

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz




REFLEXIONES
SOBRE EL
AGUA VIRTUAL EN
LA PRODUCCIÓN
DE TRIGO, MAIZ
Y ARROZ

Pedro Urbano Terrón. Catedrático UPM
Madrid, 10 de diciembre de 2009

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz



CONCEPTOS:

AGUA VIRTUAL: Se define como el volumen de agua requerido para producir un bien o servicio (Allan, 1998), (L/Kg).

HUELLA HÍDRICA: Total de agua usada para producir bienes o servicios (Hoekstra, 2003), (m³, m³/ha) .


AGUA VIRTUAL EN LA PRODUCCIÓN DE TRIGO, MAÍZ O ARROZ: Volumen de agua para producir un kilogramo de estos productos (L/Kg).

AGUA VERDE: El agua procedente de las precipitaciones que queda retenida en el suelo (Falkenmark, 2003).

AGUA AZUL: El agua procedente de ríos, lagos, acuíferos, etc. (Falkenmark, 2003).

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz




OBJETIVOS:

- 1º: Reflexionar sobre el contenido de Agua Virtual en las cosechas de trigo, maíz y arroz en las variables condiciones productivas de la agricultura española.
- 2º: Analizar la variabilidad del contenido de agua virtual, en sus dos modalidades (verde y azul), y proponer posibles mejoras a la luz de los actuales conocimientos científicos y fitotécnicos.
- 3º: Estimar la Huella Hidrológica de estas producciones en nuestras condiciones de cultivo.
- 4º: Valorar este indicador como índice de eficiencia económica de uso del agua en los regadíos españoles.

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz



MÉTODO PROPUESTO:

- 1º: Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET₀), utilizando datos del SIAR (MARM, 2009).
- 2º: Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), según método FAO.
- 3º: Determinación de la lluvia efectiva (P_e).
- 4º: Balance hídrico en el suelo cultivado de acuerdo con su poder retentivo.
- 5º: Cálculo del Agua Utilizada por el cultivo en Secano (AUS) o agua verde
- 6º: Cálculo del Agua Utilizada por el cultivo en Regadío
- 7º: Determinación del agua azul
- 8º: Huella hídrica del cultivo en secano
- 9º: Huella hídrica del cultivo en regadío
- 10º: Eficiencia económica de uso del agua de riego

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz



LA ECUACIÓN PENMAN - MONTEITH

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



ET₀ : Evapotranspiración de referencia (mm d⁻¹)

R_n : Radiación neta en la superficie de la planta (MJ m⁻² d⁻¹)

G : Flujo de calor del suelo (MJ m⁻² d⁻¹)

U₂ : Velocidad del viento medida a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_a - e_d : Déficit de presión de vapor (kPa)


Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

γ : Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

900 : Factor de conversión

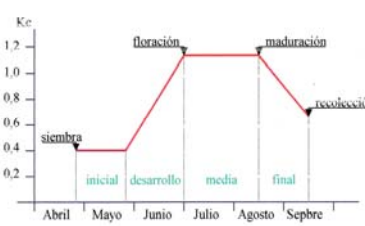
LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz



Evapotranspiración del cultivo (ET_c):

ET_c = ET₀ x K_c



Coeficiente de cultivo K_c:

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

ae fao
Asociación Española F&O

NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO:

$NAR = (ETc - Pe) / EUAR$

LLUVIA EFECTIVA Pe :

Para $P > 50$ mm/mes; $Pe = 50 \times 0,9 + (P - 50) \times 0,7$
 Para $P < 50$ mm/mes; $Pe = 0,9 P$
 Para $P < 10$ mm/mes; $Pe = P$

$Pe = P + AC - (E + ES + DH + DI)$

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

ae fao
Asociación Española F&O

EVAPOTRANSPIRACIONES Y AGUA UTILIZADA POR EL CULTIVO

TRIGO – BURGOS (Valores en mm). $R_{m\acute{a}x} = 70$ mm; $R_{m\acute{i}n} = 10$ mm

