

Water footprint of the soybean crop from satellite data in the Center Southeast of the Argentine Pampas

Olivera Rodríguez, Paula (1)

Instituto de Hidrología de Llanuras – Comisión de Investigaciones Científicas (CIC)/Argentina

+54 0249 4354012 paula_claraz@hotmail.com

paula_claraz@hotmail.com

Rivas, Raúl Eduardo (2)

Instituto de Hidrología de Llanuras – Comisión de Investigaciones Científicas (CIC)/Argentina

+54 0249 4385520 rrivas@rec.unicen.edu.ar

Holzman, Mauro Ezequiel (3)

Instituto de Hidrología de Llanuras – Consejo Nacional de investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)/Argentina

+54 02281 590496 mauroh@faa.unicen.edu.ar

mauroh@faa.unicen.edu.ar

Bayala, Martín Ignacio (4)

Instituto de Hidrología de Llanuras – Comisión de Investigaciones Científicas (CIC)/Argentina

+54 0249 4544365 martin.bayala@rec.unicen.edu.ar

Introducción

En los últimos años, el incremento de la población mundial ha generado un crecimiento en la demanda de alimentos. Según la FAO, para satisfacer la demanda en el año 2050 se espera que aumente la producción de cultivos, por lo que se deberá aumentar la productividad de las tierras cultivables.

Conjuntamente con el aumento en la producción agrícola se debe tener en cuenta el aumento en el consumo de agua utilizado para dicha actividad, dado que la agricultura es responsable por el 86% del consumo de agua en el planeta (*Chamorro & Sarandón, 2013*).

La RPA es el área de secano más productiva del país, concentrando más del 90% de la producción de soja (*Magrin et al., 2005; MAGyP, 2016*). La potencialidad natural de la RPA por sus características climáticas y edáficas permite el desarrollo de cultivos sin riego.

La demanda creciente en alimentos y fibras, el aumento de la superficie agrícola aparece como un proceso ineludible (*Paruelo et al., 2005*). Por lo mencionado, es imperativo usar la tierra y el recurso hídrico de la manera más eficiente, por ejemplo considerando las ventajas naturales de determinadas regiones en las que el suelo y el clima permiten la producción de secano. Pese a esto, a escala mundial se le ha prestado insuficiente atención al potencial de crecimiento de la producción de esas áreas a fin de satisfacer la demanda de alimentos. Por lo general la mayor parte de la atención está dirigida a la posible extensión de las áreas bajo riego y en ocasiones particulares, aprovechando ciclos climáticos más húmedos de regiones semiáridas. Sin embargo el incremento de los rendimientos de los cultivos de cereales en condiciones de secano, en los países con regiones templadas como la República Argentina, sumado a mejores técnicas de fertilización y laboreo pueden mejorar la producción (*Kijne, 2003*).

Cabe destacar además que la producción de cultivos de secano conlleva a un consumo de agua determinado, que pocas veces es considerado y cuantificado. Este consumo puede estudiarse y comprenderse a partir de la aplicación del concepto de Huella Hídrica, la cual se define como el volumen de agua utilizada para producir productos y servicios consumidos por un individuo, por un grupo de personas o por un país respectivamente (*Hoekstra et al., 2011*). La HH se compone de tres tipos de agua: i) Agua azul (HHa), proveniente de fuentes de agua superficiales y subterránea, ii) Agua gris (HHg), que es el agua contaminada luego de cualquier proceso productivo y iii) Agua verde (HHv), proveniente de la lluvia que es evapotranspirada por el cultivo en su proceso de desarrollo productivo.

Las necesidades futuras de mayor producción generarán una fuerte presión a nivel de la República Argentina y en particular en la RPA, por lo que es necesario conocer la HH actual, cuantificando HHv y HHg a nivel espacial, para evaluar los escenarios futuros, brindando elementos y herramientas para una apropiada gestión.

Metodología

Para estimar el HHv se utilizará la ecuación propuesta por *Mekonnen y Hoekstra, (2011)*:

$$HHv = \sum \frac{ET}{Y} \quad [1]$$

donde **ET** es el agua consumida y evapotranspirada por el cultivo en su proceso de desarrollo (en mm llevada a m³/ha) e **Y** el rendimiento del cultivo (t/ha).

Para calcular el valor de ET se utilizará el modelo de Priestley y Taylor (1972) (*Rivas et al., 2010; Ocampo et al., 2011; Carmona et al., 2013; Carmona et al., 2017;*). Los datos necesarios para aplicar la ecuación 1, junto con otros datos meteorológicos y datos propios del cultivo, serán proporcionados por el grupo de investigación en que desarrollaré el proyecto de beca (Instituto de Hidrología de Llanuras- Grupo de Teledetección). Los mismos se complementarán con datos aportados por otras instituciones (Servicio Meteorológico Nacional, Ministerio de Agroindustria-Oficina de Riesgo Agropecuario) e informantes calificados como productores agropecuarios e ingenieros agrónomos.

Para determinar HHg se aplicará la ecuación propuesta por *Mekonnen y Hoekstra, (2011)*:

$$HHg = \frac{L}{[C_{max} - C_{nat}] \cdot Y} \quad [2]$$

siendo **L** es la cantidad de fertilizante - herbicida aplicado al cultivo (Kg/ha); **C_{max}** la concentración máxima del compuesto admitida por normativa nacional según el Código Alimentario Argentino (Kg/m³) y **C_{nat}** la concentración natural del compuesto en acuífero o cuerpo de agua receptor (Kg/m³). **L** se obtendrá de encuestas realizadas a productores e informantes (ej.: bolsas de cereales o empresas comercializadoras de fertilizantes). **C_{nat}** se obtendrá de bibliografía en base a estudios de calidad de agua y fondo químico.

Una vez realizados los cálculos de HHv y HHg a nivel de parcelas en base a datos de terreno e informantes, los mismos se extenderán a escala de partido utilizando imágenes de satélite. A partir de éstas se realizarán clasificaciones para identificar los cultivos de secano en la campaña correspondiente, discriminando las parcelas bajo riego. Se utilizarán imágenes de resolución espacial y temporal adecuadas a la escala de potrero/paisaje (misiones Landsat-DCM y AQUA-MODIS). La ET se calculará en base a *Priestley y Taylor (1972)*, adaptada a datos de satélite (*Rivas y Carmona 2010*). El Y se estimará espacialmente con datos MODIS utilizando el método de *Holzman et al. (2014)*, con errores del orden del 20%:

$$Y = C_1 (TVDI)^2 + C_2 TVDI + C_3 \quad [3]$$

donde **TVDI** es un índice de estrés hídrico (Temperature Vegetation Dryness Index), calculado a partir de la temperatura radiativa de superficie estimada desde satélite e índice de vegetación, **C₁**, **C₂** y **C₃** son coeficientes dependientes de la región agro-ecológica ([Holzman et al., 2014](#); [Holzman y Rivas, 2016](#)).

Posteriormente para cada parcela se aplicarán la ecuación 1 y 2 con los valores propios de cada uno de los predios/parcelas, las que se utilizarán para validar las estimaciones satelitales.

Resultados

-Resultados a escala de parcela

Para estimar la HHv fue fundamental la estimación tanto de la ETr (m³/ha) de todo el ciclo del cultivo, como del Y (t/ha).

En principio se calculó la ET potencial diaria utilizando el método de [Priestley y Taylor \(1972\)](#) (ET_{pt}) aplicando los datos de R_{nd} , T_a , P_{atm} registrados por la estación de balance de energía situada en la parcela experimental.

Estos valores, junto con los datos diarios de fracción evaporativa (FE) obtenidos en la parcela mediante el lisímetro de pesada, permitieron calcular la ETr para cada uno de los días del periodo de interés y consecuentemente la ETr total de todo el ciclo, arrojando un valor de 4477 m³/ha.

Por otra parte, el valor del rendimiento (Y) utilizado a nivel de parcela fue el indicado en las encuestas realizadas a productores y comerciantes de agroquímicos de la zona, el cual corresponde a 2500 kg/ha

Para efectuar el cálculo de HHv, el valor de ETr para todo el ciclo del cultivo calculado en mm, fue llevado a m³/ha, en tanto que el valor de Y se utilizó en t/ha tal como lo requiere la ecuación [1]. Finalmente el valor de HHv a nivel de parcela fue de 1791 m³/t.

La soja no requiere fertilizante nitrogenado, ya que afectaría el desarrollo de la Planta. Es el P el elemento relevante. Sin embargo debido a su relativa escasez edáfica, la falta de reposición natural y la elevada retención por parte del suelo, las posibilidades de encontrar P en exceso en aguas subterráneas es casi nula, no justificando el uso de este elemento para el cálculo de HHg ([Olivera Rodríguez, 2018](#)), no solo a nivel de parcela sino también a nivel de partido. Es necesario profundizar el estudio de la HHg, considerando para su estimación la aplicación de herbicidas como el glifosato.

-Resultado a escala de partido

En principio para distinguir parcelas cultivadas con soja, se realizó una clasificación no supervisada ISODATA. Empleando este producto, se generó una máscara, resultando una imagen binaria donde se identifican los suelos ocupados con cultivo de soja discriminando los píxeles clasificados como otros usos de suelo.

Una vez realizada la correspondiente diferenciación de las parcelas de cultivo a nivel de partido, para la estimación de HHv se llevó a cabo nuevamente el cálculo de la ETr e Y a nivel espacial.

Para el cálculo de la ET se utilizó el valor de ET_{pt} obtenido a través de los cálculos a nivel de parcela, cuyo valor es de 6052 m³/ha durante todo el ciclo del cultivo. La FE en cada una de las parcelas, se estimó calculando previamente el Índice de stress hídrico en cada una de ellas durante los 4 meses que duró la campaña, mediante la utilización de información de satélite. Por último con el valor de ET_{pt} y los valores de FE obtenidas, aplicando la ecuación [2], se generaron 4 imágenes de ETr (una por cada mes) para cada una de las parcelas del partido.

El rendimiento del cultivo a escala de partido se estimó espacialmente con datos captados por el sensor MODIS utilizando el método de [Holzman et al., \(2014\)](#). Luego se confeccionó un mapa de rendimiento del partido.

Obtenidos los valores de ETr e Y por parcela, se obtuvo un mapa de HHv a escala de partido donde se presentan los diferentes valores de HHv consumida en cada una de las parcelas con cultivo de soja del partido de Tandil durante la campaña 2014/15. Los valores resultantes indicarían que el consumo de HHv fue de 650 m³/t y hasta 1800 m³/t en algunas parcelas, lo cual implica que para producir 1kg de soja se consumió entre 650 l y 1800 l.

Esta información fue validada con los valores de HHv a escala de parcela, los cuales coincidieron con los valores expresados en el mapa.

Finalmente considerando que el nitrógeno como parámetro de control no es aplicable para el cálculo de HHg en el caso del cultivo de soja, se concluye que la HH del cultivo de soja de secano tendería a ser igual al valor de HHv.