

Modelación de la respuesta de rendimiento de uva a diferentes estrategias de riego con destino vino

Rocío Hernández, Jorge E. Pérez Peña y José Morábito

Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino; INTA – EEA Mendoza

E-mail: rhernandez@ina.gov.ar

RESUMEN: Argentina ocupa el noveno lugar mundial en superficie cultivada con vid (2,9 %) y el octavo en producción de uvas (46%). Mendoza posee el 70% de la superficie con vid del país. Por su condición semidesértica, la única posibilidad de cultivarla en forma rentable es bajo riego. Una expansión futura del área cultivada sólo será posible mejorando la eficiencia de riego y del uso del agua.

Este proyecto tiene como objetivo modelar la producción de la vid (destinada a vino) frente a diferentes provisiones de agua. Para esto se utiliza el modelo AquaCrop V.3.1. El mismo fue desarrollado para plantas anuales cuya producción depende del cultivo, de las variables meteorológicas, del suelo y del manejo realizado en ese ciclo. Constituye la primera revisión del Documento 33 de la FAO. La producción de la vid -a diferencia de la de un cultivo anual- depende, además, del estado de reservas de la planta al inicio del ciclo agrícola, resultado del período vegetativo anterior. En vid en espaldero resulta necesario también adaptar el parámetro cobertura de canopia (dato de entrada del modelo), la que se desarrolla en un plano vertical.

El modelo separa la transpiración de la evaporación y diferencia el rendimiento en biomasa e índice de cosecha. Utiliza la cobertura de canopia (porcentaje de sombreado) en lugar del índice de área foliar y toma en cuenta la concentración de CO₂ atmosférico. Incorpora además componentes fisiológicos, un parámetro de productividad del agua y permite utilizar escalas de tiempo diario.

En el trabajo se simuló el comportamiento de la variedad Cabernet Sauvignon en un viñedo de Pedriel – Mendoza, ciclo agrícola 1998-99. Los resultados preliminares presentan diferencias entre la producción real y la estimada y permiten inferir la necesidad de medir con precisión –entre otros- la cobertura de canopia y el índice de cosecha.

INTRODUCCIÓN

Argentina ocupa el noveno lugar mundial en superficie cultivada con vid (231.000 ha), totalizando el 2,9 % de la superficie mundial y el octavo en cuanto a la producción de uvas (30 millones de quintales que representan el 4,6 % del total mundial; OIV 2008). Con algo más de 15 millones de hectolitros (el 5,6 % del total del mundo) es el quinto productor mundial de vinos y satisface el 3,9 % del mercado internacional con 3,6 millones de litros exportables. En Mendoza la vid es el principal cultivo (158.826 ha) y representa el 70% de la superficie con vid del país (INV 2007).

Por su condición semidesértica (precipitación inferior a 200 mm anuales), la única forma posible de cultivar vid en forma rentable en Mendoza es haciéndolo bajo riego. La utilización del agua para riego compite a su vez con otros usos (e.g., consumo urbano e industrial, generación de energía, recreación, etc.) y una región, en la que el recurso hídrico es escaso, debe hacer el uso más eficiente posible del mismo. El derecho de agua superficial está totalmente asignado en el marco de la legislación vigente, mientras que las extracciones de agua subterránea vienen incrementándose peligrosamente por encima de los niveles de sostenibilidad. Una expansión futura del área cultivada sólo será posible mejorando la eficiencia de riego y la eficiencia del uso del agua (rendimiento del cultivo / m³ de agua utilizado).

El proyecto en el que se enmarca nuestro trabajo tiene como objetivo modelar la respuesta en producción de la vid frente a diferentes provisiones de agua, para optimizar el uso del recurso hídrico considerando a su vez la sostenibilidad de la actividad productiva (Feres and Soriano, 2007). Para esto se utilizará como base de partida el reciente modelo AquaCrop V.3.1 (Steduto et al., 2009) realizado por la División de Tierra y Agua de la FAO. El modelo ha sido desarrollado y orientado a cultivos anuales y constituye la primera revisión del Documento Nro. 33 de la FAO: Respuesta del Rendimiento al Agua de Cultivos (Doorenbos and Kasam, 1979).

El modelo AquaCrop se diferencia del presentado en el documento de FAO 33 de 1979 en su enfoque y aproximación al problema, considerando variables: meteorológicas, de cultivo, de suelo y de manejo. Separa por un lado la transpiración (vinculada a la productividad) de la evaporación del suelo donde no hay intercambio de carbono asimilable (Steduto et al, 2007) y -por otro lado- diferencia el rendimiento final en biomasa e índice de cosecha. Utiliza la cobertura de canopia (indirectamente valorada a través del porcentaje de sombreado) en lugar del índice de área foliar y toma en cuenta la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Incorpora además componentes fisiológicos, un parámetro de productividad del agua y puede utilizarse en escalas de tiempo diario. El modelo incluye el continuo agua - suelo - planta - atmósfera y algunos parámetros de manejo del cultivo.