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	T
ET0	16,2	36,3	60,7	82,6	109,5	131,5	161,3			46,3	24,6	16,3	
Kc	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,20	0,70				0,60	0,60	
ETc	9,7	27,2	54,6	86,7	131,4	157,8	112,9				14,8	9,8	
P	29,2	62,0	0,2	47,2	95,8	54,4	2,2			83,2	38,8	5,8	
Pe	26,3	53,4	0,2	42,5	77,1	48,1	2,2			68,2	34,9	5,8	
R	70,0	70,0	15,6	10,0	10,0	10,0	10,0				70,0	66,0	
AUS	9,7	27,2	54,6	42,5	77,1	48,1	2,2				14,8	9,8	420,0
AUR	9,7	27,2	54,6	86,7	131,4	157,8	112,9				14,8	9,8	738,9

AUS = Agua utilizada por el cultivo en secano; AUR = Agua utilizada por el cultivo en regadío

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

ae fao
Asociación Española F&O

EVAPOTRANSPIRACIONES Y AGUA UTILIZADA POR EL CULTIVO

TRIGO – SEVILLA (Valores en mm). $R_{m\acute{a}x} = 100$ mm; $R_{m\acute{i}n} = 20$ mm

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	T
ET0	52,4	52,3	100,6	97,9	148,9	186,1				116,6	80,7	48,8	
Kc	0,75	0,9	1,05	1,2	1,2	0,70					0,6	0,6	
ETc	39,3	47,1	105,6	117,5	178,7	130,3					48,4	29,3	
P	32,8	58,0	20,6	43,2	126,2	3,6				44,2	118,2	12,8	
Pe	29,5	42,4	18,5	38,9	98,3	3,6				39,8	92,7	11,5	
R	56,5	51,8	20,0	20,0	20,0	20,0					84,1	66,3	
AUS	39,3	47,1	50,3	38,9	98,3	3,6					48,4	29,3	355,2
AUR	39,3	47,1	105,6	117,5	178,7	130,3					48,4	29,3	696,2

AUS = Agua utilizada por el cultivo en secano; AUR = Agua utilizada por el cultivo en regadío

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

ae fao
Asociación Española F&O

EVAPOTRANSPIRACIONES Y AGUA UTILIZADA POR EL CULTIVO

MAÍZ – ALBACETE (Valores en mm). $R_{m\acute{a}x} = 70$ mm; $R_{m\acute{i}n} = 10$ mm

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	T
ET0				80,2	141,5	185,4	237,7	200,9	136,2				
Kc				0,45	0,8	1,1	1,1	0,7					
ETc				63,7	148,3	261,5	221,0	95,3					
P				75,4	21,4	6,6	0,0	22,2	9,8				
Pe				19,3	6,6	0,0	20,0	9,8					
R				70,0	25,6	10,0	10,0	10,0	10,0				
AUS				63,7	22,2	12,2	20,0	9,8					127,9
AUR				63,7	148,3	261,5	221,0	95,3					789,8

AUS = Agua utilizada por el cultivo en secano; AUR = Agua utilizada por el cultivo en regadío

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

ae fao
Asociación Española F&O

EVAPOTRANSPIRACIONES Y AGUA UTILIZADA POR LOS CULTIVOS

MAÍZ – LEÓN (Valores en mm). $R_{m\acute{a}x} = 70$ mm; $R_{m\acute{i}n} = 10$ mm

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	T
ET0					125,6	138,2	162,1	135,5	96,7				
Kc					0,45	0,8	1,1	1,1	0,7				
ETc					56,5	110,6	178,3	149,1	67,7				
P				76,8	83,0	34,0	3,4	34,4	17,4	54,4			
Pe					68,1	30,6	3,4	31,0	15,7				
R				70,0	70,0	10,0	10,0	10,0	10,0				
AUS					56,5	110,6	3,4	34,4	17,4				222,3
AUR					56,5	110,6	178,3	149,1	67,7				562,2

