1	Rivadavia	2011-2012	Húmedo	Seco
M2	Colon	2008-2009	Seco	Seco
M3	Bragado	2010-2011	Seco	Seco
M4	25 de Mayo	2007-2008	Seco	Seco

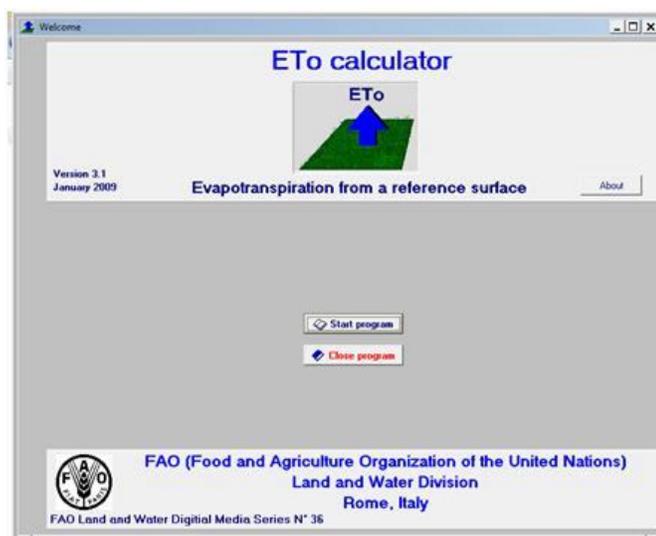
**Tabla VI-4. Lotes de Maíz: Localidad Campaña y tipo de Año**

Fuente: AACREA

### 3°.- **ET<sub>o</sub> Calculator**

El programa ETo Calculator es una herramienta que permite definir la ETo y fue descripta brevemente en la introducción metodológica. Como datos de entrada, se

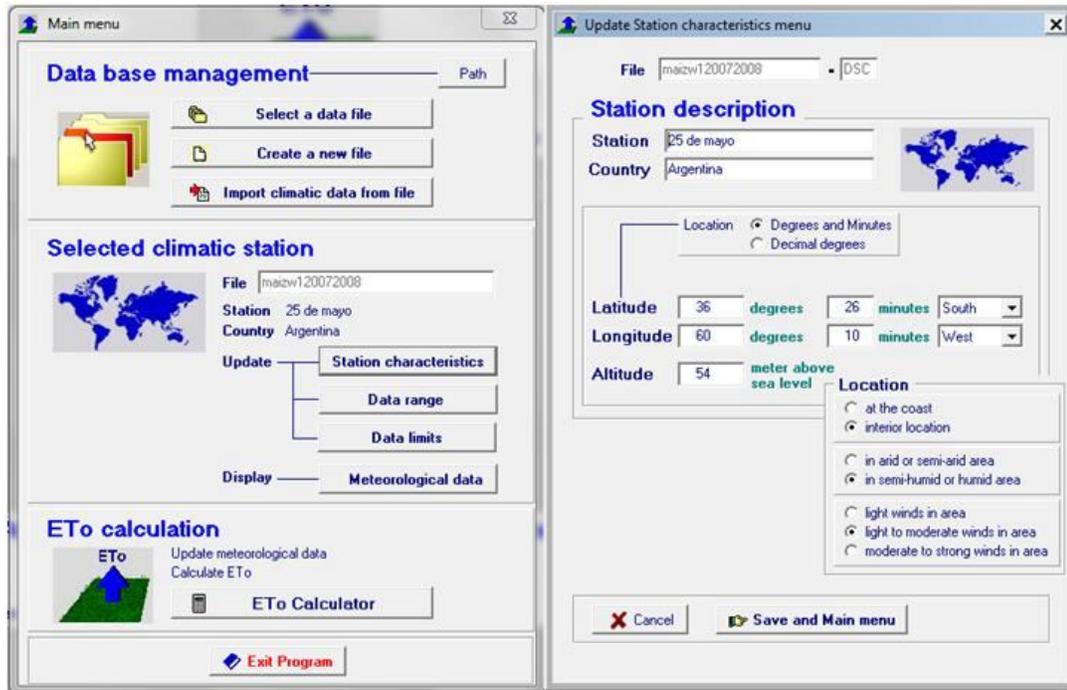
utilizó como insumo la información aportada por AACREA referente a la localización de cada ensayo (latitud, longitud y altitud) y los registros de temperatura máxima y mínima para el período comprendido entre la siembra y la cosecha de cada ensayo.



**Ilustración VI-1. Pantalla principal ETo Calculator**

### **o.- Procedimiento utilizado**

Para iniciar el procedimiento se crea una estación y en ella se cargan los datos referidos a la localización de la misma (latitud, longitud y altitud). Para su descripción se presenta un ejemplo con los datos correspondientes al ensayo de maíz realizado en la localidad de “25 de Mayo” durante la campaña 2007 a 2008.



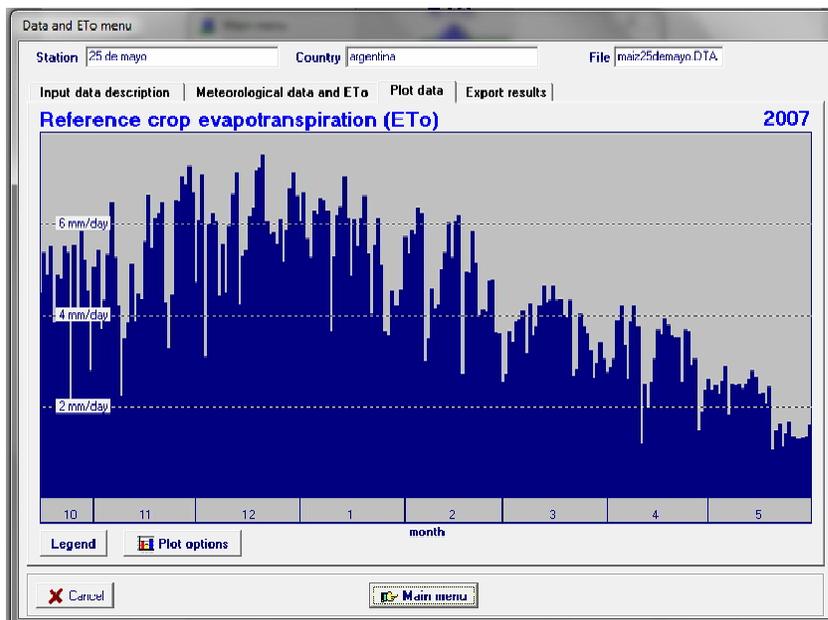
**Ilustración VI-2. Pantalla para la creación de una estación y carga de datos geográficos**

Una vez creada la estación, fueron importados los archivos de datos creados a partir de los registros de temperatura máxima y mínima aportada por AACREA. En estos archivos fueron pegados los registros de temperatura mínima y máxima. En la ilustración siguiente se puede apreciar una vista de un archivo resultado del programa, donde aparecen las columnas de temperaturas.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
11.3	25.9			
11.2	29.4			
11.4	27.4			
11.4	29.8			
12.3	23.5			
9.1	26.1			
11.3	26.6			
10.5	29.0			
14.3	30.2			
16.4	19.6			
10.0	28.6			
12.5	23.7			
10.7	29.9			
11.6	27.8			
11.6	25.1			
14.5	20.3			
6.0	24.5			

**Ilustración VI-3. Archivo de temperaturas máximas y mínimas**

Posteriormente el programa calcula la  $ET_0$  en mm/día para el rango de fechas estipulado como se puede apreciar en la siguiente ilustración.

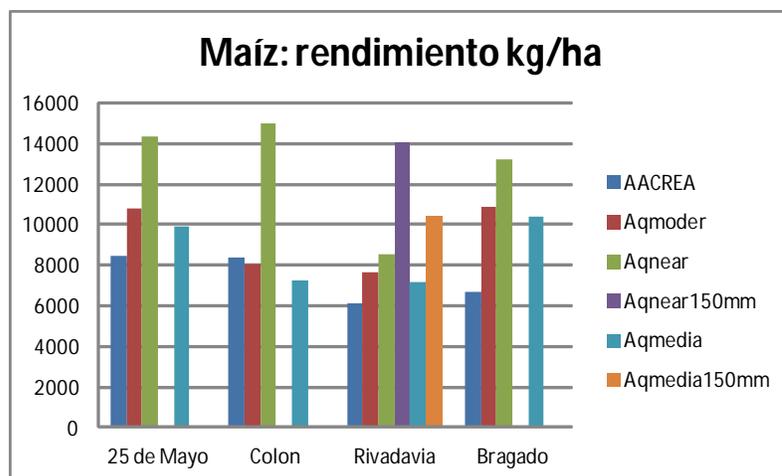


**Ilustración VI-4.  $ET_0$  calculada para maíz en 25 de Mayo**

El programa, además de permitir visualizar la  $ET_0$  ploteada, permite almacenar la información en archivos que posee la extensión .ETO que es uno de los insumos que luego utilizará el AquaCrop.

#### 4°. - **Resultados del trabajo con el AquaCrop** **p.- Aquacrop - Maíz**

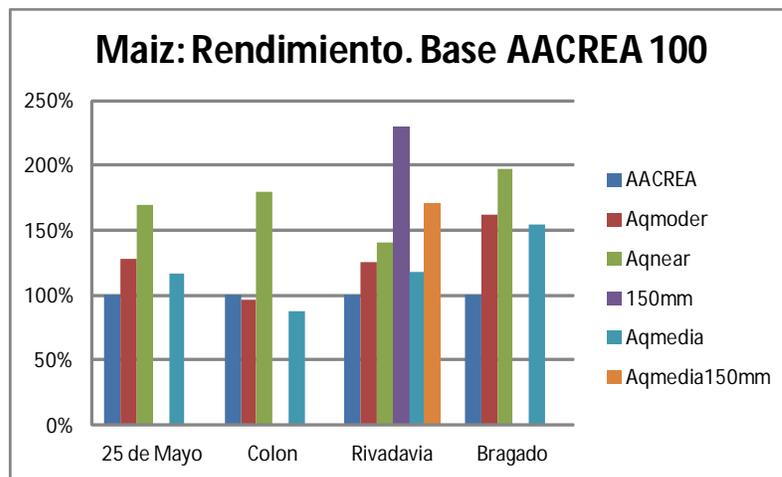
En el primer análisis que se realizó se comparó los rendimientos en kg/ha para cada una de las localidades con las diferentes simulaciones realizadas con el AquaCrop. En el gráfico siguiente se puede apreciar en las columnas los rendimientos registrados por AACREA, los simulados por el programa AquaCrop con niveles de estrés crecientes por fertilidad<sup>6</sup>: *near* (cercano al óptimo), *moderate* (moderado), y *me* (medio), a los que se denominó Aqnear, Aqmoder, y Aqme. respectivamente. En particular, en el partido de Rivadavia se simuló un riego por aspersión de 150 mm durante el período crítico para ver su efecto sobre el rendimiento (150mm) sobre los niveles de estrés near y medio.



**Gráfico VI-1. AquaCrop. Maíz. Rendimiento (kg/ha)**

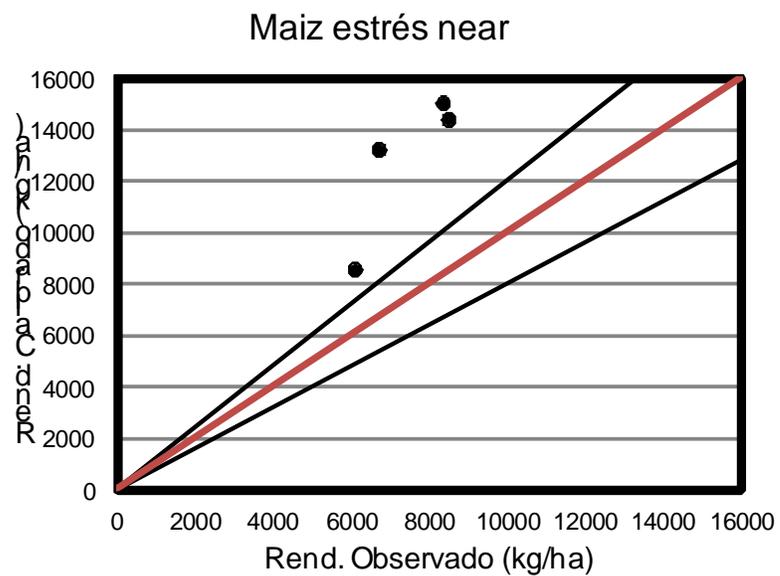
<sup>6</sup> Para más detalles ver manual de Aquacrop, "Fertility stress"

En el gráfico siguiente la misma información aparece tomando los rendimientos de AACREA como base 100. Se puede apreciar que la simulación realizada con niveles de estrés medio arrojan niveles de rendimiento que más se aproximan a los registrados por AACREA. En el caso particular de Bragado, los técnicos de AACREA registran un déficit puntual de humedad durante el período crítico de floración, que explicaría las diferencias existentes entre el rendimiento de AACREA y el modelado.

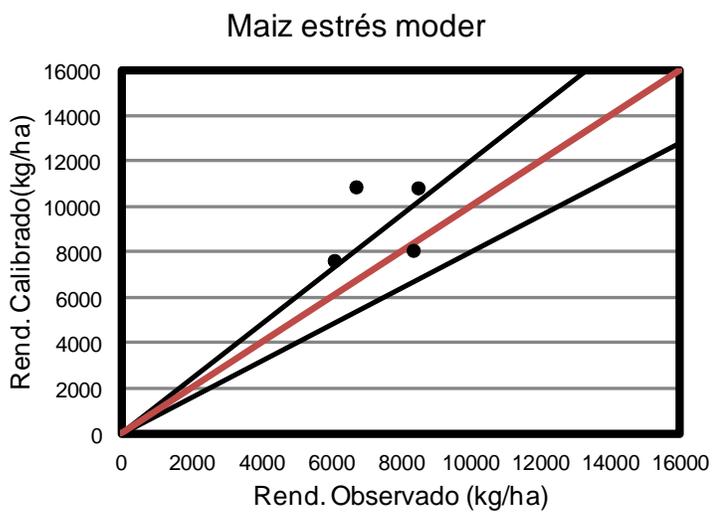


**Gráfico VI-2. AquaCrop. Maíz rendimiento Base AACREA 100**

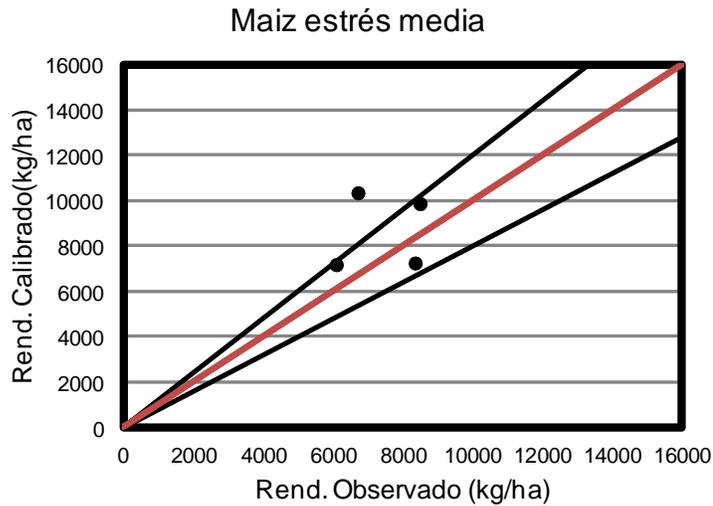
A continuación se presentan tres gráficos que permiten ver el nivel de dispersión entre los datos observados por AACREA y los calibrados por el programa AquaCrop para los niveles de estrés creciente (*near*, *moderate*, y medio). De la comparación surge que los rendimientos simulados con un nivel de estrés medio presentan una mayor congruencia que las simuladas con un nivel de estrés cercano al óptimo (*near*) y moderado (*moder*).



**Gráfico VI-3. AquaCrop. Maíz dispersión del rendimiento con nivel de estrés *near***



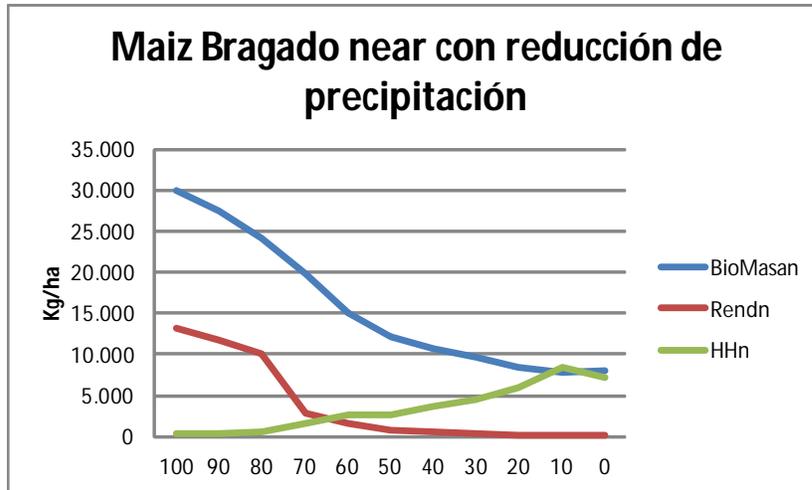
**Gráfico VI-4. AquaCrop. Maíz dispersión del rendimiento con nivel de estrés *moderate***



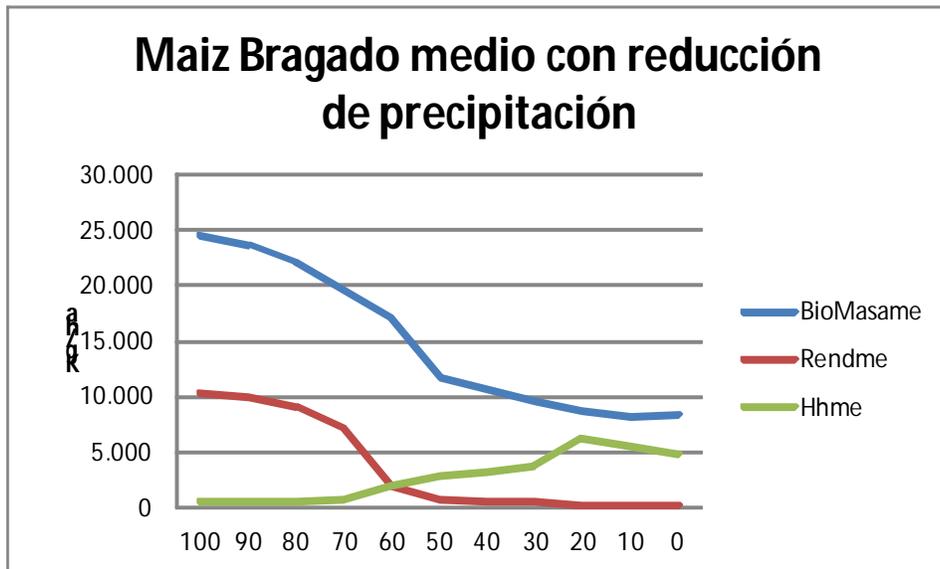
**Gráfico VI-5. AquaCrop. Maíz dispersión del rendimiento con nivel de estrés medio (*me*)**

Para evaluar la sensibilidad del rendimiento, de la producción de biomasa del cultivo y de la Huella Hídrica verde ante una disminución en la precipitación, se realizaron, sobre la simulación del maíz de Bragado y aplicando un nivel de estrés de fertilidad Near, distintas corridas donde la precipitación se fue disminuyendo gradualmente de 10% en 10% hasta llegar al 0% de la precipitación registrada originalmente.

En el gráfico siguiente se puede apreciar la marcada sensibilidad tanto del rendimiento como de la producción de biomasa del maíz de Bragado al disminuir la cantidad de agua precipitada así como también un incremento en la HH al disminuir la lámina precipitada.



**Gráfico VI-6. AquaCrop. Maíz near rendimiento, biomasa y Huella Hídrica con disminución de precipitación (kg/ha)**



**Gráfico VI-7. AquaCrop. Maíz medio rendimiento, biomasa y Huella Hídrica con disminución de precipitación (kg/ha)**

Otro de los valores que entrega el programa AquaCrop es la productividad del agua evapotranspirada en  $\text{kg/m}^3$ . La productividad que aparece en el gráfico es la generada para cada una de las localidades, para los distintos niveles de estrés (n para near, m para moderado y me para medio), para el caso de riego (150) y para las corridas donde se simuló una disminución de la precipitación porcentual de la original (90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 y 0).

En el gráfico se aprecia cómo la productividad disminuye en situaciones de estrés creciente de *near a moderado* y a *medio* respectivamente) y cómo, ante la disminución de las precipitaciones, la productividad baja (desde *mbran* a *mbran0* y desde *mbrame* a *mbrame0*).

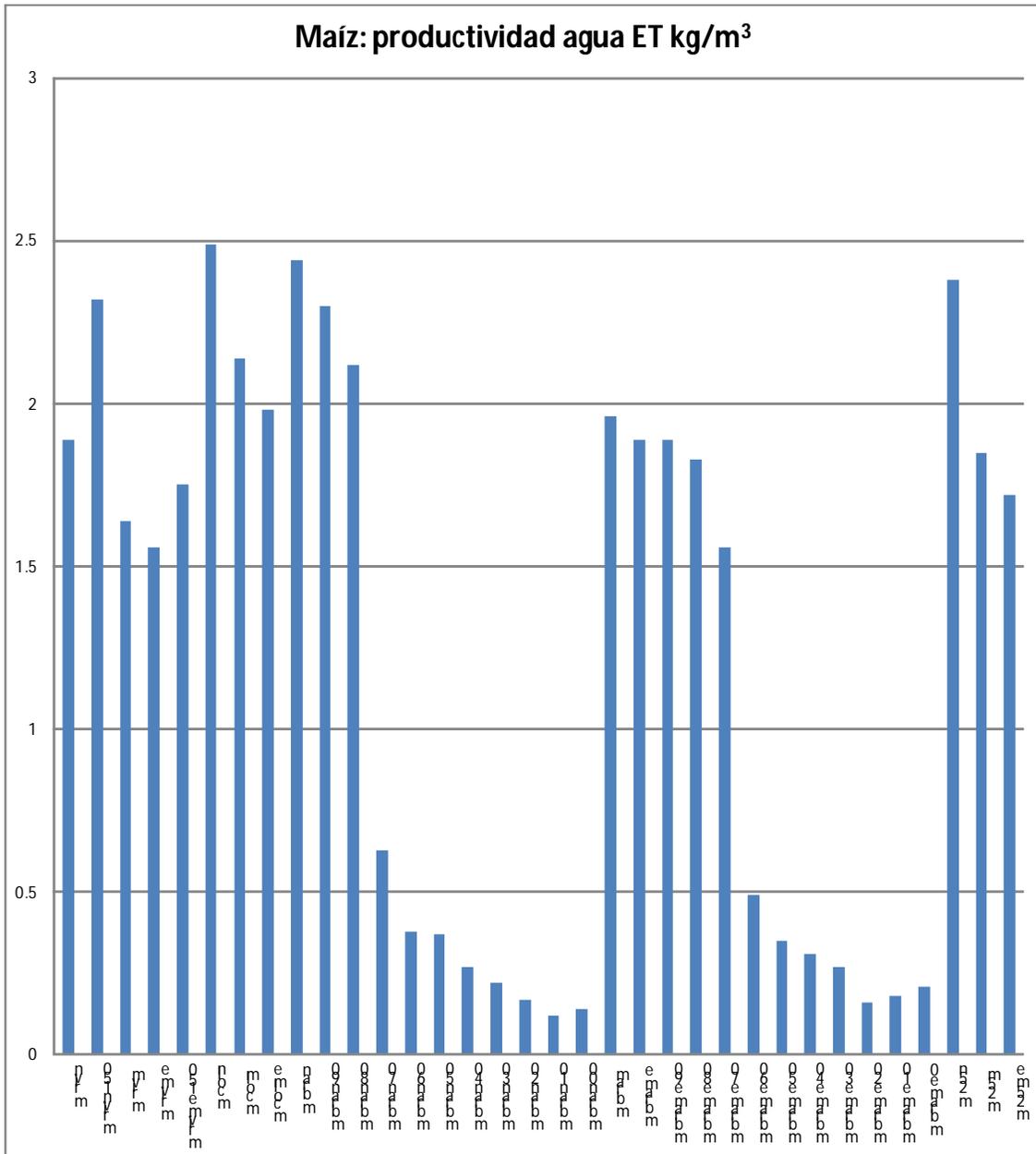


Gráfico VI-8. AquaCrop. Maíz productividad del agua evapotranspirada (kg/m<sup>3</sup>)

Por último el programa entrega el Índice de cosecha que arroja resultados que son congruentes con los registrados en productividad.



Se comparó los rendimientos en kg/ha para cada una de las localidades con las diferentes simulaciones realizadas con el AquaCrop. En el gráfico siguiente se puede apreciar en las columnas los rendimientos registrados por AACREA, los simulados por el programa AquaCrop con diferentes niveles de estrés: *near* o cercano al óptimo, *moderate* o moderado y el *me* o medio (Aqnear, Aqmoder y Aqmedia). Para la localidad de Veinticinco de Mayo se simuló un riego por aspersión de 150 mm sobre las simulaciones *near* y *media*, para evaluar su efecto sobre el rendimiento (150mm).

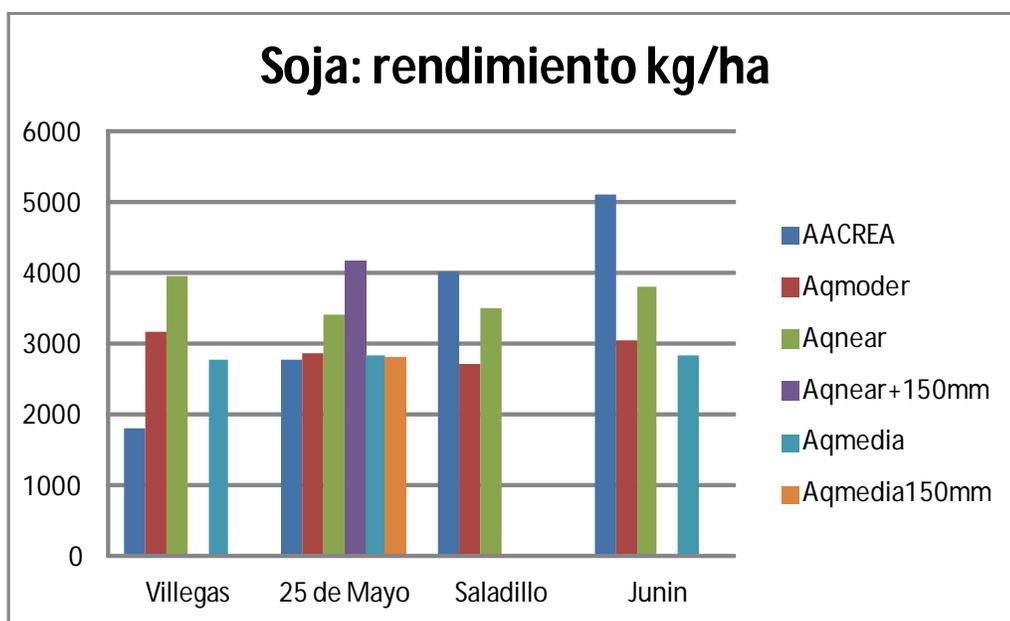
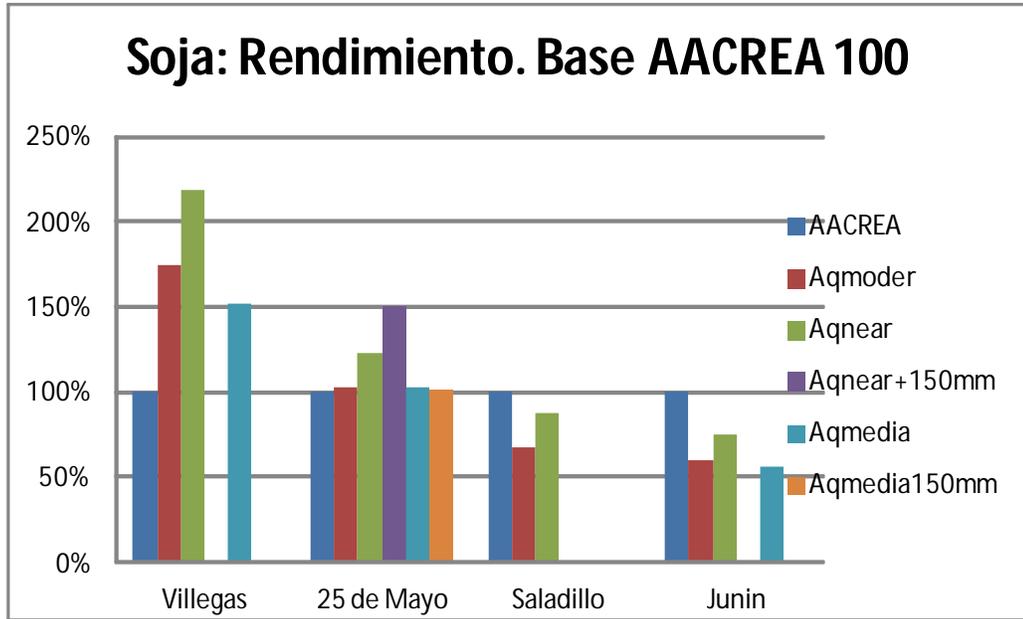


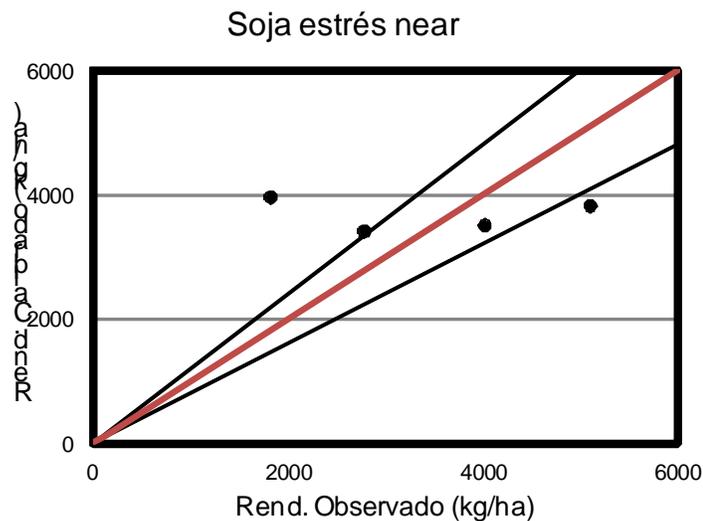
Gráfico VI-10. AquaCrop. Soja Rendimiento (kg/ha)

En el gráfico siguiente, la misma información aparece tomando los rendimientos de AACREA como base 100. En ocasiones, los rendimientos calculados arrojan valores muy superiores a los registrados (más del 200%) y, en otras, valores inferiores (cerca del 60%). Se puede apreciar que los rendimientos calculados para los distintos niveles de estrés en el caso del partido de General Villegas son marcadamente superiores a los registrados por AACREA. Para el resto de las localidades se podría afirmar que las simulaciones realizadas con un nivel de estrés cercano al óptimo se aproximan razonablemente a los registrados por AACREA.



**Gráfico VI-11. AquaCrop. Soja rendimiento (Base: AACREA=100)**

A continuación se presentan tres gráficos que permiten observar el nivel de dispersión entre los datos observados por AACREA y los calibrados por el programa AquaCrop para cada nivel de estrés creciente (near, moderate y media). Se puede ver claramente la dispersión de los resultados para los tres niveles de estrés simulados, resultando el simulado con nivel de estrés *near* el que más se aproxima a los rendimientos registrados por AACREA.



**Gráfico VI-12. AquaCrop. Soja dispersión del rendimiento con nivel de estrés *near***

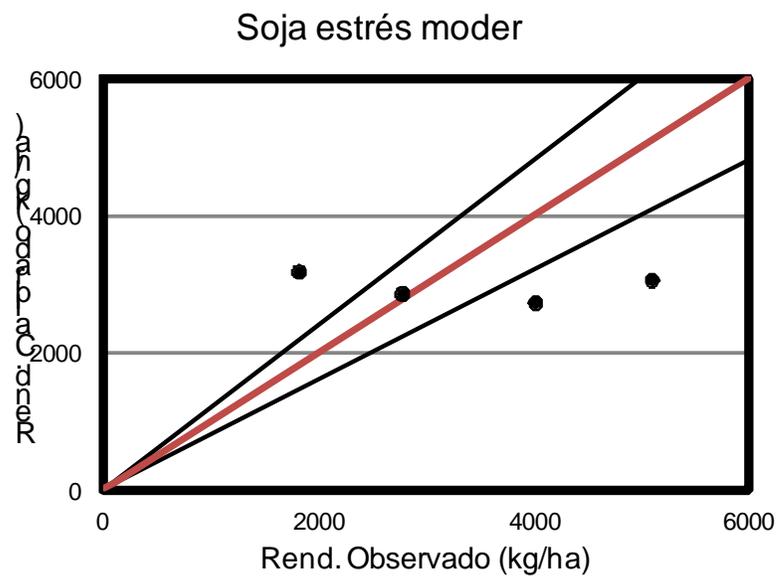


Gráfico VI-13. AquaCrop. Soja dispersión del rendimiento con nivel de estrés *moderate*

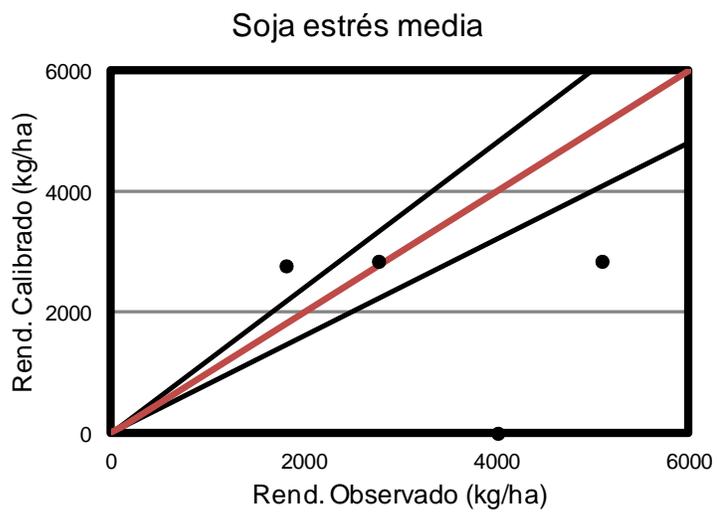
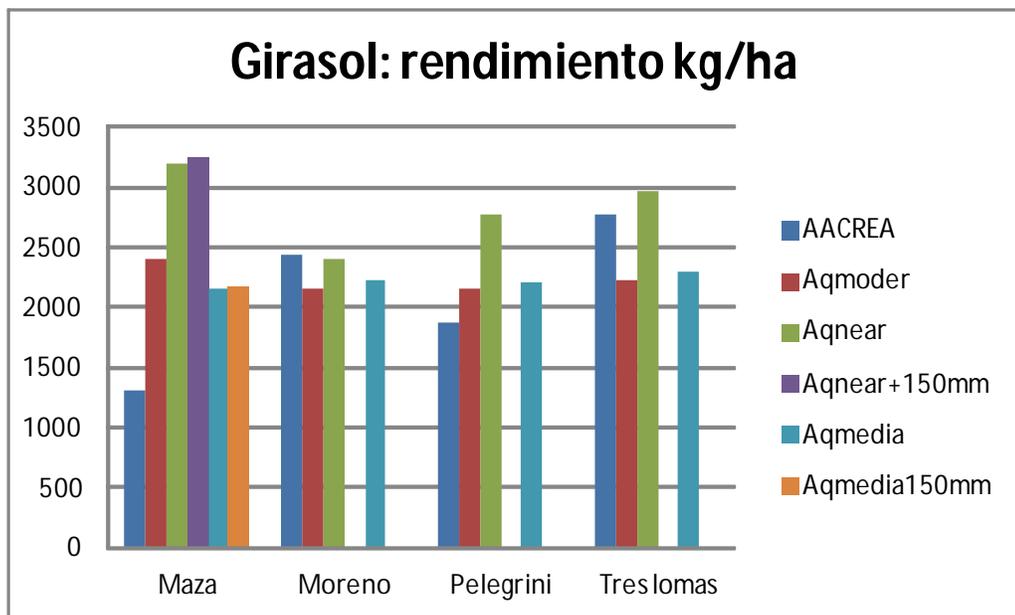


Gráfico VI-14. AquaCrop. Soja dispersión del rendimiento con nivel de estrés medio (*me*)

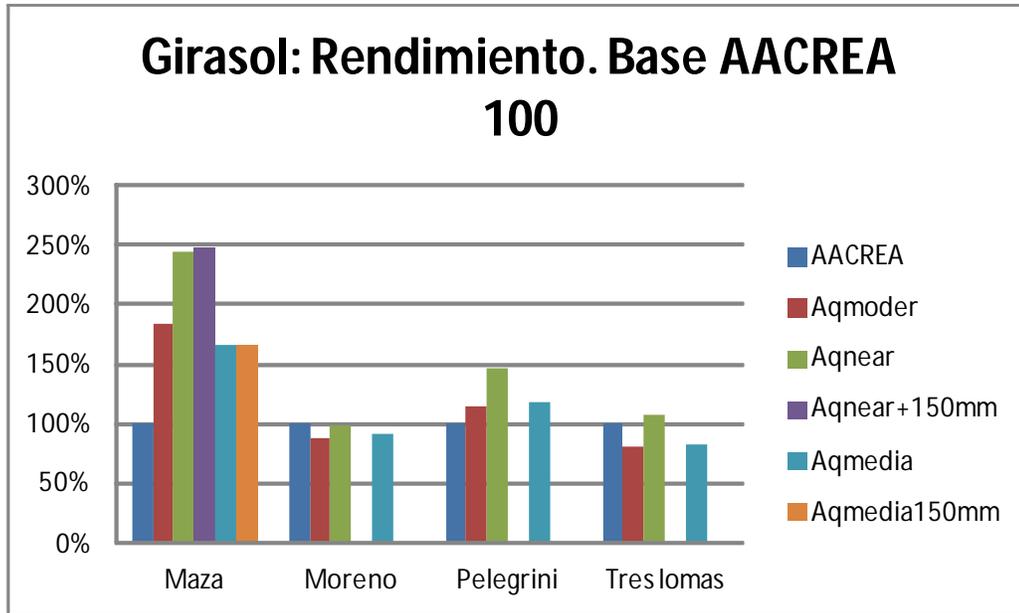
**r.-Girasol**

Se comparó los rendimientos en kg/ha para cada una de las localidades con las diferentes simulaciones realizadas con el AquaCrop. En el gráfico siguiente se puede apreciar, en las columnas los rendimientos registrados por AACREA, los simulados por el programa AquaCrop con diferentes niveles de estrés creciente: *near* (cercano al óptimo), *moderate* (moderado) y *me* (medio) (Aqnear, Aqmoder y Aqmedia). Para la localidad de Maza se simuló un riego por aspersion de 150 mm durante el período crítico para ver su efecto sobre el rendimiento (150mm) sobre las simulaciones *near* y *media*.



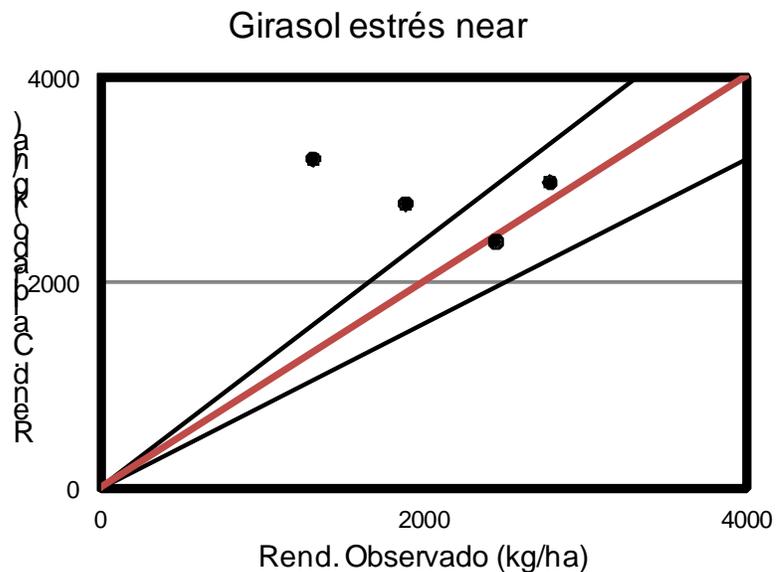
**Gráfico VI-15. AquaCrop. Girasol Rendimiento (kg/ha)**

En el gráfico siguiente la misma información aparece tomando los rendimientos de AACREA como base 100. Se puede apreciar que las simulaciones realizadas con niveles de estrés moderado y media arrojan niveles de rendimiento que se aproximan a los registrados por AACREA. En el caso particular de la localidad de Maza, se aprecia una diferencia significativa entre los rendimientos calculados y los registrados.

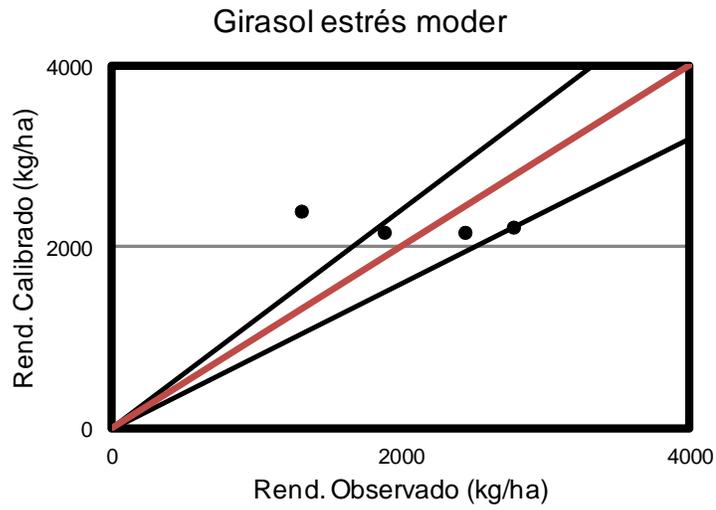


**Gráfico VI-16. AquaCrop. Girasol. Rendimiento (Base: AACREA=100)**

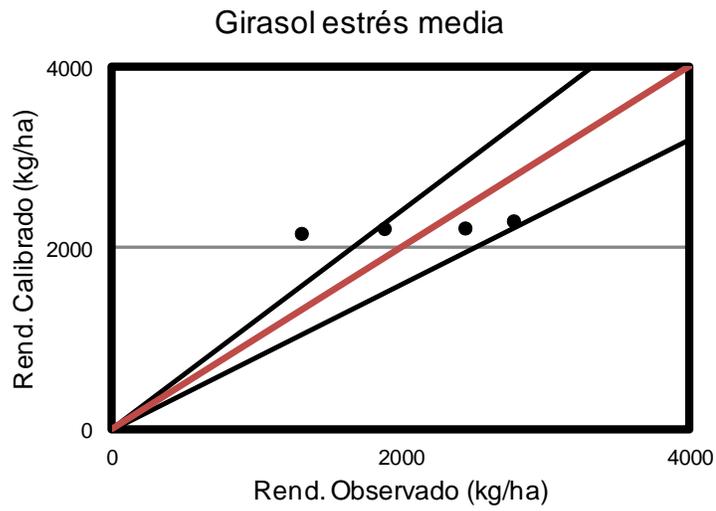
A continuación se presentan tres gráficos que nos permiten ver el nivel de dispersión entre los datos observados por AACREA y los calibrados por el programa AquaCrop para cada nivel de estrés (near, moderate y media). Se aprecia que las simulaciones realizadas con nivel de estrés de fertilidad moderado y media, evidencian una menor desviación con respecto a los rendimientos registrados por AACREA.



**Gráfico VI-17. AquaCrop. Girasol. Dispersión del rendimiento con nivel de estrés near**



**Gráfico VI-18. AquaCrop. Girasol. Dispersión del rendimiento con nivel de estrés *moderate***



**Gráfico VI-19. AquaCrop. Girasol. Dispersión del rendimiento con nivel de estrés medio (*me*)**

**s.-Trigo**

Se comparó los rendimientos en kg/ha para cada una de las localidades con las diferentes simulaciones realizadas con el AquaCrop. En el gráfico siguiente se puede apreciar en las columnas los rendimientos registrados por AACREA (AACREA) y los simulados por el programa AquaCrop con diferentes niveles de estrés: *near* o cercano al óptimo, *moderate* o moderado y *me* o media (Aqnear, Aqmoder y Aqmedia). En el trigo 2 (t2) se simuló un riego por aspersión de 150 mm durante período crítico para ver su efecto sobre el rendimiento (150mm) sobre las simulaciones de estrés *near* y media.

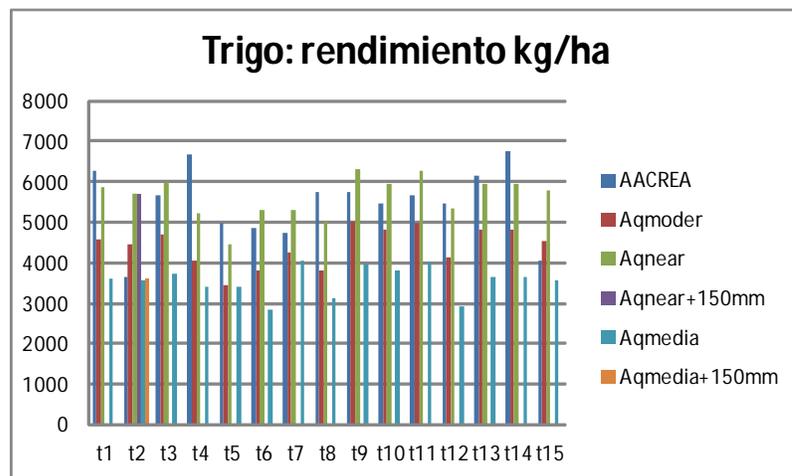


Gráfico VI-20. AquaCrop. Trigo Rendimiento (kg/ha)

En el gráfico siguiente la misma información aparece tomando los rendimientos de AACREA como base 100. Se puede apreciar que las simulaciones realizadas con niveles de estrés cercano al óptimo, moderado y media arrojan niveles de rendimiento que se aproximan a los registrados por AACREA salvo el caso del t2 y t15.

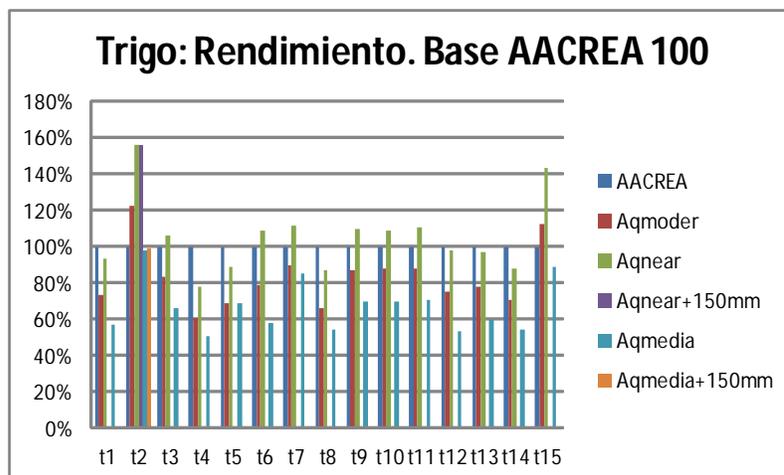


Gráfico VI-21. AquaCrop. Trigo. Rendimiento (Base: AACREA=100)

A continuación se presentan tres gráficos que nos permiten ver el nivel de dispersión entre los datos observados por AACREA y los calibrados por el programa AquaCrop para cada nivel de estrés (near, moderate y medio). La simulación con nivel de estrés de fertilidad cercano al óptimo (*near*) presenta una menor dispersión respecto de los calculados con nivel moderado y medio.

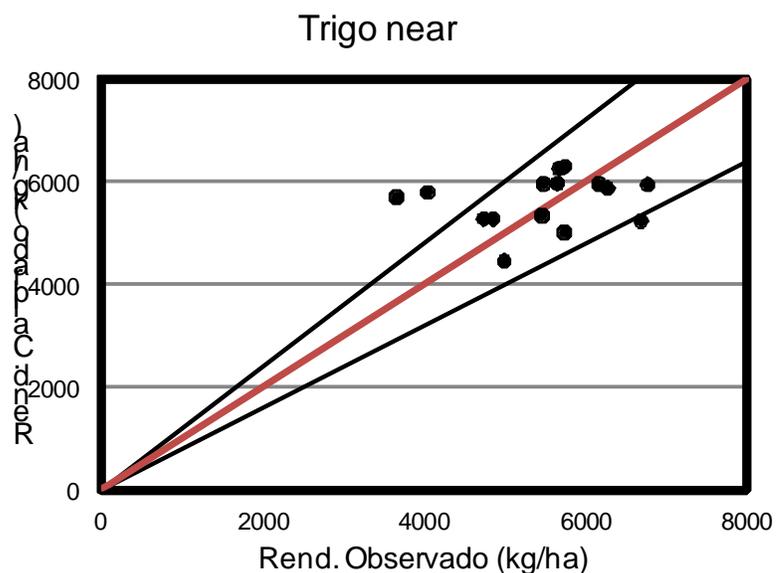


Gráfico VI-22. AquaCrop. Trigo. Dispersión del rendimiento con nivel de estrés *near*

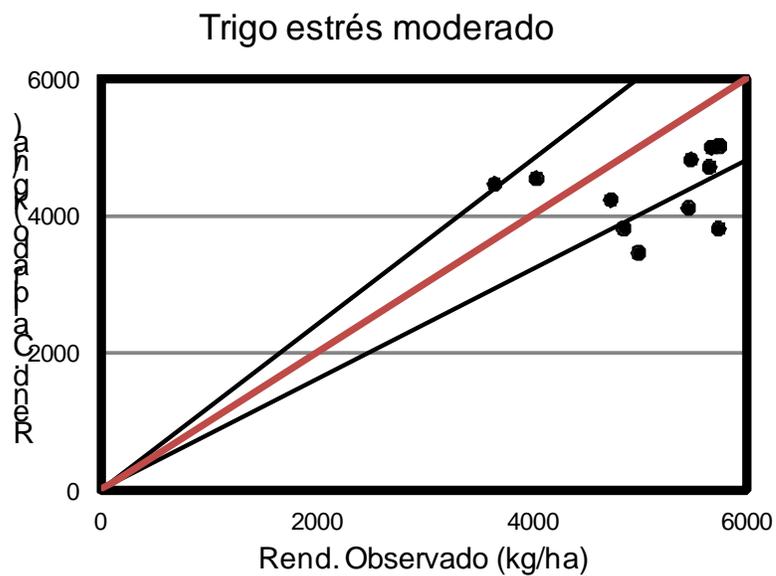


Gráfico VI-23. AquaCrop. Trigo. Dispersión del rendimiento con nivel de estrés *moderate*

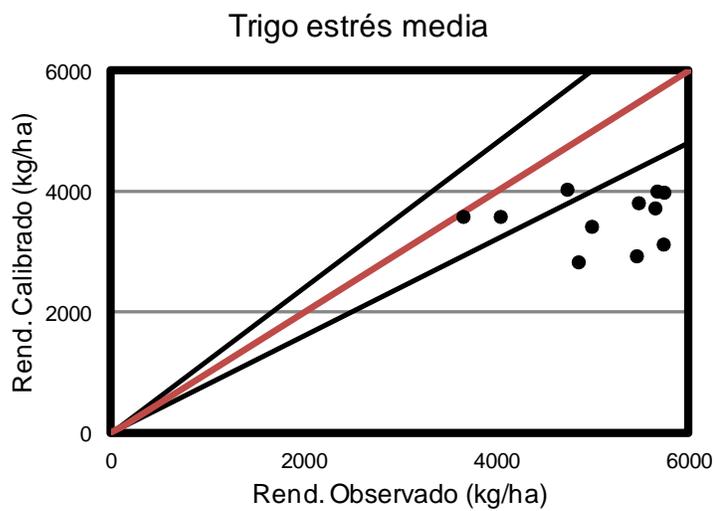


Gráfico VI-24. AquaCrop. Trigo. Dispersión del rendimiento con nivel de estrés *media*

## 5°. - Conclusiones de la utilización del programa AquaCrop

La modelación con el software AquaCrop se ha comportado de manera diferencial según el cultivo. En algunos casos, las corridas del programa arrojan valores de rendimiento que son coincidentes con los registrados por AACREA. En el caso del maíz, el modelo con nivel de estrés media es el que más se ajusta a los datos registrados por AACREA. En el caso de la soja la dispersión de los datos es uniforme, siendo las simulaciones con nivel de estrés cercano al óptimo (*near*) más precisas en la predicción del rendimiento. Para el trigo, el nivel de estrés cercano al óptimo (*near*) se ajusta precisamente a los rendimientos registrados por AACREA. Lo contrario sucede con el girasol, donde el mayor ajuste de los datos calculados se da con las simulaciones con estrés moderado y media.

En lo que hace a las simulaciones con riego, solamente para el caso del maíz los resultados arrojaron valores razonables. Para el resto de los cultivos las simulaciones no fueron adecuadas. En cuanto a las simulaciones realizadas con disminución de la precipitación, el maíz de Bragado se presenta como el más sensible, registrando caídas en la productividad en la medida que disminuye la lámina precipitada. En cuanto al Índice de cosecha y productividad, los datos surgidos de la modelización son congruentes.

Finalmente se concluye que el programa AquaCrop es una herramienta interesante para la determinación de las variables antes citadas. De todas formas, se requiere de un mayor trabajo para lograr experiencia con el objeto de mejorar el ajuste y obtener resultados más precisos. Asimismo es indispensable mejorar el registro de datos del cultivo para tener la posibilidad de incorporar las variables de entrada de la numerosa información que se requiere para la modelación con este software.

## VII. COMPARACION DE LA HUELLA HIDRICA BAJO AMBAS METODOLOGIAS DE CÁLCULO.

### 6°. - Consideraciones sobre los resultados

Con el fin de determinar el nivel de variación entre las huellas calculadas con el programa Cropwat y el Aquacrop, se comparó los resultados obtenidos del estudio de casos modelados a partir de los datos de AACREA con el software Aquacrop, con los modelados en el Cropwat, identificando las series de suelos representativas, y la ubicación geográfica para el resto de los datos agroclimáticos. A continuación se presentan los cultivos y los casos evaluados.

ID	CULTIVO	ZONA_CREA	CAMPAÑA	LOCALIDAD	TIPO_O_SER	CATEGORIA	SERIE1	ZAH	ETO	PRECIPITACION	Rendimiento AACREA kg/ha
1	Girasol	Oeste Arenoso	2011/2012	Maza	Haplustol Éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Epecuen	2	TRENQUE LAUQUEN	VILLA MAZA	1309
2	Girasol	Oeste Arenoso	2011/2012	González Mor	Haplustol Éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Ameghino	7	TRENQUE LAUQUEN	SANSINENA	2442
3	Girasol	Oeste Arenoso	2011/2012	Peligrini	Haplustol Éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Epecuen	7	TRENQUE LAUQUEN	PELEGRINI	1883
4	Girasol	Oeste Arenoso	2010/2011	Tres Lomas	Haplustol Éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Piedritas	7	TRENQUE LAUQUEN	TRES LOMAS	2778
5	Maiz	Sudeste	2007/2008	25 de mayo	Hapludol éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Norumbega	6	NUEVE DE JULIO	VEINTICINCO DE MAYO	8482
6	Maiz	Norte Bs As	2008/2009	Colon	Argiudol típico	Franco (Loam)	Rojas	8	PERGAMINO INTA	COLON	8344
7	Maiz	Oeste Arenoso	2011/2012	Rivadavia	Ustipsament típico	Franco arenoso (Loamy sand)	Piedritas	7	TRENQUE LAUQUEN	SANSINENA	6085
8	Maiz	Norte Bs As	2010/2011	Bragado	Hapludol éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Norumbega	6	NUEVE DE JULIO	BRAGADO	6706
9	Soja	Oeste Arenoso	2010/2011	Gral Villegas	Ustipsament típico	Franco arenoso (Loamy sand)	Canada Seca	7	TRENQUE LAUQUEN	GENERAL VILLEGA	1816
10	Soja	Sudeste	2008/2009	25 de mayo	Hapludol Éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Norumbega	6	NUEVE DE JULIO	VEINTICINCO DE MAYO	2776
11	Soja	Oeste Arenoso	2009/2010	Saladillo	Hapludol Éntico	Franco arenoso (Sandy loam)	Bolivar	4	LAS FLORES FC	SALADILLO	4015
12	Trigo	Mar y Sierras	2004	Balcarce	Argiudol típico	Franco	Mar del Plata	3	BALCARCE INTA	BALCARCE	6270
13	Trigo	Mar y Sierras	2003	Barrow	Argiudol típico	Franco arcillo arenoso	Laprida	3	BARROW	TRES ARROYOS	3653
14	Trigo	Mar y Sierras	2004	Barrow	Argiudol típico	Franco arcillo arenoso	Laprida	3	BARROW	TRES ARROYOS	5647
15	Trigo	Mar y Sierras	2004	Miramar	Hapludol típico	Franco arcillo arenoso	Tandil	3	MAR DEL PLATA AER	MIRAMAR	6682
16	Trigo	Sudeste	2006	25 de Mayo	Hapludol thapto árg	Franco	Ortiz de Ros	6	NUEVE DE JULIO	VEINTICINCO DE MAYO	5733
17	Trigo	Sudeste	2006	25 de Mayo	Hapludol thapto árg	Franco	Ortiz de Ros	6	NUEVE DE JULIO	VEINTICINCO DE MAYO	5740
18	Trigo	Sudeste	2006	Pehuajó	Hapludol típico	Franco	Carlos Tejeda	7	PEHUAJO AERO	PEHUAJO	5475
19	Trigo	Sudeste	2006	Pehuajó	Hapludol típico	Franco	Carlos Tejeda	7	PEHUAJO AERO	PEHUAJO	5668
20	Trigo	Sudeste	2007	Pehuajó	Hapludol típico	Franco	Carlos Tejeda	7	PEHUAJO AERO	PEHUAJO	5455
21	Trigo	Norte de Bueno	2007	Pergamino	Rojas	Franco limoso	Rojas	8	PERGAMINO INTA	PINZON	6160
22	Trigo	Norte de Bueno	2007	Pergamino	Rojas	Franco limoso	Rojas	8	PERGAMINO INTA	PINZON	6766
23	Trigo	Norte de Bueno	2007	Pergamino	Rojas	Franco limoso	Rojas	8	PERGAMINO INTA	PINZON	4040

Tabla VII-1. Casos para la comparación entre el Cropwat y el Aquacrop

Posteriormente se presenta para cada caso evaluado (e identificado con el ID del numero 1 al 23), los valores resultantes para el software Cropwat, presentando los rendimientos máximos, los rendimientos para cada periodo (húmedo, normal y seco), los consumos reales de agua también por periodos, y las huellas hídricas resultantes. Esto se observa en la tabla que se presenta a continuación.

ID	CROPWAT									
	Rto Max Kg/ha	Rto H Kg/ha	Rto N Kg/ha	Rto S Kg/ha	URA H mm/ha	URA N mm/ha	URA S mm/ha	HH m3/tn	HN m3/tn	HS m3/tn
1	2.720	1.849	1.618	1.208	446	193	279	1.640	1.043	1.724
2	3.000	2.471	2.211	1.889	576	511	432	1.920	2.069	1.952
3	2.720	1.858	1.692	1.493	472	426	356	1.733	2.291	2.106
4	1.600	1.026	922	846	440	392	356	2.749	3.819	3.866
5	8.500	6.945	5.806	4.565	578	505	426	679	727	733
6	12.000	10.686	9.276	7.245	560	503	420	467	470	453
7	7.000	4.690	3.885	3.213	500	437	385	714	932	991
8	9.500	8.123	6.508	5.140	598	506	428	629	623	658
9	3.285	3.016	2.732	2.421	551	488	420	1.827	1.787	1.733
10	3.800	3.378	3.036	2.538	580	509	406	1.716	1.678	1.600
11	3.400	2.743	2.489	2.157	519	460	383	1.891	1.847	1.774
12	6.500	6.500	6.500	4.823	318	318	236	489	489	363
13	6.000	6.000	4.848	3.606	388	313	233	646	522	480
14	6.000	6.000	4.848	3.606	388	313	233	646	522	480
15	6.500	6.500	6.500	5.668	312	312	272	480	480	418
16	4.800	4.608	3.893	3.096	491	415	330	1.022	900	847
17	4.800	4.608	3.893	3.096	491	415	330	1.022	900	847
18	4.000	4.000	3.524	2.872	387	341	277	966	852	787
19	4.000	4.000	3.524	2.872	387	341	277	966	852	787
20	4.000	4.000	3.524	2.872	387	341	277	966	852	787
21	6.000	6.000	5.010	3.624	466	389	281	776	648	561
22	6.000	6.000	5.010	3.624	466	389	281	776	648	561
23	6.000	6.000	5.010	3.624	466	389	281	776	648	561

Tabla VII-2. Casos referenciados a los modelados en el Cropwat

Luego se compararon los resultados con los valores del Aquacrop.

ID	HH CON AQUACROP					
	HH m3/tn Nivel de estrés medio	HH m3/tn Nivel de estrés moderado	HH m3/tn Nivel de estrés near	Rend Kg/ha	HH m3/ton	Uso Real mm/ha
1	1.724	1.563	1.176	2.163	1.724	373
2	1.667	1.724	1.493	2.165	1.724	373
3	1.754	1.786	1.429	2.166	1.786	387
4	1.493	1.515	1.205	2.222	1.515	337
5	581	541	420	9.882	581	575
6	505	467	402	7.263	505	367
7	641	610	529	7.193	641	461
8	529	510	410	10.359	529	548
9	1.515	1.370	1.124	2.729	1.515	413
10	1.471	1.351	1.149	2.565	1.471	377
11	-	1.515	1.205	2.767	1.515	419
12	971	847	680	5.874	680	400
13	971	893	719	5.703	719	410
14	971	847	690	5.970	690	412
15	952	862	690	5.239	690	361
16	1.235	1.053	833	3.811	1.053	401
17	877	813	671	3.984	877	349
18	935	806	680	3.810	935	356
19	840	806	662	4.003	840	336
20	1.316	1.163	893	5.347	893	477
21	855	820	690	4.803	820	394
22	855	820	685	4.803	820	394
23	820	826	671	4.541	826	375

Tabla VII-3. Casos modelados en el Aquacrop y diferencia entre los valores de Huella Hídrica

Los valores de Huella Hídrica resaltados en verde, son los que se encuentran dentro del rango de los obtenidos en la modelación del Cropwat, mientras que los resaltados en amarillo y rojo son los que se encuentran por debajo y por encima respectivamente.

Si se comparan los rendimientos entre los registrados por AACREA, los modelados por el AquaCrop (AC) y los modelados por el CropWat (CW) se visualizan las siguientes diferencias con los años puntuales de los ensayos.

	Rend. AACREA	Rend.AC	Rto Max CW	Rto H CW	Rto N CW	Rto S CW
ID	Kg/Ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
1	1309	2.163	2.720	1.849	1.618	1.208
2	2442	2.165	3.000	2.471	2.211	1.889
3	1883	2.166	2.720	1.858	1.692	1.493
4	2778	2.222	1.600	1.026	922	846
5	8482	9.882	8.500	6.945	5.806	4.565
6	8344	7.263	12.000	10.686	9.276	7.245
7	6085	7.193	7.000	4.690	3.885	3.213
8	6706	10.359	9.500	8.123	6.508	5.140
9	1816	2.729	3.285	3.016	2.732	2.421
10	2776	2.565	3.800	3.378	3.036	2.538
11	4015	2.767	3.400	2.743	2.489	2.157
12	6270	5.874	6.500	6.500	6.500	4.823
13	3653	5.703	6.000	6.000	4.848	3.606
14	5647	5.970	6.000	6.000	4.848	3.606
15	6682	5.239	6.500	6.500	6.500	5.668
16	5733	3.811	4.800	4.608	3.893	3.096
17	5740	3.984	4.800	4.608	3.893	3.096
18	5475	3.810	4.000	4.000	3.524	2.872
19	5668	4.003	4.000	4.000	3.524	2.872
20	5455	5.347	4.000	4.000	3.524	2.872
21	6160	4.803	6.000	6.000	5.010	3.624
22	6766	4.803	6.000	6.000	5.010	3.624
23	4040	4.541	6.000	6.000	5.010	3.624

**Tabla VII-4: Comparación de rendimientos con los registrados por AACREA**

	Rend.AC	Rto Max CW	Rto H CW	Rto N CW	Rto S CW
ID	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
1	-65%	-108%	-41%	-24%	8%
2	11%	-23%	-1%	9%	23%
3	-15%	-44%	1%	10%	21%
4	20%	42%	63%	67%	70%
5	-17%	0%	18%	32%	46%
6	13%	-44%	-28%	-11%	13%
7	-18%	-15%	23%	36%	47%
8	-54%	-42%	-21%	3%	23%
9	-50%	-81%	-66%	-50%	-33%
10	8%	-37%	-22%	-9%	9%
11	31%	15%	32%	38%	46%
12	6%	-4%	-4%	-4%	23%
13	-56%	-64%	-64%	-33%	1%
14	-6%	-6%	-6%	14%	36%
15	22%	3%	3%	3%	15%
16	34%	16%	20%	32%	46%
17	31%	16%	20%	32%	46%
18	30%	27%	27%	36%	48%
19	29%	29%	29%	38%	49%
20	2%	27%	27%	35%	47%
21	22%	3%	3%	19%	41%
22	29%	11%	11%	26%	46%
23	-12%	-49%	-49%	-24%	10%

**Tabla VII-5: Comparación de rendimientos en porcentaje con los registrados por AACREA**

Comparando los rendimientos del Aquacrop promedio por cultivo, los modelados y los registrados a partir de los ensayos de AACREA, se observa que se encuentran dentro de los rangos cercanos a los rendimientos modelados como CW H (Cropwat para periodos húmedos).

Estadísticos descriptivos						
CULTIVO		N	Media	Mínimo	Máximo	Desv. típ.
Girasol	RtoAACREA	4	2.103	1.309	2.778	645
	ACRend	4	2.179	2.163	2.222	29
	CWRtoMax	4	2.510	1.600	3.000	621
	CWRtoH	4	1.801	1.026	2.471	593
	CWRtoN	4	1.611	922	2.211	530
	CWRtoS	4	1.359	846	1.889	441
	N válido (según lista)	4				
Maíz	RtoAACREA	4	7.404	6.085	8.482	1.193
	ACRend	4	8.674	7.193	10.359	1.682
	CWRtoMax	4	9.250	7.000	12.000	2.102
	CWRtoH	4	7.611	4.690	10.686	2.496
	CWRtoN	4	6.369	3.885	9.276	2.233
	CWRtoS	4	5.041	3.213	7.245	1.677
	N válido (según lista)	4				
Soja	RtoAACREA	3	2.869	1.816	4.015	1.102
	ACRend	3	2.687	2.565	2.767	107
	CWRtoMax	3	3.495	3.285	3.800	270
	CWRtoH	3	3.046	2.743	3.378	319
	CWRtoN	3	2.752	2.489	3.036	274
	CWRtoS	3	2.372	2.157	2.538	195
	N válido (según lista)	3				
Trigo	RtoAACREA	12	5.607	3.653	6.766	934
	ACRend	12	4.824	3.810	5.970	806
	CWRtoMax	12	5.383	4.000	6.500	992
	CWRtoH	12	5.351	4.000	6.500	1.015
	CWRtoN	12	4.674	3.524	6.500	1.056
	CWRtoS	12	3.615	2.872	5.668	846
	N válido (según lista)	12				

**Tabla VII-6: Tabla de comparación de rendimientos modelados en el Cropwat y los de los ensayos de AACREA modelados.**

Las diferencias entre los resultados de los estudios de casos y los modelados, surgen al comparar años puntuales y situaciones particulares con los valores promedios regionales. También cabe aclarar que para un modelado más preciso con el Aquacrop es necesario disponer de mayor detalle de información. De todas formas las diferencias promedios se encuentran dentro de los límites razonables, y se presentan a continuación.

	<b>Comparación de rendimientos medios</b>			
	Girasol	Maíz	Soja	Trigo
<b>Modelado AC vs Registrado</b>	3%	15%	-7%	-16%
<b>Modelado CW Humedo vs Registrado</b>	-17%	3%	6%	-5%

**Tabla VII-7: Comparación de rendimientos**

## VIII. HUELLA GRIS EN CULTIVOS EXTENSIVOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

1º. - Contaminantes que podrían considerarse en el cálculo de huella gris

La Huella Gris, tal como se indicó precedentemente, queda definida por el volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes a niveles de concentración natural del agua o los consignados en las normas de calidad del agua (Hoekstra *et al.*, 2011). Consecuentemente, el componente de agua gris dentro de la huella hídrica de los cultivos, queda establecido por la cantidad y tipo de agroquímicos que son utilizados para producir los cultivos. Los agroquímicos incluyen biocidas en general, y abonos orgánicos e inorgánicos.

En base a las experiencias comentadas en el primer informe, en Mendoza en el cultivo de vid (Instituto Nacional del Agua, Morabito, com. pers.), y en Chile en diversos cultivos, palta, cítricos, uva (Ferreira Espada, com. pers.) consideran que sólo representa un volumen de agua significativo el que se requeriría para contrarrestar la contaminación proveniente de la fertilización nitrogenada en sistemas productivos intensivos a semi-intensivos, y en el caso de Mendoza, han analizado además, la salinización proveniente del riego como posible integrante de la huella gris. Esto último, es también considerado en el Manual para el cálculo de la Huella Hídrica (The Water Footprint Assessment Manual, Hoekstra *et al.*, 2011). Sin embargo, no sólo existen controversias en la pertinencia o no de considerar la salinización posible y volumen de agua necesaria para eliminarla, sino también en considerar las pérdidas de agua en el riego, debido a que se asume que dicha agua retorna de algún modo a la fuente y queda disponible para ser reutilizada. Civit *et al.* (2011), al calcular la huella hídrica del proceso de obtención de biodiesel con aceite de colza y de soja en Mendoza y Córdoba, encuentran también que los fertilizantes son los agroquímicos que tienen más influencia sobre la huella gris.

### 2º. - **Consideraciones sobre el cálculo del agua gris en la huella hídrica**

Respecto al procedimiento de considerar la huella gris en el cálculo de huella hídrica total, resulta importante destacar que no pareciera un procedimiento totalmente adecuado, al menos, por dos motivos principales:

1) No hay consenso en los componentes a incluir en el cálculo, la salinización y/o contaminantes, pudiendo darse argumentos en ambos casos como inapropiado. Por

un lado porque el mayor consumo de agua para lavado de sales se puede considerar que se aporta al agua azul, pero reutilizándose, asimismo, estrictamente no es un contaminante sino un proceso degradativo<sup>1</sup>, y por otro, que normalmente los contaminantes<sup>2</sup> presentes en el suelo y que luego podrán terminar en algún acuífero no se controlan con diluciones y en el caso de que la contaminación sea de tipo difusa se torna hasta incontrolable el cálculo de los volúmenes de agua.

2) Genera la idea errónea de que aplicando un mayor volumen de agua es posible en general controlar los problemas de degradación<sup>1</sup>- contaminación<sup>2</sup>. Esto es posible solo en algunas circunstancias, dependiendo principalmente del tipo de degradación -contaminación, calidad del agua, manejo, y tipo de suelo.

<sup>1</sup>Degradación, término genérico que implica una pérdida de la calidad del suelo. Calidad de suelo, según Doran y Parkin (1994, en Civeira *et al.*, 2011) se define como la capacidad del suelo para sostener una productividad biológica, funcionando dentro de los límites del ecosistema, manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud de las plantas y animales.

<sup>2</sup>Suelo contaminado, aquel que ha sufrido un cambio en sus características químicas, físicas o biológicas, que por su naturaleza, dimensión o duración en el tiempo, resulte incompatible con sus propiedades funcionales de uso o suponga una amenaza grave para la salud pública o el medio ambiente.

Civeira *et al.*, 2011 señalan que si bien los términos calidad y salud son utilizados como sinónimos por algunos autores, citan a Moscatelli *et al.* (2006) quienes describen a la calidad como la condición natural de los suelos y a la salud como el grado de mantenimiento de esa calidad.

#### **t.- Sistemas intensivos y sistemas extensivos en la provincia de Buenos Aires**

En base a lo expuesto cabe analizar las características productivas de los cultivos que se producen en la provincia de Buenos Aires, producciones intensivas, semi-intensivas y extensivas.

Si bien en el presente estudio, solo se analizan los cultivos de grano exportables, se considera importante plantear en que sistemas productivos la contaminación en Argentina es significativa, y consecuentemente, estudios asociados a la Huella Gris

adquieren relevancia. Esta distinción resulta importante destacar ya que en muchos sitios del mundo la contaminación, principalmente por fertilizantes, se produce tanto para las producciones de granos como de productos hortícolas. Por este motivo, se plantea que la Huella Hídrica deba estar en general, constituida también por el agua gris (Hoekstra *et al.*, 2011).

Asimismo, es frecuente que la necesidad de agua gris se asocie al agua azul, debido a que los sistemas más intensivos se realizan con riego. Esto es particularmente cierto cuando en el concepto de Huella gris-agua gris se considera a la salinización. En general, los sistemas productivos con riego, implican mayores riegos por contaminación ya que con frecuencia el riego (agua azul) se realiza en sistemas productivos intensivos donde a aplicación de fertilizantes resulta en general importante.

Cabe destacar, que no se analizan los sistemas ganaderos los cuales efectivamente se constituyen en importantes fuentes de contaminación, principalmente en los *feed lot* (ganado concentrado en pequeñas superficies).

En el presente estudio, se considera entonces pertinente, plantear las diferencias sustanciales que existen respecto a otros sitios del mundo, donde los cultivos tanto de grano como hortícolas suelen presentar problemas de contaminación por fertilizantes donde además, el riego resulta una práctica habitual.

## 2) Sistemas productivos intensivos y semi-intensivos

Los estudios sobre degradaciones-contaminación por agroquímicos en general y específicamente por fertilizantes, son importantes en cultivos intensivos, que se desarrollan en los denominados Cinturones hortícolas, ubicados alrededor de las grandes ciudades, Entre estos se destaca el Cinturón Hortícola Metropolitano (Buenos Aires), Cinturón Hortícola Gran La Plata, ambos integrando el Centro Regional Buenos Aires Norte de producción hortícola (aproximadamente 18.000ha); y en el sudeste de Buenos Aires, principalmente en los partidos de Alvarado, Necochea, Balcarce, Lobería y Tandil, donde se destacan otros cinturones hortícolas de importancia, ocupando un total de 50.000has cultivadas, de las cuales 10.000ha corresponden principalmente a cultivos hortícolas, y 40.000ha al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) (Di Benedetto, 2005).

En general en estos esquemas productivos a los pocos años de iniciada la producción protegida, los rendimientos de los cultivos disminuyen debido a degradaciones del suelo vinculados entre sí: salinización, alcalinización, disminución de permeabilidad, encharcamiento, desequilibrios nutritivos y desarrollo de enfermedades. En parte, estas degradaciones, tienen su origen en la fertilización excesiva que conduce a una situación de hiperfertilización, con mayores costos productivos y daño ambiental (Alconada y Huergo, 1998; Giuffré et al., 2004). La aplicación de fertilizantes inorgánicos y abonos orgánicos, es continua, y se realiza sin considerar la riqueza y potencialidad productiva del suelo, ni las consecuencias en el ambiente. En general, se aplican dosis de fertilizantes preestablecidas, transfiriendo las recomendaciones desarrolladas para otras condiciones ambientales e incluso sistemas productivos.

Consecuentemente, en estos esquemas productivos la Huella gris resultaría muy elevada, no solo porque se requiere disminuir la salinización-alcalinización, asociada al riego, calidad de suelo-agua y manejo (Alconada y Zembo, 2000), así como la salinización producto de los abonos aplicados en exceso (Alconada *et al.*, 2011), sino además, por la elevada concentración de  $\text{NO}_3$  que llega al agua subterránea (Auge y Navy, 1999).

Sin embargo, es importante destacar, que el agregado de mayores volúmenes de agua que se constituiría en la Huella Gris, no conduciría necesariamente en estos esquemas a mejorar la productividad, rentabilidad y calidad del medio natural. Consecuentemente, antes de considerar controlar degradaciones-contaminaciones mediante mayores volúmenes de agua, deben ajustarse las prácticas de manejo suelo-agua-planta a las reales necesidades del medio. El manejo del agua estaría destinado a controlar la salinización-alcalinización que normalmente se produce en la agricultura con riego, dependiendo del tipo de suelo, calidad de agua y manejo (Pla Sentis, 2005). Los excesos de nitratos así como de otros agroquímicos en sistemas productivos intensivos pueden ser controlados y no necesariamente conducir a la degradación-contaminación del ambiente.

A modo de ejemplo, respecto a problemas derivados del mal manejo, puede mencionarse lo que sucede en cultivos de tomate protegido en el Cinturón Hortícola del Gran La Plata. Se aplican dosis de fertilizantes de hasta  $1.000 \text{ Kg N ha}^{-1}$ , y se agregan dosis de estiércoles de hasta  $40 \text{ Tn ha}^{-1}$  que representa aproximadamente

900 Kg N ha<sup>-1</sup>, siendo en general necesario en base a los rendimientos obtenidos promedio en la región, dosis de 300-400 Kg N ha<sup>-1</sup>, por lo cual se generan excesos que pueden ser superiores a 1.000 Kg N ha<sup>-1</sup>. La hiperfertilización es manifiesta y genera consecuencias negativas en el ambiente, productivas y económicas (Alconada y Huergo, 1998; Alconada *et al.*, 2000; Giuffré *et al.*, 2004, Poncetta *et al.*, 2006) situación que ha sido también reportada en muchos sitios del mundo (Moorman, 1998; Karami y Ebrahimi, 2000).

Sin embargo, en base a lo que a continuación se analiza, esto no es lo que sucede en las producciones extensivas de cultivos soja, trigo, maíz, y girasol, en la provincia de Buenos Aires.

### 3) Sistemas productivos extensivos

Tal como se mencionó, en Chile (Ferreira Espada, com. pers.) y estudios en Argentina (Moravito, com. pers., Civit *et al.* (2011), la única variable que podría tener incidencia en el componente gris de la Huella hídrica es la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Esto es debido a que es el fertilizante que más se utiliza en todos los cultivos, y por la naturaleza móvil del N que bajo la forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> alcanza en tiempos variables, dependiendo del tipo de suelo, aunque en general cortos, el agua subterránea provocando una *contaminación de tipo difusa* ya que no se circunscribe al sitio donde esta contaminación llega sino que se extiende en amplias áreas e incluso diferentes acuíferos.

Por lo cual, aun conociendo las cantidades en exceso de N que pueden alcanzar los acuíferos resulta a priori muy difícil e incluso imposible establecer que volúmenes adicionales habría que agregar para que en el o los acuíferos afectados se mantenga el nivel de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en niveles inferiores a 45 ppp del agua que es el nivel requerido para considerar un agua apta para consumo humano. Se destaca que si bien el concepto de agua gris, hace referencia a las necesidades de agua para que se mantenga un contaminante en los niveles naturales, en forma natural los acuíferos no presentan contenidos elevados de N, solo en sitios muy puntuales pueden detectarse niveles algo más elevados que se asocian a elevados contenidos de materia orgánica de los suelos, ya que las rocas no aportan N. El N proviene de la atmósfera y es fijado por las plantas y microflora-fauna edáfica o de cuerpos de agua superficiales.

Las técnicas desarrolladas para controlar contaminantes son diversas, en general son efectivas o han sido más desarrolladas para elementos capaces de ser retenidos por coloides, o que puedan ser transformados en productos inocuos o menos contaminantes (barreras, bioremediación). En el caso de los  $\text{NO}_3^-$ , como se indicó, no son retenidos dada su naturaleza móvil y carga eléctrica negativa que impide su adsorción en los coloides que prevalecen en el suelo y sedimentos. Las bacterias participan en diversas transformaciones de los compuestos, generalmente mediante enzimas, o ante la ausencia de  $\text{O}_2$ , utilizan otros compuestos como aceptores de electrones provenientes de la oxidación de la materia orgánica, tales como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  entre otros elementos que tienen más de un estado de valencia y participan de los procesos de óxido-reducción. Estos procedimientos son utilizados en la zona no saturada o saturada poco profunda.

La contaminación que podría producirse depende no solo de la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  en exceso aplicado, que no es utilizado para producir materia seca por los cultivos, sino además, del tipo de suelo y características del acuífero.

#### **ii.- Necesidades de los cultivos, balances extracción- reposición**

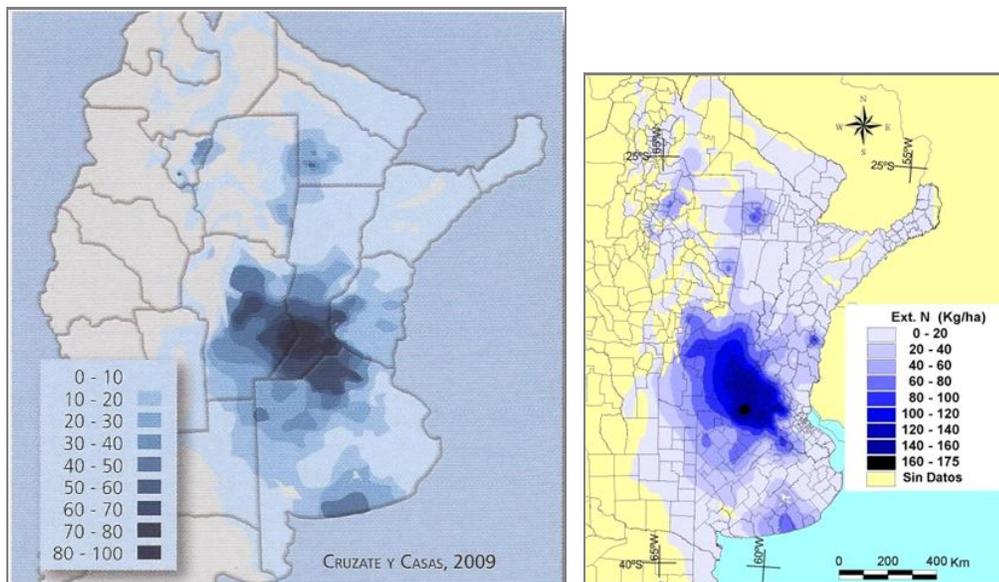
En la Tabla siguiente (extraída de Ciampitti y García, 2007) se presenta la absorción total de macronutrientes por tonelada de producción de los cultivos soja, maíz, trigo, cebada, girasol y sorgo, y cuanto efectivamente es extraído por dichos cultivos en los granos u órganos cosechables, y consecuentemente debería ser repuesto a fin de evitar el empobrecimiento paulatino del suelo, tal como se produce actualmente en forma sostenida debido a un manejo que no considera los costos a largo plazo, al no considerar las pérdidas de nutrientes que anualmente se producen en los actuales sistemas productivos, y cuánto costaría reponerlos mediante una fertilización racional.

Cultivos	Absorción Total (kg/ton)						Extracción (kg/ton)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
<b>Soja</b>	<b>66</b>	<b>6</b>	<b>35</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>49</b>	<b>5.4</b>	<b>17</b>	<b>2.7</b>	<b>3.1</b>	<b>2.8</b>
<b>Maíz</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0.2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Trigo</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0.4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Cebada</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Girasol</b>	<b>40</b>	<b>11</b>	<b>29</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Sorgo</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>21</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Tabla VIII-1. Requerimientos nutricionales: absorción y extracción de macronutrientes

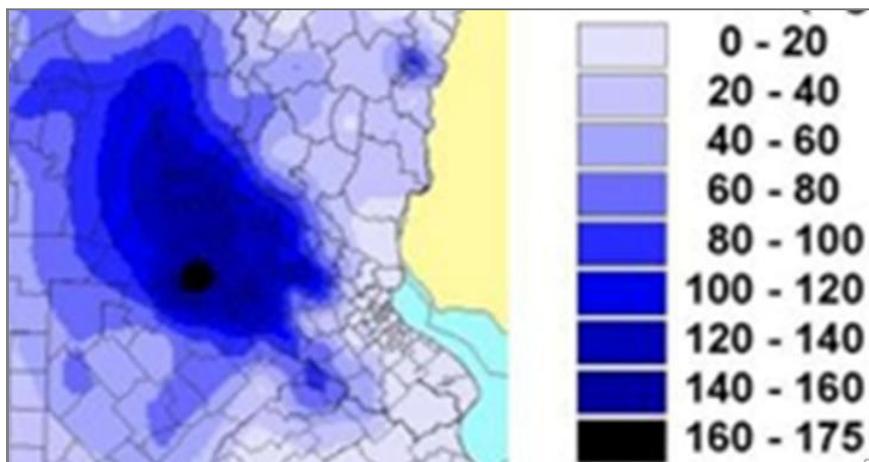
Fuente: (extraída de de Ciampitti y García, 2007) [www.iacs.ipni.net](http://www.iacs.ipni.net)

Específicamente para N, en los siguientes mapas se presenta la extracción de N por parte de los cultivos en dos campañas diferentes (Cruzate y Casas, 2009, y Cruzate y Casas, 2012). Se aprecian consumos de hasta 100 kg/ha de N en la región norte, donde se dan los mayores rendimientos para la campaña 2006 y 2007, y para igual zona, elevan hasta máximos de 160 Kg/ha, con un sector de hasta 175 Kg/ha, atribuible al doble cultivo y a los mayores rendimientos obtenidos. Se presenta un detalle donde muestra el sector con más altos consumos de N (Cruzate y Casas, 2012).



**Mapa 79. Extracción de Nitrógeno por granos, kg/ha/año durante la campaña 2006-2007**

Fuente: (extraída de Cruzate y Casas, 2009, izquierda), y en posteriores campañas (Cruzate y Casas, 2012, derecha)



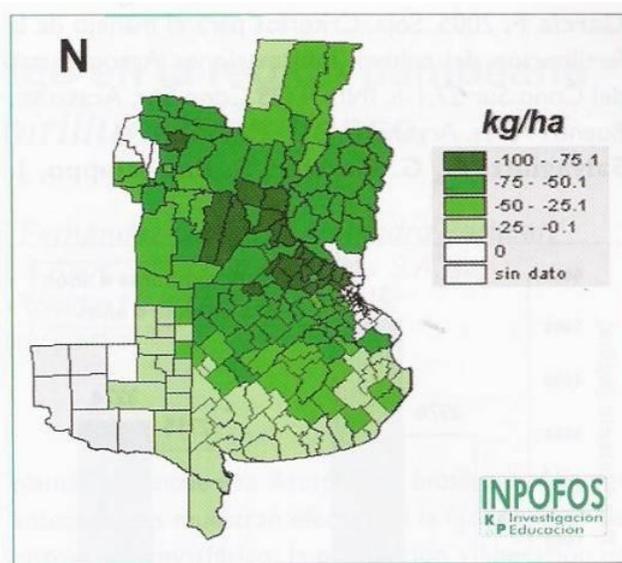
**Mapa 80. Detalle sobre extracción de Nitrógeno por granos, kg/ha/año**

Fuente: (extraída Cruzate y Casas, 2012, derecha)

Si se comparan las necesidades de los cultivos, principalmente en N, P, K y S, y las aplicaciones a través de los fertilizantes, se aprecia claramente un balance negativo. Los suelos progresivamente van perdiendo su fertilidad no solo por las degradaciones frecuentes, como erosión, compactación, pérdida de materia orgánica, pérdida de estructura y de la biodiversidad, aparición de plagas-enfermedades, salinizaciones en sitios con riego, sino por una continua extracción

de nutrientes por parte de los cultivos que no son devueltos al sistemas a través de los rastrojos, por lo tanto, aun en sistemas conservacionistas como la Siembra Directa, se producen balances negativos en algunos nutrientes.

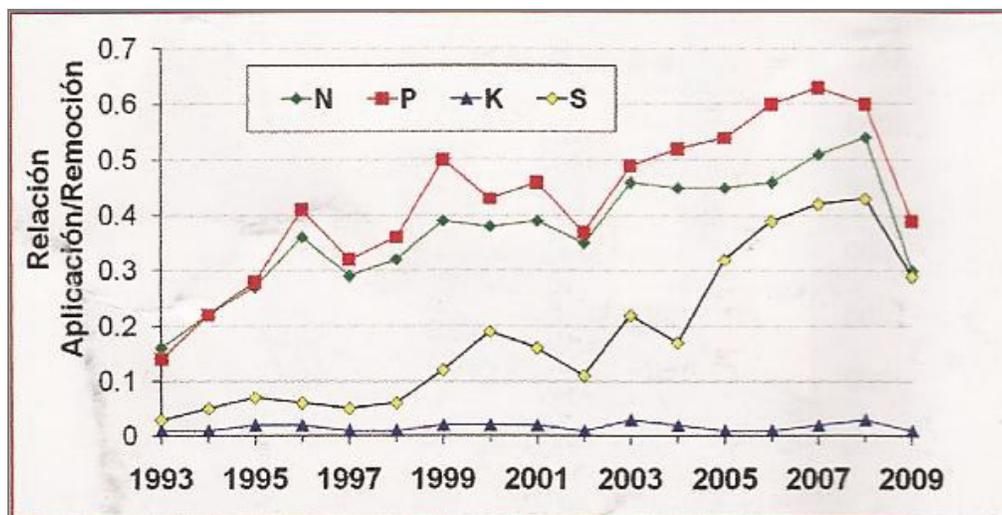
García (2006) presenta el balance anual de nitrógeno, diferencia entre la reposición por fertilizantes, y la extracción de los cultivos de granos. Se aprecia que en todas las regiones el balance es negativo, consecuentemente, no obstante estos son valores promedio regionales, muestran déficit de N principalmente en las regiones con mayor proporción de suelos agrícolas, tal como en la zona norte con déficit de hasta 100 kg/ha de N.



**Mapa 81. Balance anual de nitrógeno: reposición – extracción (kg/ha N)**

Fuente: (extraída de García, 2006)

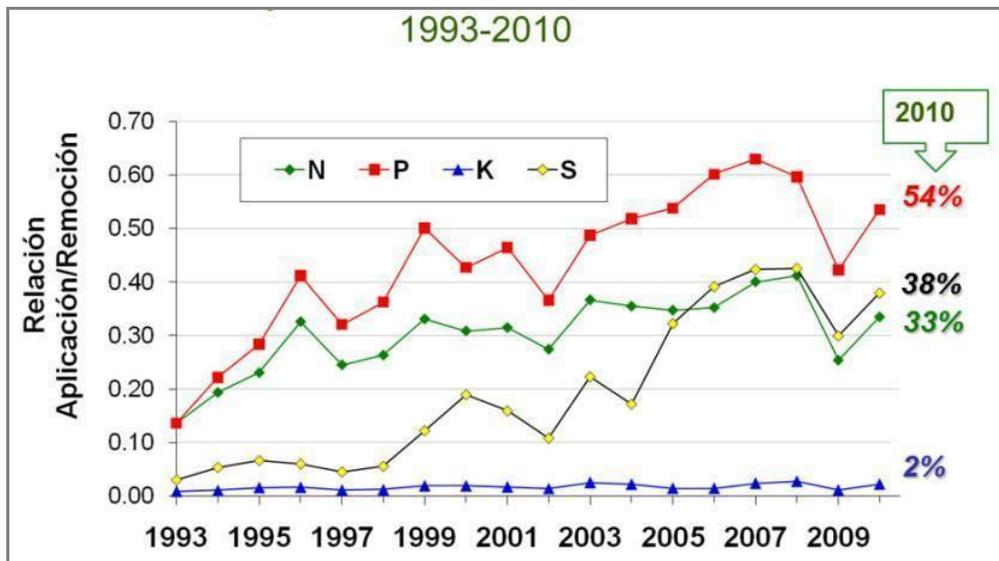
García y González San Juan (2010) analizan el balance de nutrientes en Argentina, considerando el N, P, K, y S. Se aprecia que entre el año 1993 y 2009, se produce un balance negativo, incrementando paulatinamente debido a los mayores rendimientos sin aportes en igual sentido (extraída de García y González San Juan, 2010).



**Gráfico VIII-1. Evolución de la relación aplicación/extracción en grano de N, P, K y S para los cuatro cultivos principales (soja, maíz, trigo y girasol), en Argentina entre 1993 y 2009**

Fuente: (extraída de García y González San Juan, 2010)

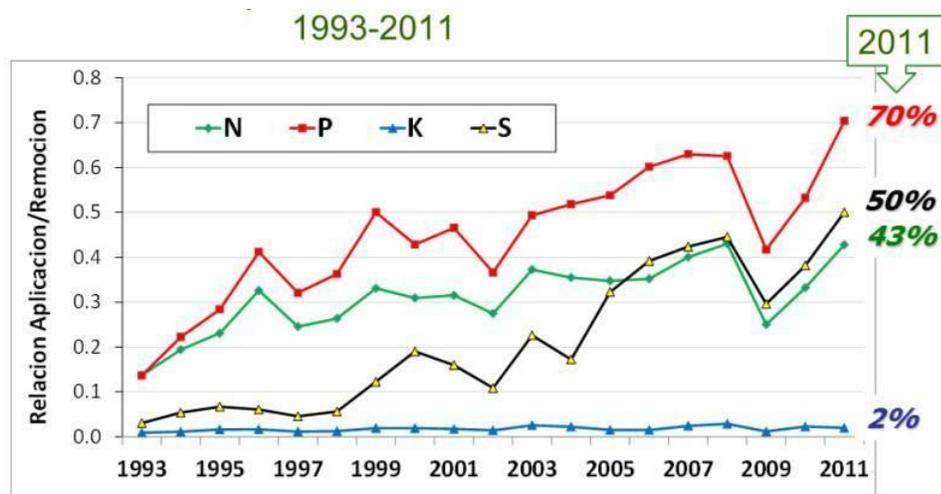
Esta situación continua, tal como presenta García (2012), extendiendo el análisis reposición/extracción. En la Ilustración (extraída de García, 2012), se presentan las relaciones aplicación/extracción de N, P, K y S en cultivos extensivos entre los años 1993-2010. En la campaña 2009/10 se repuso sólo el 27% del N, P, K y S extraídos en soja, maíz, trigo y girasol. Se aprecia a la derecha del gráfico, como se recuperan los balances negativos para el año 2010, luego de la drástica caída del 2008/09, (debida al aumento del precio de los Fertilizantes y a la caída en el precio de los granos) el principal nutriente que paulatinamente se empobrece es el N, le sigue el S y luego el P; los dos primeros principalmente asociados a la pérdida de materia orgánica.



**Gráfico VIII-2. Relaciones entre aplicación/extracción de N, P, K y S en cultivos extensivos entre los años 1993-2010**

Fuente: (extraída de García, 2012, elaborada con datos de SAGPyA y Fertilizar AC. 2011)

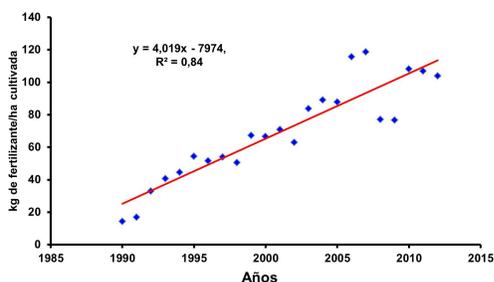
En la Ilustración siguiente (extraída de García, 2012, elaborada con datos de SAGPyA y Fertilizar AC. 2011), se presentan las relaciones aplicación/extracción de N, P, K y S en cultivos extensivos entre los años 1993-2011. En la campaña 2010/11 se repuso el 35% del N, P, K y S extraídos en soja, maíz, trigo y girasol. Al aumentar el análisis un año más, respecto a la Ilustración 6, se aprecia que el balance negativo disminuye marcadamente, así en P es del 70%, le sigue el N con 50% y el S con 43%.



**Gráfico VIII-3. Relaciones entre aplicación/extracción de N, P, K y S en cultivos extensivos entre los años 1993-2011**

Fuente: (extraída de García, 2012, elaborada con datos de SAGPyA y Fertilizar AC. 2011)

García y Darwich (2009), efectúan un análisis sobre la evolución del consumo de fertilizantes por ha cultivada entre los años 1990 y 2009. Los mismos autores agregan luego valores de consumo entre 2009 y 2011, los cuales se muestran en la Ilustración 8. En esta ilustración podemos apreciar que la cantidad de fertilizante aplicada por ha cultivada creció desde 1990 hasta 2007 a una tasa sostenida, superándose en 2007/08 los 100 kg/ha cultivada, pero luego de la crisis del 2008 este valor cae a 70 kg/ha cultivada (2008/2009) para superar nuevamente este guarismo en 2010/11.



**Gráfico VIII-4. Evolución del consumo de fertilizantes por ha cultivada entre 1990 y 2011**

Fuente: (extraída de García y Darwich, 2009)

Si bien, lo presentado son valores promedios, regionales, y lo que sucede en cada sitio en particular depende de un gran número de variables relacionados con el

ambiente, suelo, clima, y de manejo del cultivo, el empobrecimiento paulatino de los suelos es evidente.

A modo de ejemplo, se presenta en la Tabla siguiente, indicadores de eficiencia de uso del agua, y de N según el manejo efectuado en un cultivo de Maíz en las experimentales de Paraná y Balcarce (García 2012. com. pers.). Tal como se aprecia, aun en situaciones de mayor eficiencia de manejo del agua, y de uso del N, como se observa en las columnas denominadas EI (manejo intensificado), el balance de N resulta negativo, siendo de -121 Kg/ha de N, y -147 para Paraná y Balcarce respectivamente y más grave aun para el modo manejo productor (FP), (-186 y - 173 kg/ha de N) respectivamente.

Índice	INTA Paraná		INTA-FCA Balcarce	
	EI	FP	EI	FP
Productividad de Agua (kg/mm)	6.7 a	5.1 b	9.9 a	8.3 b
Eficiencia de Uso de Agua (kg/mm)	12.3 a	9.4 b	13.9 a	11.8 b
Eficiencia de Captura de Agua (mm/mm)	0.59	0.59	0.71	0.70
Productividad Parcial de N (kg/kg N)	108 b	132 a	78 b	90 a
Eficiencia Fisiológica de Uso de N (kg/kg N)	34.3 a	26.4 b	45.8 a	41.3 b
Balance de N (kg/ha)	-121 a	-186 b	-147 a	-173 b

**Tabla VIII-2. Eficiencia de uso del agua, y de N según el manejo efectuado en un cultivo de Maíz en las experimentales de INTA Paraná y Balcarce**

Fuente: (adaptado de O. Caviglia, R. H. Rizzalli et al 2012.)

Referencias: EI= Manejo Intensificado FP= Farm Practice o manejo modal Productor

### 3º. - **Conclusiones sobre la Huella Hídrica Gris**

Los elementos contaminantes y/o procesos degradativos como la salinización, resultantes de un proceso productivo son los que la bibliografía menciona como susceptibles de ser controlados mediante volúmenes de agua adicional, Agua Gris, integrándose entonces al consumo total de agua para producir un cultivo: Huella Hídrica total.

La controversia de lo que efectivamente se considera como contaminante susceptible de asociarse a la Huella Hídrica gris, y el hecho de que en general un contaminante no es controlado por la aplicación de mayores volúmenes de agua, o que es de tan difícil aplicación que lo torna en poco probable (ejemplo, contaminación difusa por nitratos de acuíferos), sugiere que el procedimiento propuesto para calcular el agua que un cultivo requiere debe ser revisado al menos en estos aspectos.

Resulta importante no generar la falsa idea que un mayor volumen de agua aplicado durante la producción de un cultivo, o luego de este, sea suficiente para contrarrestar los efectos negativos de un mal manejo que condujo a una contaminación.

El manejo de suelo, agua y planta, debe ser ajustado previo a cualquier consideración de control de un daño ya infringido, máxime cuando en muchos casos, este muy posiblemente tampoco pueda ser controlado por esta vía.

El sistema de manejo, intensivo, semi-extensivo o extensivo, determina el tipo, magnitud y tiempo en que una degradación o contaminación ocurre.

En la provincia de Buenos Aires, todos los sistemas productivos generan algún tipo de degradación, física, química, o biológica. La contaminación deriva del agregado de agroquímicos, los cuales son manejados en general con escasos controles en los sistemas intensivos, principalmente en los Cinturones Hortícolas, y otros semi-intensivos, y derivan en serios problemas de sustentabilidad productiva, ambiental, económica y social.

Se acepta en general, que el elemento contaminante significativo, más probable, es el N, por ser el fertilizante que más se agrega y dada su alta movilidad. Así, puede llegar en tiempos variables, pero cortos en general, a los acuíferos, dependiendo de las características del suelo, existencia o no de riego, dosis agregadas y características del cultivo.

Los cultivos extensivos, objeto de este estudio, se caracterizan por ser producidos sin reponer la extracción que realizan los cultivos. Así, no se agregan fertilizantes en cantidad suficiente, esto lleva a un empobrecimiento paulatino de los suelos. Esto, sumado a otras cuestiones de mal manejo, destacando el monocultivo, conduce a diferentes degradaciones, pero no supone contaminaciones debidas a la aplicación de N.

Por lo expuesto, la producción de soja, trigo, maíz, y girasol, conforme son producidos en la provincia de Buenos Aires, no generaría concentraciones de N ni en el suelo ni el agua de acuíferos como para requerir una cantidad de agua adicional para su dilución, conforme supone el concepto de Huella Gris.

Los sistemas productivos ganaderos no se han considerado en esta presentación, sin embargo, suponen fuertes contaminaciones derivados de las heces, esto adquiere particular importancia en los sistemas Feed Lot. Esto requiere de un estudio detenido, ya que en general, estas prácticas son realizadas sin controles sobre el ambiente y conducen irremediablemente a serios problemas de contaminación en los acuíferos.

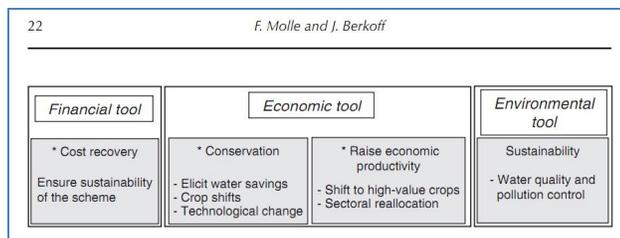
## **IX. IMPACTO ECONÓMICO DEL AGUA EN LA MODELACION REALIZADA.**

### **1º. - Introducción**

Existe una profusa bibliografía respecto de la valoración económica de los bienes ambientales, entre los cuales, se encuentra el agua. Durante las últimas décadas se ha tendido a valorar el agua como un simple recurso productivo, relegando al olvido otros muchos valores de carácter ambiental y social que posee, y que hoy es ineludible considerar. Por ello es necesaria una valoración económica rigurosa que parta de la contabilidad y análisis de los costos y beneficios que se derivan del uso del agua como factor productivo, tanto en el sector agrario, como en el industrial y en el de servicios. Desde esta perspectiva, la valoración del agua en función de los costos que induce su disponibilidad debería ser, cuando menos, un punto de partida. La amortización de infraestructuras, junto a costos de mantenimiento y gestión de los sistemas de regulación, transporte y distribución serían, en este sentido, la base del valor económico de los suministros urbanos, industriales y agrícolas.

Ahora bien, el valor económico de un bien no depende sólo de los costos que exige su disponibilidad, sino también de su utilidad y escasez. En el caso del agua, la utilidad implica, cada vez de forma más relevante, considerar la calidad del recurso, pues tanto la productividad en sus diversos usos dependen en gran medida de sus características fisicoquímicas. Desde un punto de vista económico, de estricta eficiencia en la asignación, la sociedad debería procurar que las necesidades que se satisfacen con un determinado uso del recurso no fuesen menos prioritarias que aquéllas que se sacrifican al no poder contar con él en las mismas condiciones de tiempo, espacio geográfico, gradiente, salinidad, calidad, etc. En otras palabras: que no tengan un menor valor social. Como es natural, siendo el agua un recurso de primera necesidad, esta función esencial para la vida de las personas domina sobre cualquier otra.

Por otro lado, la creciente valoración de las funciones ambientales del agua y de su trascendencia sobre el entorno que nos rodea y nos sustenta, así como de los servicios ambientales que brindan y sus repercusiones sobre nuestra salud y calidad de vida, exigen una profundización del concepto de “valor económico del agua”.



**Ilustración IX-1: Valor financiero, económico, y ambiental según Molle y Berkoff**

A continuación se presenta, una conceptualización de la composición del valor económico total del agua (Adaptado de Hodge y Dunn 1992).



**Ilustración IX-2: Diagrama sobre el valor económico del agua**

2º. - **Estimación del producto marginal del agua.**

El producto marginal de un factor de producción variable, hace referencia al aumento de la producción adicional que se obtiene a través de añadir una unidad adicional de ese factor.

Anteriormente ya fue mencionado como el software Cropwat (y el Aquacrop) calculan el factor de disminución de rendimiento basado en “FAO Irrigation & Drainage Paper n. 33 (Doorenbos and Kassam, 1979)” donde se presenta la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 7. Cálculo de disminución de rendimiento en CropWat**

Donde  $Y_a$  y  $Y_m$  hacen referencia al rendimiento actual y el rendimiento máximo, y  $ET_{c,aj}$  y  $ET_{c}$  la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar y la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (mm/día).

El  $K_y$  es el factor de respuesta del rendimiento (adimensional).

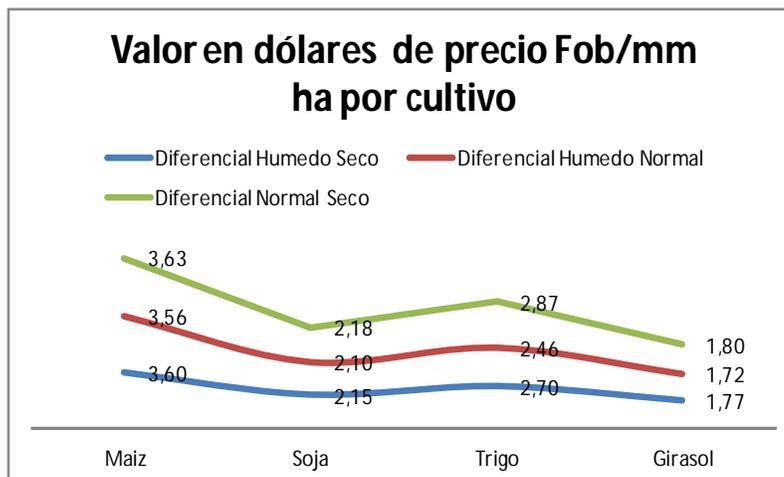
Esta ecuación es la base para el cálculo en las distintas fases fenológicas del cultivo para determinar el impacto que tiene el agua (factor variable) en la producción adicional. En la modelación realizada se asumieron los valores por defecto estimados por FAO para las distintas fases fenológicas de los cultivos. Estos factores son claves, ya que tienen una influencia determinante en los resultados.

### **3°. - Estimación del valor por milímetro de agua adicional para las condiciones evaluadas.**

Obtenidos los valores de consumo de agua para cada cultivo, se promediaron los valores para cada período climático (húmedo, normal y seco), y se estimó el diferencial de rendimiento (modelado con el Cropwat a partir de los estimados por conocimiento experto) para los mismos periodos. De esta forma y multiplicando por el precio FOB (U\$/tn) se obtiene el valor por mm adicional para cada uno de los cultivos evaluados.

Cultivos	US\$	Diferencial de rendimiento			Uso Real del Agua			Estimación del impacto		
		DRto H - S	DRto H - N	DRto N - S	H	N	S	H - S	H - N	H - S
					mm	mm	mm	US\$/mm Ha	US\$/mm Ha	US\$/mm Ha
Maiz	203,17	2,52	1,11	1,42	533,3	470,2	390,8	3,60	3,56	3,63
Soja	411,48	0,77	0,33	0,44	521,9	458,2	374,6	2,15	2,10	2,18
Trigo	263,29	1,42	0,51	0,91	432,9	378,0	294,7	2,70	2,46	2,87
Girasol	448,66	0,55	0,22	0,33	503,8	446,4	364,4	1,77	1,72	1,80

**Tabla IX-1: Estimación del valor para cada condición por mm por cultivo**



**Gráfico IX-1: Dólares precio Fob por mm de uso real del agua**

Calculando los márgenes brutos promedios de los últimos 5 años, se obtienen los siguientes valores:

Rendimientos Maximos				
CULTIVO	Maiz	Soja	Trigo	Girasol
REND (Tn/Ha)	9,035	3,7	4,7	2,4
PRECIO US\$	203,2	411,5	263,3	448,7
IB (US\$/Ha)	1.835,6	1.532,4	1.245,3	1.095,9
CDF (US\$/Ha)	351,1	222,9	301,9	222,4
CDV (US\$/Ha)	669,5	382,2	384,1	229,2
Comerc	29%	18%	23%	12%
Cosecha	7%	7%	7%	9%
<b>MB (US\$/Ha)</b>	<b>815,0</b>	<b>927,3</b>	<b>559,3</b>	<b>644,4</b>

**Tabla IX-2: Márgenes brutos en US\$ corrientes para los rendimientos máximos promedios**

Periodo Humedo				
CULTIVO	Maiz	Soja	Trigo	Girasol
REND (Tn/Ha)	7,1	3,2	4,6	2,1
PRECIO US\$	203,2	411,5	263,3	448,7
IB (US\$/Ha)	1.447,3	1.332,9	1.209,1	927,1
CDF (US\$/Ha)	351,1	222,9	301,9	222,4
CDV (US\$/Ha)	527,9	332,5	373,0	193,9
Comerc	29%	18%	23%	12%
Cosecha	7%	7%	7%	9%
<b>MB (US\$/Ha)</b>	<b>568,3</b>	<b>777,5</b>	<b>534,2</b>	<b>510,8</b>

Tabla IX-3: Márgenes brutos en U\$\$ corrientes para el periodo húmedo

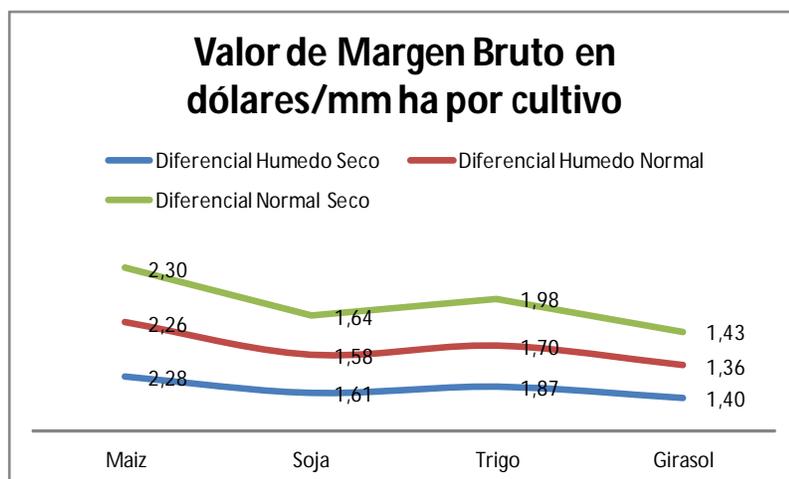
Periodo Humedo Normal				
CULTIVO	Maiz	Soja	Trigo	Girasol
REND (Tn/Ha)	6,02	2,91	4,08	1,85
PRECIO US\$	203,17	411,48	263,29	448,66
IB (US\$/Ha)	1.222,7	1.199,1	1.074,2	828,2
CDF (US\$/Ha)	351,09	222,92	301,91	222,42
CDV (US\$/Ha)	445,97	299,10	331,35	173,17
Comerc	29,48%	17,77%	23,44%	12,28%
Cosecha	7,00%	7,17%	7,41%	8,63%
<b>MB (US\$/Ha)</b>	<b>425,6</b>	<b>677,1</b>	<b>440,9</b>	<b>432,6</b>

Tabla IX-4: Márgenes brutos en U\$\$ corrientes para el periodo normal

Periodo Humedo Seco				
CULTIVO	Maiz	Soja	Trigo	Girasol
REND (Tn/Ha)	4,60	2,47	3,17	1,52
PRECIO US\$	203,17	411,48	263,29	448,66
IB (US\$/Ha)	934,7	1.017,0	835,5	680,4
CDF (US\$/Ha)	351,09	222,92	301,91	222,42
CDV (US\$/Ha)	340,9	253,7	257,7	142,3
Comerc	29,48%	17,77%	23,44%	12,28%
Cosecha	7,00%	7,17%	7,41%	8,63%
<b>MB (US\$/Ha)</b>	<b>242,7</b>	<b>540,4</b>	<b>275,8</b>	<b>315,7</b>

Tabla IX-5: Márgenes brutos en U\$\$ corrientes para el periodo Seco

Se observa que la soja tiene un mayor margen bruto bajo todas las condiciones hídricas analizadas.



**Gráfico IX-2: Dólares de MB por mm de uso real del agua**

Sin embargo cuando se analiza el impacto por mm adicional, tanto a precios Fob como en márgenes brutos, el maíz, seguido del trigo son los cultivos que mejor retribuyen por mm diferencial de uso real del agua. Estos dos valores son coincidentes con la productividad del agua definida a partir de los valores de Ky, pero no para el girasol y la soja donde se invierten los resultados.

4°.-

#### **Estimación del valor de agua para las condiciones evaluadas.**

Asumiendo el diferencial de producción que se obtiene contrastando para cada periodo climático, y multiplicando dicho valor por el precio FOB (U\$/Tn) y el promedio de superficie cosechada de las últimas 5 campañas, se obtiene el monto total en valor bruto de la producción no obtenida debido a las pérdidas de producción (diferencial de rendimiento por la escasez de agua). A continuación se presentan en las siguientes tablas los resultados.

Diferencial H-S						
Cultivos	Kg/ha	Has	Produccion Tn	Precios	U\$S	%
Maiz	2.523	900.536	2.271.806	203	461.562.743	35,4%
Soja	768	4.943.945	3.796.060	411	1.562.002.753	23,7%
Trigo	1.419	2.459.206	3.489.363	263	918.714.393	30,9%
Girasol	550	1.042.134	573.006	449	257.084.981	26,6%
<b>Total</b>					<b>3.199.364.870</b>	

**Tabla IX-6: Estimación del valor para cada la condición H-S total por cultivo**

Diferencial H-N						
Cultivos	Kg/ha	Has	Produccion Tn	Precios	U\$S	%
Maiz	1.106	900.536	995.556	203	202.267.158	15,5%
Soja	325	4.943.945	1.607.255	411	661.353.443	10,0%
Trigo	512	2.459.206	1.259.746	263	331.678.554	11,2%
Girasol	220	1.042.134	229.737	449	103.073.646	10,7%
<b>Total</b>					<b>1.298.372.801</b>	

**Tabla IX-7: Estimación del valor para cada la condición H-N total por cultivo**

Diferencial N-S						
Cultivos	Kg/ha	Has	Produccion Tn	Precios	U\$S	%
Maiz	1.417	900.536	1.276.249	203	259.295.585	23,5%
Soja	443	4.943.945	2.188.805	411	900.649.310	15,2%
Trigo	907	2.459.206	2.229.617	263	587.035.839	22,2%
Girasol	329	1.042.134	343.270	449	154.011.335	17,8%
<b>Total</b>					<b>1.900.992.069</b>	

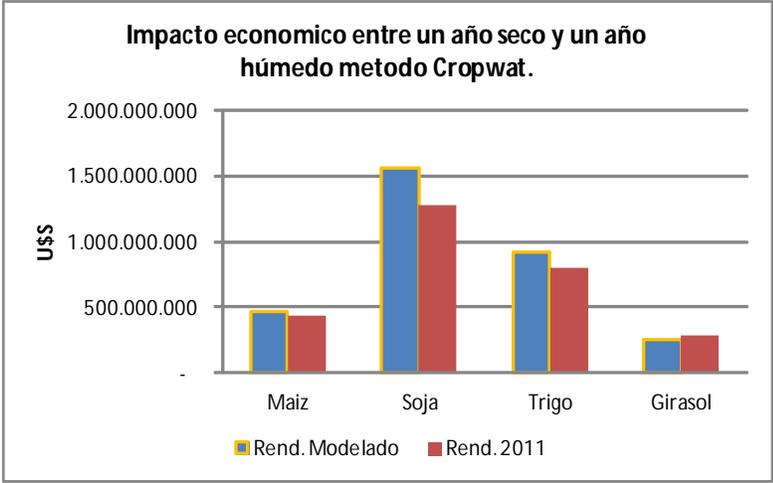
**Tabla IX-8: Estimación del valor para cada la condición N-S total por cultivo**

Se observa que entre los extremos climáticos, donde la diferencia promedio es de 140 mm aproximadamente de uso real del agua para todos los cultivos, el valor total sacrificado por esa diferencia para todos los cultivos de la provincia de Buenos Aires asciende a 3.200 millones de dólares.

Si se realiza la comparación con los porcentajes determinados de disminución de rendimientos entre periodos a partir de las estadísticas oficiales, y se lo compara con los valores de producción del año 2011 a los mismos precios promedios utilizados, los valores totalizan 2.813 millones de dólares.

Cultivos	Diferencial H-S			Diferencial H-N			Diferencial N-S		
	Produccion Tn	U\$S	%	Produccion Tn	U\$S	%	Produccion Tn	U\$S	%
Maiz	2.174.721	441.838.059	35,4%	953.011,6	193.623.359	15,5%	1.446.138,76	293.812.012	23,5%
Soja	3.101.520	1.276.213.498	23,7%	1.313.186,6	540.350.002	10,0%	1.987.830,92	817.952.669	15,2%
Trigo	3.058.179	805.187.865	30,9%	1.104.077,9	290.692.677	11,2%	2.199.454,18	579.094.290	22,2%
Girasol	646.542	290.077.516	26,6%	259.219,5	116.301.415	10,7%	433.579,09	194.529.596	17,8%
<b>Total</b>	<b>8.980.962</b>	<b>2.813.316.938</b>			<b>1.140.967.453</b>		<b>6.067.003</b>	<b>1.885.388.567</b>	

**Tabla IX-9: Estimación del diferencial de valor bruto estimado a valores estadísticos de producción por cultivo entre periodos climáticos.**



**Gráfico IX-3: Comparación del impacto económico**

## X. CONSIDERACIONES FINALES

- En relación a la metodología de cálculo de la Huella Hídrica, se puede observar que, por un lado el Software Cropwat es sencillo de utilizar, el requerimiento de información para su utilización está generalmente disponible, y los resultados que se obtienen se estima que son adecuados. Uno de los aspectos a considerar es el factor de Rendimiento  $K_y$ , mencionado en el desarrollo del trabajo, que resulta ser crítico a la hora de estimar el impacto del agua en la productividad de los cultivos. Por ello se considera importante profundizar la evaluación del impacto de este factor para cada cultivo para precisar los resultados. En relación al Aquacrop, se considera que es un software con mayor sofisticación y nivel de detalle para la modelización, ofreciendo mayor versatilidad para la representación de condiciones reales ya que permite modelar mayor cantidad de variables, pero también esto requiere que se disponga de mayor detalle de información para su utilización.

- En relación a la Huella Gris, tal como se mencionó, los elementos contaminantes y/o procesos degradativos como la salinización, resultantes de un proceso productivo son los que la bibliografía menciona como susceptibles de ser controlados mediante volúmenes de agua adicional, Agua Gris, integrándose entonces al consumo total de agua para producir un cultivo: Huella Hídrica total. La controversia de lo que efectivamente se considera como contaminante susceptible de asociarse a la huella gris, y el hecho de que en general un contaminante no es controlado por la aplicación de mayores volúmenes de agua, o que es de tan difícil aplicación que lo torna en poco probable (ejemplo, contaminación difusa por nitratos de acuíferos), sugiere que el procedimiento propuesto para calcular el agua que un cultivo requiere debe ser revisado al menos en estos aspectos. Resulta importante no generar la falsa idea que un mayor volumen de agua aplicado durante la producción de un cultivo, o luego de este, sea suficiente para que contrarreste los efectos negativos de un mal manejo que condujo a una contaminación. Para la contaminación deriva del agregado de agroquímicos, los cuales son manejados en general con escasos controles en los sistemas intensivos, principalmente en los Cinturones Hortícolas, como también los semintensivos, y derivan en serios

problemas de sustentabilidad productiva, ambiental, económica y social. Se acepta en general, que el elemento contaminante significativo, más probable, es el N, por ser el fertilizante que más se agrega y dada su alta movilidad. Así, puede llegar en tiempos variables, pero cortos en general, a los acuíferos, dependiendo de las características del suelo, existencia o no de riego, dosis agregadas y características del cultivo. Los cultivos extensivos, objeto de este estudio, se caracterizan por ser producidos sin reponer la extracción que realizan los cultivos. Así, no se agregan fertilizantes en cantidad suficiente, esto lleva a un empobrecimiento paulatino de los suelos. Esto, sumado a otras cuestiones de mal manejo, destacando el monocultivo, conduce a diferentes degradaciones, pero no supone contaminaciones debidas a la aplicación de N. Por lo expuesto, la producción de soja, trigo, maíz, y girasol, conforme son producidos en la provincia de Buenos Aires, no generaría concentraciones de N ni en el suelo ni el agua de acuíferos como para requerir una cantidad de agua adicional para su dilución, conforme supone el concepto de Huella Gris.

- Otra conclusión que a priori surgen como esperable, es la correlación negativa existente entre la huella hídrica y la calidad de los suelos (a mayor calidad de suelo menor huella hídrica). En relación a la comparación entre las correlaciones de las huellas hídricas y los IP de los periodos climáticos evaluados para un mismo cultivo, no se hallaron diferencias significativas.

- Al comparar los resultados de los productos relevantes exportados por la provincia de Buenos Aires con los observados en otros países, bajo una misma metodología de referencia, se observa que para los cultivos de maíz, soja y trigo los valores calculados son menores a los publicados por la Water Footprint Network (WFN). En detalles se menciona que se calculó mediante el uso del software CropWat la Huella Hídrica Verde para cultivos de girasol, maíz, soja de primera ocupación y trigo en 380 polígonos de la provincia de Buenos Aires, distribuidos en las ZAH 2 a 8, cubriendo un área de suelos agrícolas de 11.660.044 ha, y considerando precipitaciones de años secos, normales y húmedos. En total se estimaron 4.560 valores de huella hídrica, correspondiendo 1.140 a cada cultivo. Se observa, para los cultivos de maíz, soja y trigo, un menor valor de huella hídrica verde estimada en este trabajo en relación al respectivo valor del WFN, incluso para los tres tipos de años considerados en cuanto a las precipitaciones (seco, normal o

húmedo). Comparando con el promedio ponderado por superficie y producción (771 m<sup>3</sup>/Tn en maíz; 1.553 m<sup>3</sup>/Tn en soja de primera, y 919 m<sup>3</sup>/Tn en trigo) el valor del WNF es superior al estimado en el presente trabajo en un 38%, 35% y 73% respectivamente para maíz, soja de primera y trigo. Para el caso del girasol se observa que el valor calculado por la WFN es superior al valor promedio simple (2.714 m<sup>3</sup>/Tn) y al promedio ponderado por superficies de polígonos (2.675 m<sup>3</sup>/Tn), calculados para el año normal. Si se toma el valor promedio ponderado por producción (2.870 m<sup>3</sup>/Tn), se observa que el valor de la WFN (2.784 m<sup>3</sup>/Tn) es un 3% inferior al calculado.

- La modelación con el software AquaCrop se ha comportado de manera diferencial según el cultivo. En algunos casos, las corridas del programa arrojan valores de rendimiento que son coincidentes con los registrados por AACREA. En el caso del maíz, el modelo con nivel de estrés media es el que más se ajusta a los datos registrados. En el caso de la soja la dispersión de los datos es uniforme, siendo las simulaciones con nivel de estrés cercano al óptimo (near) más precisas en la predicción del rendimiento. Para el trigo, el nivel de estrés cercano al óptimo (near) se ajusta precisamente a los rendimientos registrados por AACREA. Lo contrario sucede con el girasol, donde el mayor ajuste de los datos calculados se da con las simulaciones con estrés moderado y media.

- Se observa que para la situación hipotética calculada para los extremos climáticos (húmedo versus seco), donde la diferencia en promedio es de 140 mm aproximadamente de uso real del agua para todos los cultivos, el valor bruto total sacrificado por esa diferencia para todos los cultivos de la provincia de Buenos Aires asciende a 3.200 millones de dólares. Asimismo se observa que el maíz, seguido del trigo son los cultivos que mayor impacto económico revelarían al suministro de agua según los resultados obtenidos. Estos resultados están influenciados por el valor del factor Ky previamente comentado.

- Se sugiere acompañar con información adicional al valor de la Huella Hídrica, no sólo aquella que permitan explicar las condiciones particulares bajo las cuales se calculó, sino también en relación a las implicancias que pudiera tener el resultado en función de los objetivos del cálculo, ya que suponer en forma absoluta que “una menor huella hídrica es mejor” es una simplificación que podría conducir a errores de interpretación. Como se observo en el presente trabajo, existe una gran diversidad

de valores de Huella Hídrica, dependientes de múltiples factores que resultan el valor calculado.

## XI. BIBLIOGRAFÍA.

- 2da Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático. Componente B3. Vulnerabilidad de la Producción Agrícola en la región Pampeana argentina. Informe Final. <http://www.ecopuerto.com/bicentenario/informes/VulnerabilidadProdAgr.pdf>
- Alconada M. y J. Zembo. 2000. Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo. 1<sup>er</sup> Joint World Congress on Groundwater. Brasil.
- Alconada M. M., 2008. Procesos de inundación en el sector de médanos longitudinales del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, su relación con vegetación, suelo y agua, opciones de desarrollo. Tesis Doctoral, Posgrado en Geografía, UNAM, México. 585p, y Anexos.
- Alconada M.M., Bussoni, A., R. Rosa, J.J. Carrillo Rivera, 2009. El bio-drenaje para el control del exceso hídrico en Pampa Arenosa, Buenos Aires, Argentina. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM (México). 68: 50-72.
- Alconada, M. y L. Huergo. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, NOA, Universidad Nacional de Tucumán. Argentina
- Alconada, M.; Cuellas, M.; Poncetta, P.; Barragán, S.; Inda, E. y Mitidieri, A. Fertirrigación en cultivo de tomate protegido: nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. 2011 <http://www.horticulturaar.com.ar/buscador.php>
- Alconada, M.; L. Giuffre; L. Huergo y C. Pascale. 2000a. Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. En Avances en Ingeniería Agrícola 1998-2000. Ed. Facultad de Agronomía, UBA. 343-347p.
- Álvarez R., S. Leavy, y M. Marino. 2009. Zonas Agroeconómicas Homogéneas Buenos Aires Norte. EEA INTA General Villegas, y EEA INTA Pergamino. 149p.
- Allan, J.A., (1998) Virtual water: A strategic resource, global solutions to regional deficits. Groundwater 36(4): 545-546.

- Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Rome, Italy
- Allen, R.G.; Jensen, M.E.; Wright, J.; Burman, R.D. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. Agronomy Journal, Madison, v.81, p.650-662.
- Arévalo, D., Lozano, J. y Sabogal, J. (2011) Estudio Nacional de Huella Hídrica Colombia, Sector Agrícola. Revista internacional de Tecnología y Humanismo, nº 7, Cátedra de UNESCO de Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Auge, M. & M.I.Nagy. 1999. Estado del agua subterránea respecto a la contaminación con agroquímicos en La Plata, Provincia de Buenos Aires. Hidrología Subterránea. Serie de correlación Geológica. V 13: 203-211.
- Auge, M. 2004. Regiones hidrogeológicas de la Republica Argentina. UBACONICET. 111p.
- Bonett, A. 2001. Zonificación Agroecológica Parcial Región Pampeana. Oficina de Riesgo Agropecuario - SECyT.
- Cartas de suelos de la República Argentina Provincia de Buenos Aires, <http://www.inta.gov.ar/suelos/cartas>
- Caviglia, O.P, Rizzalli R.H et al 2012. Productividad y eficiencia en el uso de agua y nitrógeno en sistemas intensificados. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH 7, Septiembre 2012; pág. 6-10.
- Ciampitti I. A. y García F. O., 2007. Requerimientos Nutricionales, Absorción y Extracción de Macro Nutrientes y Nutrientes Secundarios. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. N° 33, marzo 2007; pág. 13-16.
- Civeira, G.; Paladino, I.; Irigoin, J. 2011. Indicadores de calidad de suelos en distintas series de la región pampeana. <http://inta.gob.ar/documentos/indicadores-de-calidad-de-suelos-en-distintas-series-de-la-region-pampeana/>
- Civit, B. M., A. P. Arena, R. Piastrellini, S. Curadelli y J. Silva Colomer. 2011. Comparación entre la huella hídrica de biodiesel obtenido a partir de aceite de colza y aceite de soja. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 15: 127-134.

- CropWat, Example of the use.
- CropWat, Manual de Uso. Trezza, R.
- Cruzate G. y Casas R., 2009. Extracción de Nutrientes en la Agricultura Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. N° 44, diciembre 2009; pág. 21-26.
- Cruzate G. y Casas R., 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH 6, junio 2012, pág. 7-14.
- Estrategia Provincial para el Sector Agroalimentario producido por el Ministerio de Asuntos Agrarios en el marco del Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP) (2010).  
[http://www.prosaponline.gov.ar/prosapwebsite/webDocs/EPSA\\_BuenAs.pdf](http://www.prosaponline.gov.ar/prosapwebsite/webDocs/EPSA_BuenAs.pdf)
- Fadda, G. (sin especificar año). El suelo y el ambiente. Tirada Interna, Cátedra Edafología, Universidad Nacional de Tucumán. 8p.
- FAO. 2010. CropWat 8.0 model', FAO, Rome, [www.fao.org/nr/water/infores](http://www.fao.org/nr/water/infores)
- Ferreyra, R. *et al* (2010). "Manejo del riego en frutales en condiciones de restricción hídrica". Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Chile.
- García F. O. y Darwich N. A., 2009. La Argentina 2050, La Revolución Tecnológica del Agro. CASAFE. Capítulo 09: La Fertilización; Tecnología para sostener la Productividad de Nuestros Suelos, pág. 417-445.
- García F. O., 2012. Presentación en Jornada de Suelos AACSIMTA, Instituto de Suelos, agosto del 2012.
- García F. O. y González San Juan M. F., 2010. Balance de nutrientes en Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N° 48, diciembre 2010; pág. 1-5.
- García F.O., 2006. La Nutrición de los Cultivos y la Nutrición de los Suelos. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IA N°29, marzo 2006; pág. 13-16.

- Giuffré, L.; M. Alconada, C. Pascale & S. Ratto. 2004. Environmental impact of phosphorus overfertilization in tomato greenhouse production. Journal Applied Horticulture V6(1):58-61.
- González, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap XXII: 359-374.
- Hoekstra, A. K. Chapagain, M.M. Aldaya and M.M. Mekonne. 2011. The Water Footprint Assessment Manual, Setting the Global Standard. Publishing by Earthscan, London, Washington, DC.228 p.
- Hoekstra, A.Y. y Hung, P.Q. (2002) Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report series Número 11. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. y Mekonnen, M.M. (2009). Water footprint manual: State of the art 2009. Enschede, the Netherlands: Water Footprint Network.
- [http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CropWat\\_MANUAL.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/rtrezza/CropWat_MANUAL.pdf)
- <http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Genesis%205%20-20EI%20suelo%20y%20el%20ambiente%20X.pdf>
- <http://www.fao.org/nr/water/docs/CropWat8.0Example.pdf>
- Iglesias, D. (2004). Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. Buenos aires: Ediciones INTA.
- Imbellone, P., J.E. Goménez, y J.L. Panigatti (2010). Suelos de la Región Pampeana, Procesos de Formación. Ed. INTA. 288p.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC): [www.indec.mecon.ar](http://www.indec.mecon.ar)
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)
- INTA, Castelar. Zonas homogéneas de Capacidad de Producción. Criterios para definir zonas homogéneas de capacidad productiva agrícola (ICAP) de los suelos comprendidos por el proyecto "riesgos y seguros agropecuarios". Oficina de Riesgo Agropecuario. [http://www.ora.gov.ar/riesgo\\_zonas.php](http://www.ora.gov.ar/riesgo_zonas.php)

- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1987. Índices de productividad. Estudios para la implementación de la reforma impositiva agropecuaria. Proyecto PNUD, Argentina 85/019 Área Edafología. 60 p.
- Karami E. and H. Ebrahimi. 2000. Overfertilization with Phosphorus in Iran: A Sustainability Problem. *Journal of Extension Systems* 16: 100-120 .
- MAA, Ministerio de Asuntos Agrarios. 2007b. Nuestra provincia, nuestro campo. El sector agropecuario de la provincia de Buenos Aires. 147p y CD.
- Madrid, C. y Velázquez, E. (2008). El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España). *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, Volumen 8: 29-47. España.
- Magrin G. O., M. I. Travasso, G. M. López, G.R. Rodríguez y A. R. Lloveras. 2005.
- Manazza, J. F., (2012). Cuantificación y valoración económica del uso consuntivo del agua en los principales productos de las Cadenas Lácteas de La Pampa y San Luis. INTA.
- Mateo, J. 1990. Apuntes del curso de postgrado Geoecología de los paisajes: teoría, métodos y vías de aplicación práctica. Universidad de La Habana, Cuba. 250 p.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MINAGRI): [www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar)
- Ministerio de Asuntos Agrarios (MAA): [www.maa.gba.gov.ar](http://www.maa.gba.gov.ar)
- Ministerio de Economía de La Nación (MECON): [www.mecon.gov.ar](http://www.mecon.gov.ar)
- Ministerio de la Producción: [www.mp.gba.gov.ar](http://www.mp.gba.gov.ar)
- Moorman G. W. 1998. Overfertilization. The Pennsylvania State University [www.cas.psu.edu/docs.CASDEPT/PLANT/ext/overfert](http://www.cas.psu.edu/docs.CASDEPT/PLANT/ext/overfert).
- Moratilla, F. E., Moreno, M. M. y Fernández Barrena, M. (2010). La Huella Hídrica en España. *Revista de Obras Públicas*, Número 3.514: 21-38. España.
- Moscatelli, G. 1991. Los suelos de la Región Pampeana. p. 1-76. *In* Osvaldo Barsky (ed.) El desarrollo agropecuario pampeano. INDEC-INTA-IICA, Buenos Aires.

- Moscatelli, G. y M.S. Pazos. 2008. Los suelos de la Argentina y su Geografía. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/04/17/89382>
- Neiff, J.J., Casco, S.L. y J.C. Arias. 2003. Glosario de Humedales Latinoamericanos. En: Neiff, J.J. (Ed.) Humedales de Iberoamérica.. La Habana CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecn. para el Desarrollo Subprograma XVIII, 2004, V1. 376p.
- ORA-SAGPyA, 2006. Zonificación Agroeconómica y Sistemas Productivos Predominantes. 58p.
- Pla Sentís, I., 2005. Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo, Programa Hidrológico Internacional, UNESCO. En Deyanira-Lobo, L., D. Gabriels y G. Soto (Editores). París: Documentos técnicos en Hidrología 71, UNESCO,
- PMI, Plan Maestro Integral Cuenca del Río Salado. 1999. Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires-Halcrow-Banco Mundial. Volumen principal y 14 Anexos en CD.1300 p. Tirada reducida.
- PROINDER Proyecto de Fortalecimiento Institucional para el Desarrollo Rural de la Provincia de Buenos Aires. 2004. Ministerio de Asuntos Agrarios, Subsecretaría de Desarrollo Agropecuario y Ganadería, Dirección Provincial de Desarrollo Rural). 64p.
- Raes D. 2009. The ETo Calculator. Evapotranspiration from a reference surface. Reference Manual. Version 3.1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Land and Water Division. FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/docs/ReferenceManualETo.pdf>
- Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., & Fereres E. 2011. FAO cropwater productivity model to simulate yield response to water. AquaCrop Version 3.1plus. Reference Manual. Chapter 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Land and Water Division. FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>
- Rossi, M. C. 2010. ESTUDIO COMPARATIVO DE UDOLES DE LA REGION PAMPEANA. Factores que influyen en la producción de granos. Tesis Universidad Nacional del Sur. 51p.

- S.I.M en línea: <http://www.afip.gov.ar/aduana/sim/>
- SAGyP-INTA, Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.1990. Atlas de suelos de la República Argentina, escala 1:500.000 a 1: 1.000.000, Tomo I: 731p y Tomo II: 677p.
- SAGyP-INTA., Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1989. Mapa de suelos, Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. 525p.
- Salmoral, G., A. Dumont, M.M. Aldaya, R. Rodríguez-Casado, A. Garrido, y M.R. Llamas.2011. Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir. FUNDACIÓN BOTIN. OBSERVATORIO DEL AGUA. Número 3. 47p.
- Secretaría de Política Económica, 2009. Complejos Exportadores Provinciales, año 2008. Ministerio de Economía de La Nación. Julio de 2009.
- Secretaría de Política Económica, 2010. Complejos Exportadores Provinciales, año 2009. Ministerio de Economía de La Nación. Abril de 2010.
- SETAC (1993). Guidelines for Life Cycle Assesment: A Code of Practice. Society of Enviromental Toxicology and Chemistry. Bruselas.
- Soil Survey Staff (1975). Soil Taxonomy. A basis system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA-SCS Agric. Handbook 436. US. Gov. Print. Office, Washington DC. USA.
- Straschnoy, J. V.; DI Bella, C. M.; Jaimes, F. R.; Oricchio, P. A.; Rebella, C. M.Iria.2006. Caracterización espacial del estrés hídrico y de las heladas en la región pampeana a partir de información satelital y complementaria. RIA, 35 (2): 117-141.
- [www.ora.gov.ar/archivos/zonificacion%20y%20sistemas%20productivos.pdf](http://www.ora.gov.ar/archivos/zonificacion%20y%20sistemas%20productivos.pdf)
- Zárate, M. y J. Rabanese. 2005. Geomorfología la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Capítulo VIII: 119-138.
- Zonificación Agroeconómica y Sistemas Productivos Predominantes. Sub Proyecto “Riesgo y Seguros Agropecuarios” PROSAP ARG 96/006. Dirección de Economía Agropecuaria – Oficina de Riesgo Agropecuario. Subsecretaría de Economía Agropecuaria. MAGyP.