Dado que el modelo actualmente ha sido desarrollado para cultivos anuales, este proyecto avanzará en su calibración para cultivos perennes, en particular para la vid (destinada a vino) en Mendoza. En esta primera etapa, se corrió el programa con datos de un ensayo realizado con anterioridad (ciclo 1998-99). La finalidad fue conocer el programa en profundidad y analizar los datos de entrada y de salida, con el objeto de plantear

un ensayo a campo prestando especial atención a la elección de los parámetros más relevantes y los métodos más adecuados para su medición. Es objetivo específico de este trabajo profundizar en el conocimiento del programa y detectar las limitaciones que presenta para su aplicación en vid, a fin de subsanarlas en el futuro.

En la siguiente figura pueden observarse los principales componentes del modelo.

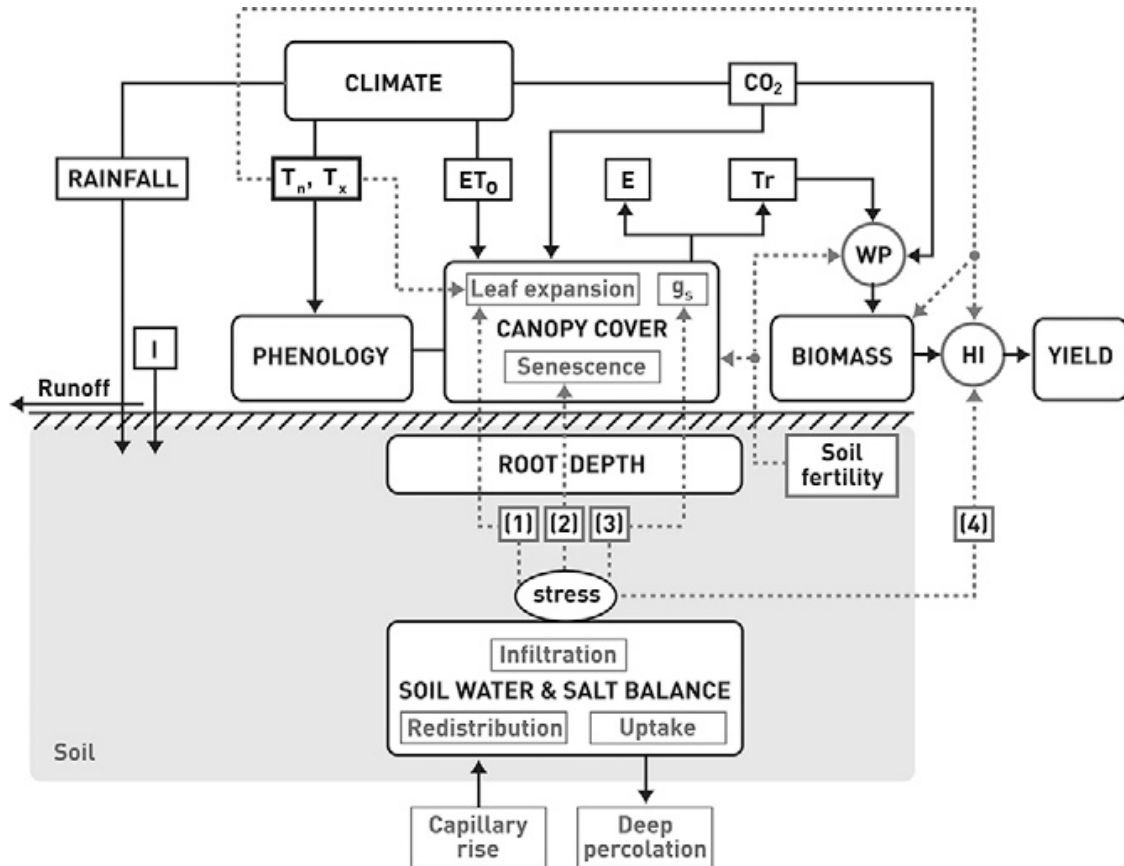


Figura 1.- Esquema conceptual de AquaCrop indicando los principales componentes del continuo suelo-planta-atmósfera y los parámetros de manejo: fenología, cobertura de canopia, transpiración, biomasa y producción final.

Ref.: (I, riego; Tn, temperatura mínima; Tx, temperatura máxima; ET₀, evapotranspiración de referencia; E, evaporación del suelo; Tr, transpiración de la canopia; g_s, conductancia estomática; WP, productividad del agua; HI, índice de cosecha; CO₂, concentración de dióxido de carbono atmosférico; (1), (2), (3), (4), diferentes funciones de respuesta al estrés de agua). Las líneas continuas indican los vínculos directos entre las variables y los procesos. Las líneas discontinuas indican reacciones (feedbacks).

Al ser la vid un cultivo perenne y presentar una modalidad de manejo diferente a la de un cultivo anual, el modelo AquaCrop actual no representa la realidad del mismo. Es por esto que se intentará modificar o adaptar alguno/s de sus componentes. Así, si tenemos en cuenta que el inicio del ciclo no comienza con la siembra de las semillas sino que parte de una planta ya establecida, sería necesario conocer el estado de reservas con que la planta inicia el ciclo o intentar afectar el índice de cosecha por un coeficiente que lo represente.

Otro de los componentes que no representa la realidad de la vid es la cobertura de canopia, ya que en el sistema de conducción en espaldero el desarrollo de la canopia se da en el plano vertical, motivo por el cual las diferencias en el crecimiento y en la intercepción de la energía solar no pueden ser observadas con

precisión a través del porcentaje de sombreado. Será necesario entonces realizar determinaciones que reflejen mejor el desarrollo del cultivo, como podría ser la medición de la superficie sombreada por la planta en un horario determinado (no sólo al mediodía) o mediciones de densidad de canopia (transparencia) relacionadas con el porcentaje de sombreado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la simulación y avanzar en el conocimiento más profundo del modelo, se utilizaron los datos de un ensayo de riego realizado en un viñedo ubicado en Perdriel – Mendoza, durante el ciclo agrícola 1998 - 1999 (Pérez Peña, 2000) en el que se estudió el efecto del estrés hídrico en plantas de vid de la variedad Cabernet Sauvignon, en distintos momentos del ciclo vegetativo. Los tratamientos aplicados fueron tres: uno de control que se regó semanalmente en función de las necesidades del cultivo mediante el cálculo de la evapotranspiración, con datos obtenidos por una estación meteorológica instalada en la finca, distante unos 200 m del ensayo. Un segundo tratamiento al que se le suprimió el riego entre cuaje y envero (*estrés preenvero*) y un tercero al que no se lo regó entre cuaje y maduración (*estrés posenvero*). En esta primera aplicación del modelo sólo se ha considerado el tratamiento sin estrés. Los datos meteorológicos utilizados fueron: temperatura máxima y mínima, humedad relativa media, velocidad del viento medida a 2 m de altura, radiación solar y lluvia (*paso diario*).

El programa “ETo calculator” V3.1 (Raes, 2009) estima la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) según Penman - Monteith (1991), de la cual parte para estimar la evapotranspiración del cultivo, la que -a su vez- el AquaCrop desdobra en transpiración y tvaporación. En el trabajo se utilizó un valor Kcb potencial (Kcbx) de 0,95 que considerando el desarrollo de la canopia se correspondería con un Kcb = 0,67 , similar al propuesto en FAO 56 (Allen et al, 1998) y con el Ke = 1,1, que el programa propone por default.

Los riegos efectuados -aplicados por medio de un equipo de riego por goteo adecuadamente controlado- fueron calculados sobre la base de la metodología planteada en el ensayo. La misma consistió en el cálculo semanal de las necesidades del cultivo utilizando la ecuación de Penman- Monteith (1991) y multiplicándola por el kc del cultivo que, en el caso del ensayo, fue constante para todo el ciclo del cultivo (0,55).

El suelo del ensayo, de textura franca, no presentó limitaciones relevantes en profundidad y si bien el trabajo no hace mención a su capacidad de retención, la misma se ha estimado en 160 mm/m de profundidad. Como se trata de un cultivo establecido, la profundidad radical se consideró constante a 80 cm de profundidad. Dado que el modelo no acepta la opción de iniciar el ciclo con una profundidad determinada (80 cm), se seleccionó una alternativa de crecimiento radical rápido, partiendo de una profundidad de 65 cm. Con respecto a las etapas fenológicas del cultivo, las fechas relevantes fueron: brotación: 07/10/98, floración: 15/11/98, máximo desarrollo de canopia: 15/12/98, cuaje: 27/11/98, envero: 19/01/99 y maduración-cosecha: 05/04/99 (Pérez Peña, 2000). Como el modelo no considera la particularidad de los cultivos perennes (vid),

sólo han podido ajustarse con adecuada aproximación las siguientes etapas: brotación, floración, máximo desarrollo de canopia y cosecha.

Otro parámetro importante lo constituye el índice de cosecha (HI), definido como la producción expresada como peso de uva, respecto del peso total de la biomasa (hojas, sarmientos y uva propiamente dicha). Como no se disponía de esa información, para obtenerla se realizó una medición experimental en tres plantas de la variedad Cabernet Sauvignon y -al momento de cosecha 2012- se procedió a la extracción total de la biomasa producida, pesando por separado los componentes de la misma (*esto se hizo en una sola oportunidad*).

Cuadro 1.- Peso de los distintos componentes de la biomasa de plantas de la cv. Cabernet Sauvignon, producida durante un ciclo de cultivo (2011-12)

Planta	Racimos (kg)	Sarmientos con hojas (kg)	Sarmientos sin hojas (kg)	Hojas (kg)	Biomasa (kg)	Índice de Cosecha
1	2,15	1,40	0,50	0,90	3,55	60,60
2	2,00	1,55	0,65	0,90	3,55	56,30
3	1,95	1,85	0,85	1,00	3,80	51,30

Si bien con los datos obtenidos se calculó un índice de cosecha del 56,10%, en el programa se utilizó un porcentaje más elevado (75%) debido a que las plantas en las que se realizó la medición presentaban un vigor inferior a lo normal, producto de dos años con riego insuficiente.

El programa genera una serie de datos de salida, entre ellos: biomasa, producción, evaporación, transpiración, infiltración, drenaje, etc.; disponibles en forma gráfica o numérica.

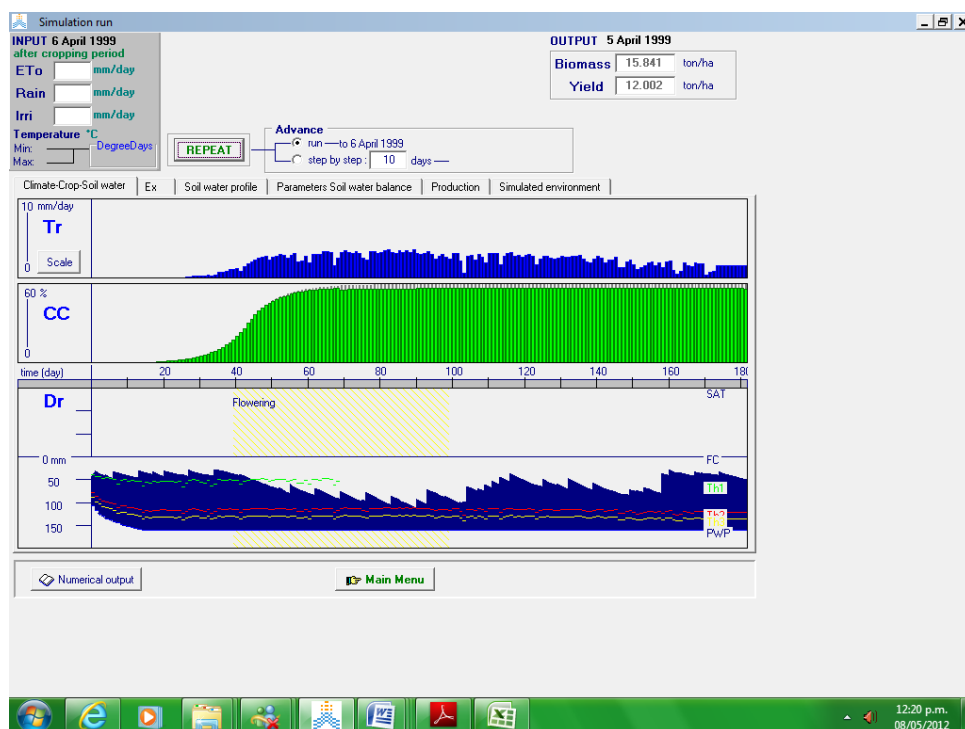


Figura 2.- Salida gráfica del programa AquaCrop, indicando: biomasa y producción (en forma numérica) y transpiración, desarrollo de canopia y balance hídrico del suelo (parte inferior de la figura).

Con la información suministrada por el programa y la disponible del ensayo se procedió a comparar los siguientes parámetros: precipitación y riego acumulado, evapotranspiración acumulada, desarrollo de canopia y evolución de la producción.

Para el cálculo de la evolución de la producción del ensayo a lo largo del ciclo, se utilizó el peso promedio de la baya durante su desarrollo. Se multiplicó este peso, por el número de bayas por racimo, por el número de racimos por planta y por la cantidad de plantas por hectárea. Al no contar con datos de biomasa producida en el ensayo, se comparó el desarrollo de la biomasa generada por el programa con los datos de longitud de brote llevados a porcentaje relativo: máxima longitud alcanzada por el brote sobre el final de la temporada de crecimiento vegetativo.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se presenta a continuación (figura 3) la evapotranspiración potencial estimada para el ensayo (ET_o acum ensayo) y la calculada como dato de ingreso del AquaCrop (ET_o acum entrada programa) con Penman – Monteith (1991). Las pequeñas diferencias al final del ciclo, pueden deberse a que, al no contar con las planillas de datos del ensayo, los mismos se extrajeron de los gráficos con la consecuente menor precisión. Se presentan además, las curvas de evapotranspiración del cultivo (ET acum) y del cultivo potencial (ET_x acum), generadas por AquaCrop. Estas curvas -si bien muy próximas entre sí- presentan una pequeña diferencia que podría indicar un desarrollo del cultivo inferior al óptimo. A su vez, si se observa el agua aplicada en el ensayo (precipitaciones + riegos), la misma no cubre los requerimientos del cultivo (simulados por AquaCrop) ubicándose por debajo de las curvas de evapotranspiración del cultivo generadas por el programa. Esta falta de agua podría ser la causante del menor desarrollo del cultivo y por lo tanto las diferencias entre la evapotranspiración del cultivo y la potencial del mismo.

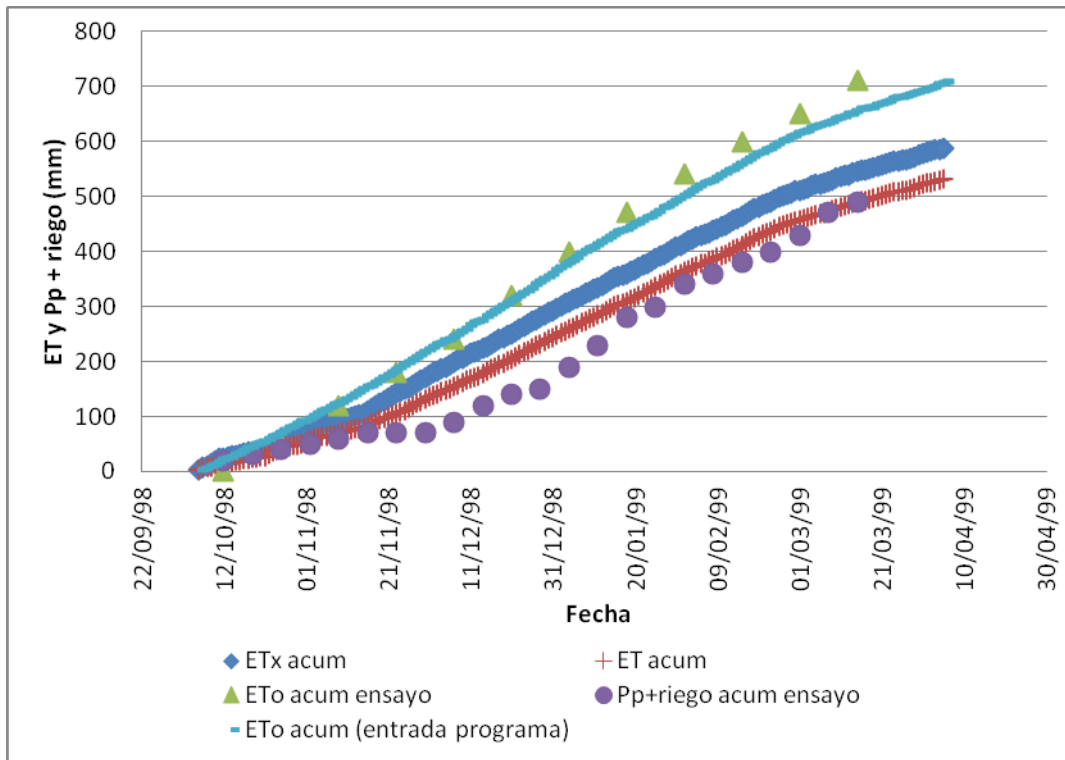


Figura 3.- Evapotranspiración del cultivo (ET) y evapotranspiración del cultivo potencial (ETx) simuladas (AquaCrop); evapotranspiración potencial calculada por Penman- Monteith (ETo, dato de entrada); evapotranspiración potencial del ensayo (ETo ensayo) y precipitaciones + riegos del ensayo.

La figura 4 permite comprobar la coincidencia de los datos de riegos y precipitación introducidos como datos de entrada al programa con la realidad del ensayo. Como puede verse prácticamente los datos coinciden.

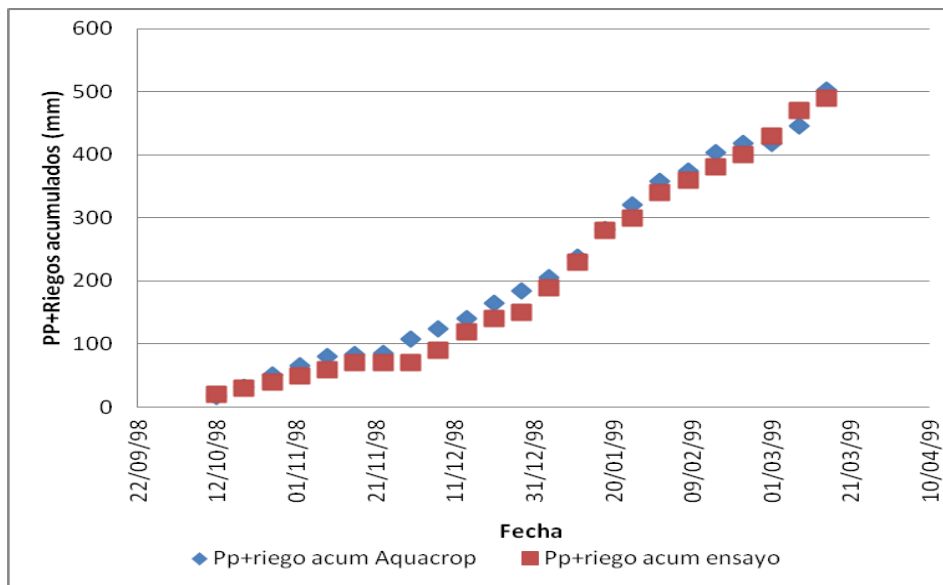


Figura 4.- Precipitación y riegos acumulados obtenidos del ensayo y simulados con AquaCrop.

Al comparar los datos de desarrollo de la canopia (figura 5), se observa que las curvas coinciden al final del ciclo, pero no durante los dos primeros tercios del mismo, en los que el desarrollo de la canopia (ensayo) es mayor que el estimado por el modelo. En el modelo se consideró un valor de 60% de sombreado como máximo desarrollo de canopia y si bien este valor es superior al del sombreado real de la planta al mediodía, se lo usó porque en la vid la canopia estaba conducida artificialmente en el plano vertical, afectando su libre crecimiento.

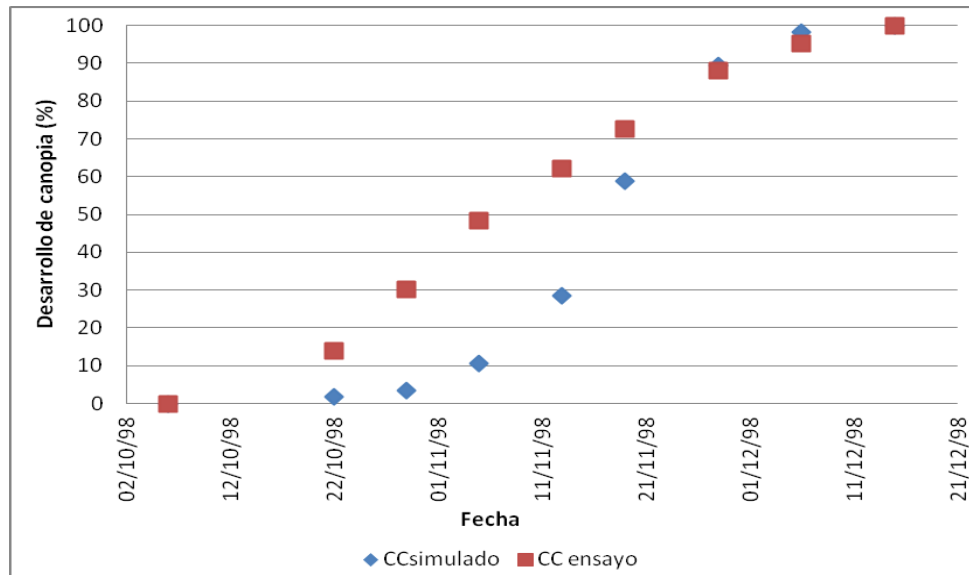


Figura 5.-Desarrollo de la canopia simulado por AquaCrop y en el ensayo.

Al comparar los datos de producción obtenidos en el ensayo y los simulados por el programa (figura 6), se puede observar que la producción estimada por el programa al final del ciclo se acerca a la producción obtenida en el ensayo. Sin embargo no ocurre lo mismo durante el desarrollo del fruto. Se parte con una diferencia en la producción de 4 toneladas entre lo simulado y lo estimado, diferencia que se mantiene o aumenta a lo largo del desarrollo del ciclo, excepto al final del mismo, en el que lentamente esta diferencia se va reduciendo hasta hacerse mínima entre las producciones finales. Además, la curva obtenida con los datos del ensayo se ajusta a una doble sigmoide, característica del desarrollo del fruto de la vid (Keller, 2009), con un rápido crecimiento inicial, que se detiene para que se produzca maduración de la semilla y luego se retoma el crecimiento hasta la maduración del fruto mientras que la curva obtenida con que el programa simula el aumento de la producción a lo largo del ciclo en forma exponencial. Esto podría deberse a que el índice de cosecha -en la realidad- resulta variable en el tiempo, es decir, que la proporción de uva respecto de la biomasa debería ser considerada con mayor precisión en todo el ciclo. Otra explicación para la diferencia en la producción final podría deberse al valor de WP (productividad del agua) utilizado, ya que al no contar con el dato exacto, se usó el valor medio de los cultivos C3 de la bibliografía ($17,5\text{g/m}^2$). Con un valor más bajo de WP (15.5g/m^2) para este grupo de plantas la producción se vería reducida a 10.6 toneladas, mientras que si se utiliza un valor más elevado (19.5g/m^2) se obtiene una producción más próxima a la simulada (13.4 toneladas).

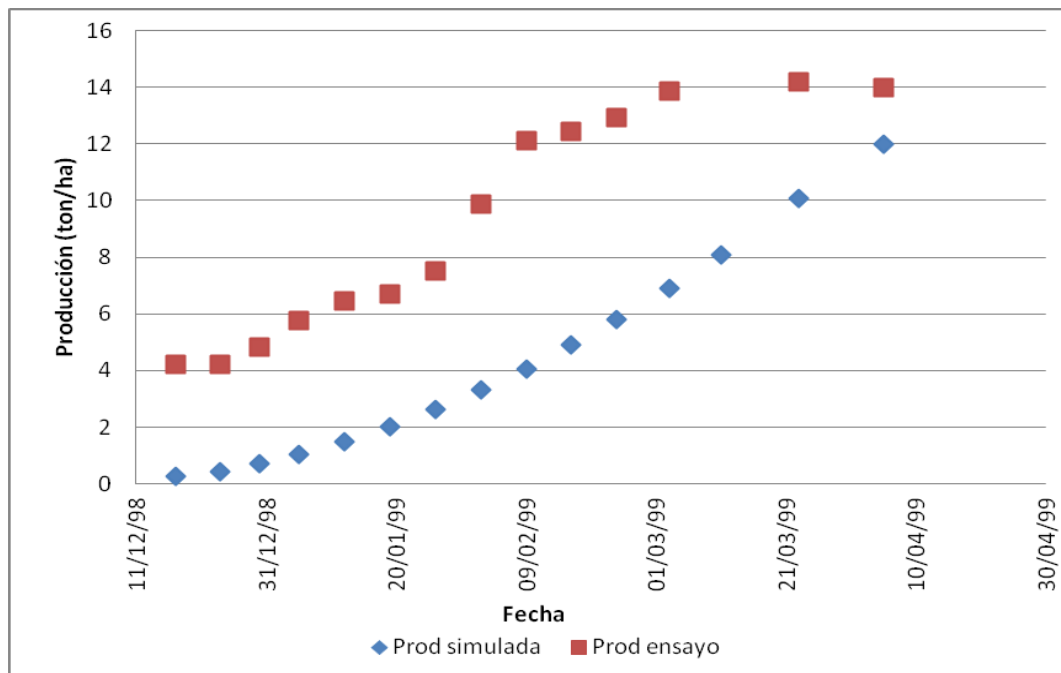


Figura 6.-Producción estimada con AquaCrop y producción obtenida en el ensayo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación del modelo AcuaCrop -desarrollado para su uso en cultivos anuales, a un caso de cultivo perenne como la vid, ha evidenciado muchas potencialidades y algunas deficiencias que deberían ser subsanadas a futuro.

Entre las potencialidades resulta interesante observar la adecuada simulación de la evapotranspiración y su diferenciación entre la transpiración (que es productiva) y la evaporación (improductiva) y las posibilidades que presenta -una vez calibrado- para predecir la productividad del cultivo. Todo ello contribuiría a realizar una mejor gestión parcelaria del riego y un mejor uso del agua a nivel de cuenca.

Entre los aspectos que aún resulta necesario incursionar, se pueden mencionar a los siguientes:

-El modelo contempla el efecto del sombreado al mediodía y resulta adecuado para cultivos que crecen libremente. Para cultivos como la vid -conducidos artificialmente con geometrías variadas- este parámetro debería ser mejorado. En el caso de la conducción en espaldero, ese sombreado es mínimo a mediodía, por lo que habría que considerar el sombreado medio diario total, ya sea analizándolo durante las diferentes horas del día (para obtener un valor representativo) o midiendo la radiación media diaria total recibida en el piso respecto de la recibida en la parte superior de la canopia. Esta medición podría vincularse con la geometría de la planta. Esto se ve reflejado en la aplicación del programa que utilizó un valor de sombreado superior al real, obteniendo como resultado valores de producción similares a los logrados en el ensayo. Si se hubiera utilizado el valor real, la producción estimada hubiera sido muy inferior a la obtenida. Así Hsiao et al. (2009)

en una experiencia de calibración del cultivo maíz focalizaron su interés en la medición de la progresión de la cobertura de canopia y de la biomasa en el tiempo.

-Si bien se realizó una medición a campo para determinar el índice de cosecha, esta determinación fue puntual, por lo que sería necesario medir con precisión los componentes de la biomasa generada en el tiempo para cada variedad de vid. Se podrá así reproducir una adecuada evolución de la misma y de sus componentes y precisar el índice de cosecha en el tiempo (IH), lográndose una estimación más exacta de la producción final y a lo largo del ciclo.

-Al usar el modelo observamos que sólo permite introducir cultivos anuales y por lo tanto no prevé la posibilidad de trabajar con cultivos ya establecidos indicando su estado de reservas. Para poder ser utilizado en cultivos perennes el modelo debería permitir comenzar el ciclo a simular considerando el estado del cultivo al inicio del mismo, ya que en los cultivos perennes su desarrollo y producción depende no sólo de las particularidades del año en curso, sino también de las del ciclo anterior.

-El modelo debería permitir ajustar el porcentaje de agua extraído por las raíces en cada estrato de suelo en que se puede dividir la rizósfera. Actualmente no permite mayores extracciones porcentuales en estratos inferiores que en los superficiales, como es el caso de la mayoría de los frutales.

-El sistema radical de un cultivo perenne ya está instalado a partir de cierta edad del mismo (en vid se menciona que a partir del cuarto año el mismo ha alcanzado su máxima profundidad). El modelo debería permitir iniciar el ciclo con la profundidad de su sistema radical.

-La senescencia de una planta de vid es posterior a la cosecha. Esto implica que después de la misma el cultivo sigue evapotranspirando hasta la caída de sus hojas, lo que afecta el balance hídrico. Actualmente el programa no permite incorporar esta alternativa.

- En cuanto al parámetro *floración*, se observa que el programa no permite elegir periodos de floración inferiores a 60 días. En el caso de la vid (y de este ensayo) el mismo fue de 17 días. Aparentemente este está ligado a la longitud del período que va desde brotación hasta floración.

-El modelo no permite considerar distancias de plantación que tengan porcentajes de cobertura menor a 0.1%. Esto deja fuera a cultivos con distancias de plantación superiores a 2 m x 1,5 m.

REFERENCIAAS

- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith, 1998. *Crop evapotranspiration*. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drenaje paper n° 56, FAO, Rome.
- Doorenbos and Kasam, 1979. *Yield reponse to water*. Irrigation and Drainage paper n° 33 FAO, Rome.
- Fereres, E. and Soriano M.A., 2007. *Deficit Irrigation for reducing agricultural water use*. Journal of Experimental Botany, 58-2, pp. 147-159
- Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. and Fereres, E. 2009. *AquaCrop-The FAO Crop model to simulate Yield response to Water: III. Parameterization and testing for maize*. Agronomy Journal, 101-3, pp 448-459.
- INV (Instituto Nacional de Vitivinicultura), 2007.
<http://inv.gov.ar/PDF/Estadisticas/RegistroVinedos/registrovinedossuperficie2007-total%20provincias.pdf>
- Keller, M., 2009. *Grapevine Anatomy and Physiology*. Washington State University.
- OIV (Organización Internacional del Vino), 2007.
http://news.reseau-concept.net/images/oiv_es/Client/Statistiques_commentaires_annexes_2007_ES.pdf
- Pérez Peña, J., 2000. *Restricciones hídricas durante el desarrollo de la baya y su influencia en el crecimiento vegetativo, reproductivo, rendimiento y calidad enológica de la uva variedad Cabernet Sauvignon*. Mendoza – Argentina.
- Raes, D., 2009. *ETo Calculato V 3.1*. Reference manual. Land and Water Division. FAO
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao T.C., and Fereres, E., 2011. *AquaCrop V.3.1plus*. Reference manual.
- Steduto, P., Hsiao T.C. and Fereres, E., 2007. *On the conservative behavior of biomass water productivity*. Irrigation Science, 25, pp 189-207.
- Steduto, P., Hsiao T.C., Raes, D. and Fereres, E., 2009. *AquaCrop-The FAO Crop model to simulate Yield response to Water: I. Concepts and Underlying principles*. Agronomy Journal, 101-3, pp 426- 4