AUS = Agua utilizada por el cultivo en secano; AUR = Agua utilizada por el cultivo en regadío

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

ae fao
Asociación Española F&O

EVAPOTRANSPIRACIONES Y AGUA UTILIZADA POR LOS CULTIVOS

MAÍZ – HUESCA (Valores en mm). $R_{m\acute{a}x} = 70$ mm; $R_{m\acute{i}n} = 10$ mm

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	T
ET0					104,0	129,1	163,2	136,3	95,6				
Kc					0,45	0,8	1,1	1,1	0,7				
ETc					46,8	103,3	179,5	149,9	66,9				
P					153,1	72,9	47,3	5,3	61,4	18,7	67,4		
Pe					61,0	42,6	5,3	53,0	16,8				
R					70,0	10,0	10,0	10,0	10,0				
AUS					46,8	102,6	5,3	61,4	16,8				232,9
AUR					46,8	103,3	179,5	149,9	66,9				546,4

AUS = Agua utilizada por el cultivo en secano; AUR = Agua utilizada por el cultivo en regadío

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

EVAPOTRANSPIRACIONES Y AGUA UTILIZADA POR EL CULTIVO

ARROZ – C. VALENCIANA (Valores en mm). R_{máx} = 70 mm; R_{mín} = 20 mm

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	T
ET0			86,8	70,0	150,4	160,0	171,3	139,7	92,5				
Kc			0,30	0,55	0,80	1,05	1,05	1,05	0,80				
ETc			26,0	38,5	120,3	168,0	179,9	146,7	74,0				
P			61,6	92,2	18,6	0,6	0,0	30,2	153,6				
Pe			61,6	92,2	18,6	0,6	0,0	30,2	153,6				
R			100,0	135,6	189,3	100,0	100,0	100,0	100,0				
AUS			26,0	38,5	107,9	0,6	0,0	30,2	37,0				240,2
AUR			26,0	38,5	120,3	168,0	179,9	146,7	37,0				716,4

AUS = Agua utilizada por el cultivo en secano; AUR = Agua utilizada por el cultivo en regadío

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

EVAPOTRANSPIRACIONES Y AGUA UTILIZADA POR EL CULTIVO

ARROZ – BADAJOZ (Valores en mm). R_{máx} = 100 mm; R_{mín} = 20 mm

	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	T
ET0			93,7	104,1	159,3	179,1	211,0	178,6	126,7				
Kc				0,30	0,55	0,80	1,05	1,05	0,80				
ETc				31,2	87,6	143,3	221,6	187,5	101,4				
P			9,2	51,6	30,2	19,8	0,0	31,4	12,4				
Pe			9,2	51,6	30,2	19,8	0,0	31,4	12,4				
R			100,0	120,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0				
AUS				31,2	50,6	19,8	0,0	31,4	12,4				145,4
AUR				31,2	87,6	143,3	221,6	187,5	101,4				772,6

AUS = Agua utilizada por el cultivo en secano; AUR = Agua utilizada por el cultivo en regadío

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

Evapotranspiración del cultivo (ETc), en 2007

CULTIVO	SECANO (A. verde)	REGADÍO	
		(A. verde + A. azul)	(A. azul)
TRIGO			
- Burgos	4.200 m3/ha	7.389 m3/ha	3.189 m3/ha
- Sevilla	3.552 "	6.962 "	3.410 "
MAÍZ			
- Albacete	1.279 m3/ha	7.898 m3/ha	6.619 m3/ha
- León	2.223 "	5.622 "	3.439 "
- Huesca	2.329 "	5.464 "	1.783 "
ARROZ			
- C. Valenciana	2.402 m3/ha	7.164 m3/ha	4.762 m3/ha
- Badajoz	1.454 "	7.726 "	6.272 "

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

Necesidades de Agua de Riego (NAR)



CULTIVO	REGADÍO (A. azul)	RIEGO A PIE (EH = 0,6)	R. ASPERSIÓN (EH = 0,75)
TRIGO			
-Burgos	3.189 m3/ha		4.252 m3/ha
-Sevilla	3.410 "		4.547 "
MAÍZ			
-Albacete	6.619 m3/ha		8.825 m3/ha
-León	3.439 "	5.732 m3/ha	4.585 "
-Huesca	1.783 "	2.972 "	2.377 "
ARROZ			
-C. Valenciana	4.762 m3/ha	7.937 m3/ha	
-Badajoz	6.272 "	10.453 "	

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

Agua Virtual en 2007

CULTIVO	SECANO L/Kg	REGADÍO L/Kg
TRIGO		
- Burgos	997	1.783 (a)
- Sevilla	1.018	2.065 (a)
MAÍZ		
- Albacete	761	1.484 (a) -
- León	379	893 (a) - 1.022 (p)
- Huesca	426	666 (a) - 725 (p)
ARROZ		
- C. Valenciana		942 (p)
- Badajoz		1.380 (p)

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz

Eficiencia económica de uso del agua de riego, en 2007

CULTIVO	PRODUCCIÓN EN SECANO	PRODUCCIÓN EN REGADÍO	EEUAR (Kg/m3)
TRIGO			
- Burgos	4.212 Kg/ha	5.414 Kg/ha	0,28 (a)
- Sevilla	3.489 "	4.341 "	0,19 (a)
MAÍZ			
- Albacete	3.061 Kg/ha	12.200 Kg/ha	1,04 (a) -
- León	5.866 "	8.914 "	0,67 (a) - 0,53 (p)
- Huesca	3.000 "	9.800 "	2,86 (a) - 2,29 (p)
ARROZ			
- C. Valenciana		8.423 Kg/ha	1,06 (p)
- Badajoz		7.576 "	0,72 (p)

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz




CONCLUSIONES:

1º: El contenido de agua virtual (L/Kg) de los cultivos alimentarios estudiados, varía entre límites muy amplios dependiendo de la especie, variedad, condiciones climáticas, sistema de producción y rendimiento de la cosecha.

2º: En las condiciones del secano (agua verde), el agua virtual es mayor en los cultivos de siembra otoñal (cereales de invierno), siguiéndole los de siembra primaveral (trigos de primavera, cebadas tremesinas, arroz) y los de siembra estival (maíz), como consecuencia del clima mediterráneo.

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz



3º: En los cultivos de regadío, para una misma especie e, incluso, para variedades que no son muy diferentes, se producen diferencias muy importantes en el agua azul utilizada, dependiendo fundamentalmente de las condiciones agroclimáticas.

4º: En las condiciones de producción de la agricultura española, el factor que más influye en el valor del agua virtual es el rendimiento. En años de cosechas buenas, el agua virtual desciende notablemente.



LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz




5º: La huella hídrica de estas especies en un territorio dependerá de la gestión adecuada de su cultivo. Reducir esta huella, objetivo compatible con el necesario incremento de los rendimientos, requiere un notable impulso de las nuevas tecnologías, entre las que ocuparán un lugar muy destacado las relacionadas con el uso de fertilizantes, semillas de calidad (biotecnología) y control de plagas y enfermedades.

6º: De acuerdo con las condiciones del clima mediterráneo, algunas especies presentan muy baja eficiencia económica en el uso del agua de riego (Kg/m3). Intensificar su cultivo equivale a aumentar la huella hídrica, sin embargo no debe olvidarse el papel que juega el regadío como estabilizador de las producciones.

LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Agua virtual en la producción de trigo, maíz y arroz



MUCHAS GRACIAS



LA HUELLA HIDROLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS