



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

# **Huella Hídrica de Cítricos. Impacto sobre la disponibilidad de agua en la etapa de producción primaria de naranjas (*Citrus sinensis*) en la Provincia de Entre Ríos, Argentina.**

Autora: Verónica Lourdes Gutierrez.

TESIS DE GRADO DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA) – CCT Mendoza CONICET

– Av. Ruiz Leal s/n – Parque Gral San Martín (5500) Mendoza – Argentina.

<http://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal>

Lujan de Cuyo, Mendoza. 2016.

**Huella Hídrica de Cítricos. Impacto sobre la disponibilidad de agua en la etapa de producción primaria de naranjas (*Citrus sinensis*) en la provincia de Entre Ríos, Argentina.**

**Autora:** Verónica Lourdes Gutierrez.

**Dirección postal:** 5501.

**Correo electrónico:** verolourdes14@hotmail.com

**Directora:** Dra. Bárbara María Civit.

**Codirectora:** M. Sc. Ingeniera Agrónoma Laura Abraham.

**Miembros del Comité evaluador:**

Dra. Ing. Roxana Piastrellini.

Dr. Ing. David Allende.

Ing. Agrónomo Emilio Rearte.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi directora de tesis, la Dra. Bárbara María Civit y a la codirectora: M. Sc. Ingeniera Agrónoma Laura Abraham por el apoyo, dedicación, confianza, por los conocimientos compartidos y por las sugerencias precisas fundamentales para la redacción. Este documento fue desarrollado en el Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA), CONICET Mendoza.

A mi mama Nancy, a mi papa Oscar, a mis hermanas y abuelos quienes me han acompañado siempre, con sus consejos me han enseñado y guiado en este camino durante la carrera y la realización de la tesis.

A Gustavo por su amor incondicional, paciencia y que me ha acompañado en cada una de mis decisiones y en cada momento.

A los profesores de Ciencias Agrarias, que compartieron su sabiduría con solidaridad.

## INDICE

RESUMEN.....	7
PALABRAS CLAVES.....	7
SUMMARY .....	8
KEYWORDS.....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. CAPÍTULO 1 – MARCO TEÓRICO Y PLANTEO DEL PROBLEMA.....	12
2.1. Problemática de agua en el plano global y regional .....	12
2.2. Recursos Hídricos en Argentina.....	13
2.3. Producción y exportación de cítricos en Argentina. Planteo del problema.....	13
2.4. Indicadores de uso de agua .....	14
2.5. Estado de conocimiento actualizado del tema.....	17
2.6. Hipótesis .....	17
2.7. Objetivo General .....	18
2.7.1. Objetivos particulares.....	18
3. CAPÍTULO 2 – MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. CASO DE ESTUDIO.....	21
3.1.1. Selección del Caso de Estudio .....	21
3.1.2. Cítricos. Características botánicas .....	21
3.1.3. Fisiología del crecimiento de los cítricos.....	23
3.1.4. Región de estudio. Características .....	24
3.1.4.1. Ubicación de la zona de estudio .....	24

3.1.4.2.	Hidrología.....	26
3.1.4.3.	Parámetros Climáticos.....	27
3.1.4.4.	Suelos .....	28
3.2.	DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA .....	29
3.2.1.	Establecimiento de metas y alcances .....	29
3.2.2.	Contabilidad de la huella Hídrica .....	29
3.2.3.	Evaluación de Sustentabilidad de la Huella Hídrica .....	38
4.	CAPÍTULO 3 – RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA .....	41
4.1.	Evaluación de la Sustentabilidad de la Huella Hídrica.....	43
5.	CAPÍTULO 4 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45
6.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	48
7.	Anexo I – Captura de pantalla de la herramienta CROPWAT 8.0 (FAO, 2008) .....	53
8.	Anexo II – Captura de pantalla de la herramienta MICROSOFT EXCEL 2010.....	53
9.	Anexo III – Agroquímicos utilizados.....	53

## INDICE DE TABLAS Y CUADROS.

Tabla 1: Coordenadas geográficas y altitud de las estaciones meteorológicas: Concordia, Gualeguay y Gualeguaychú. Fuente: Elaboración propia. ....	30
Tabla 2: Valores del coeficiente del cultivo (Kc) y duraciones de las etapas del crecimiento del cultivo. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 3: Criterio y Características de programación por defecto para el cultivo de naranjas. Fuente: Elaboración propia .....	34
Tabla 4: Cálculo de la Huella Hídrica Verde, para el cultivo de naranjas de variedad Valencia sin riego.Fuente: Elaboración propia .....	41
Tabla 5: Cálculo de la Huella Hídrica Verde y Azul, para el cultivo de naranjas de variedad Valencia con riego. Fuente: Elaboración propia.....	42
Cuadro 1: Comparación de valores promedios entre variables climáticas y ETc para la Estación Concordia de datos obtenidos del Programa CLIMWAT y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).Fuente: Elaboración propia.....	53
Cuadro 2: Evaluación de Sustentabilidad Ambiental de la Huella Hídrica Verde para las Estaciones Meteorológicas de Concordia, Gualeguay y Gualeguaychú. Fuente: Elaboración propia. ....	53
Cuadro 3: Evaluación de Sustentabilidad Ambiental de la Huella Hídrica Azul. Fuente: Elaboración propia.....	53

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Ilustración de cultivo perennifolio de naranjas, mostrando flores y frutos. Fuente: Federcitrus, 2015.....	22
Figura 2: Ubicación geográfica de la Provincia de Entre Ríos y los departamentos de la subregión citrícola del Río Uruguay. Fuente: FE.CI.ER, 2014.....	25
Figura 3: Distribución local de estaciones meteorológicas: Estación Concordia, Gualeguay y Gualeguaychú. Fuente: CLIMWAT 2.0. ....	31
Figura 4: Comparación de las huellas hídricas promedios verde y azul del cultivo de naranjas, en seco y regadío. Fuente: Elaboración propia. ....	43
Figura A1: Requerimiento de agua del cultivo para la Estación Concordia. “Salida de CROPWAT 8.0”. ....	53
Figura A2: Programación de riego de cultivo, indicando $ET_{green}$ , $ET_{blue}$ y $ET_c$ para los datos de la Estación Concordia. “Salida de CROPWAT 8.0”.....	53
Figura A3: Programación de riego de cultivo, indicando $ET_{green}$ , $ET_{blue}$ y $ET_c$ para los datos de la Estación Gualeguay. “Salida de CROPWAT 8.0”.....	53
Figura A4: Programación de riego de cultivo, indicando $ET_{green}$ , $ET_{blue}$ y $ET_c$ para los datos de la Estación Gualeguaychú. “Salida de CROPWAT 8.0”.....	53

## RESUMEN

En los últimos años se ha intensificado el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para conseguir mayor productividad en los cultivos, se han tenido como consecuencia algunos aspectos nocivos sobre el entorno, en especial sobre el recurso hídrico, ya sea por su agotamiento o por la calidad final una vez que se ha usado. En este contexto, en la presente tesis se evaluó la disponibilidad de agua utilizando una herramienta metodológica que permitió cuantificar los volúmenes de agua verde y azul, involucrados en la producción primaria de naranjas dulces (*Citrus sinensis*) para la variedad Valencia en la Provincia de Entre Ríos.

Se analizaron dos escenarios para este cultivo, en secano y regadío, para el periodo de un año comprendido entre la fecha de inicio del ciclo y cosecha. Los resultados que se obtuvieron para la huella hídrica verde promedio sin riego es de 422 m<sup>3</sup>/t, para las huellas hídricas promedios verde y azul con riego son de 193 m<sup>3</sup>/t y de 18 m<sup>3</sup>/t, respectivamente. Los valores del indicador de sustentabilidad ambiental de la huella hídrica verde y azul, no superan el valor de 1 demostrando que es sustentable la producción de naranjas en esa región.

Esto pone de manifiesto, desde el aspecto ambiental, que la incorporación de riego al cultivo reduce la huella hídrica total por un incremento en los rendimientos del cultivo. Esto conlleva a una disminución del agua virtual asociada a la producción de las naranjas, siendo necesario emplear sistemas de riego que optimicen el uso del recurso agua a campo. También permite contribuir a establecer políticas ambientales, de certificación como el ecoetiquetado y poder concientizar a los productores y consumidores sobre la importancia de ser responsables con el uso y consumo del recurso hídrico.

## PALABRAS CLAVES

Recurso hídrico, cultivo de naranjas, indicador, sustentabilidad ambiental, Entre Ríos.



## SUMMARY

In recent years, it has being intensified the use and explotation of natural resources for increased productivity in crops, they have being resulted in some harmful aspects of the environment, particularly on water resources, either by exhaustion or the final quality once used. In this context, this thesis availability of water using a methodological tool that allowed quantify the volumes of green and blue water involved in the primary production of sweet oranges (*Citrus sinensis*) for the variety Valencia in the province of Entre Ríos.

Two scenarios for this crop, dry and irrigated, for a period between the start date of the cycle and harvest. The results obtained for average green water footprint without irrigation is 422m<sup>3</sup>/t, green and blue for average irrigation water footprints are 193 m<sup>3</sup>/t and 18 m<sup>3</sup>/t, respectively. The indicator values of environmental sustainability green and blue water footprint does not exceed the value of 1, demonstrating that sustainable production of oranges in the region.

This highlights from the environmental aspect, that the incorporation of crop irrigation to reduce total water footprint by an increase in crop yields. This leads to a decrease of virtual water associated with the production of oranges, being necessary to use irrigation systems that optimize the use of water resource field. It also allows to establish environmental policies, certification and eco-labeling and to create awareness among producers and consumers about the importance of being responsible with the use of water resources.

## KEYWORDS

Water resources, cultivation of oranges, indicator, environmental sustainability, Entre Ríos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la agricultura -hace más de 12.000 años- como una práctica sistemática para la provisión de alimentos a las poblaciones establecidas en distintos rincones del planeta se ha intensificado el uso y aprovechamiento de recursos naturales para conseguir mayor productividad en los cultivos. Fue en el siglo pasado que la sustitución de abonos naturales por fertilizantes sintéticos, la modificación genética de los organismos y el reemplazo de la mano de obra especializada por maquinaria agrícola tuvo lugar, permitiendo alcanzar niveles de producción mucho más elevado que en tiempos anteriores. Sin embargo, estos avances tan significativos en el plano productivo, han tenido como consecuencia algunos aspectos nocivos sobre el entorno, especialmente sobre el recurso suelo y los recursos hídricos, ya sea por su agotamiento o por la calidad final una vez que se ha usado. En décadas recientes, los gobiernos, productores y otros tomadores de decisión de los países productores, pero también de los países compradores de productos agrícolas, se han hecho eco de esta situación y han apostado por conseguir mantener los niveles de producción que aseguren la provisión de alimentos a la población mundial, pero de manera sustentable y respetuosa con el medio en donde se producen. El uso del agua, se ha vuelto prioridad en todas las decisiones que se tomen en torno a la producción agrícola mundial (FAO, 2003).

Teniendo en cuenta este último aspecto, la agricultura y la ganadería conforman el sector que mayor volumen de agua involucra en el desarrollo de sus actividades, en todas las escalas geográficas y de producción. En términos generales, más del 84% de los recursos hídricos globales, están destinados a suplir las necesidades del sector agropecuario. Esta situación se verifica también en la escala regional y nacional (FAO, 2003).

Por lo expuesto, se evidencia la imperiosa necesidad de contar con información sobre el uso de los recursos hídricos asociados a la producción de los diversos cultivos en las diferentes regiones del planeta, y con herramientas metodológicas que permitan cuantificar los volúmenes

de agua involucrados en tal producción, pero también sobre los impactos en el entorno ambiental, social y económico que ese uso y consumo tienen aparejado.

Argentina tiene un enorme potencial agrícola y grandes ventajas naturales para la producción de muchos productos agrícolas. En 2004 el sector aportó un 58% de las exportaciones totales de bienes, de las cuales el 39% corresponden a productos primarios y 61% a manufacturas de origen agrícolas. La agricultura generó el 9% del Producto Bruto Interno y el 22% del valor agregado del sector de bienes. Los cultivos representaron el aporte más grande del rol de la agricultura en la economía argentina, con 63% del total y seguidos de la ganadería con 31% (Banco Mundial, 2006). El cultivo de cítricos, entre ellos el cultivo de naranjas, requiere de ciertas condiciones climáticas, de suelo y de agua que se conjugan de manera óptima en la región central y centro este de nuestro país. Entre Ríos es la provincia de mayor producción en naranjas y mandarinas en la región y el país. A nivel internacional, Argentina ocupa el octavo lugar como productor mundial de estas frutas (Federcitrus, 2015).

Esta tesis aborda el uso y consumo de agua evaluándose dos condiciones, en secano y regadío para la producción de naranjas, siendo uno de los cultivos representativos del sector agrícola nacional. Se presenta la aplicación de una metodología de cuantificación del uso de recursos hídricos que podría ser de gran ayuda a la hora de la toma de decisiones en el manejo de los cultivos y los recursos naturales.

En las distintas secciones que componen el manuscrito, se expone la problemática del agua en el plano global y regional, la relevancia de los recursos hídricos en Argentina y en Entre Ríos, y la importancia de tener conocimiento sobre la huella hídrica como indicador de uso y consumo de agua en el sector.

El Capítulo 1 sitúa al lector en el marco teórico, el planteo del problema y los antecedentes existentes sobre la temática abordada. En este espacio se enuncia la hipótesis de trabajo y los objetivos generales y particulares planteados para poder demostrarla.

El Capítulo 2 describe los materiales y métodos que se eligieron para alcanzar los objetivos planteados. La metodología se enmarca en el uso de los recursos hídricos regionales, específicamente en la herramienta huella hídrica definida inicialmente por Hoekstra en 2002, y en constante evolución y evaluación por los profesionales y técnicos de la Water Footprint Network. Por otra parte, se presenta el caso de estudio, su ubicación geográfica y características particulares. Para el desarrollo de este trabajo, se contó con información y datos tomados de referencias nacionales e internacionales de la producción de cítricos, específicamente de naranjas y se destaca que no se encontró en la bibliografía información acerca de valores de huella hídrica calculados para naranjas producidas en Argentina.

Los resultados obtenidos se muestran en el Capítulo 3, se exponen de manera gráfica ilustrando las diferencias encontradas en cada área de influencia correspondiente a las estaciones meteorológicas consideradas. Asimismo, se analizan los valores de huella hídrica encontrados como también los resultados del Análisis de Sustentabilidad que permitirán pronunciar las conclusiones y sugerir las recomendaciones presentadas en el Capítulo 4. La información complementaria se encuentra distribuida en Anexos que complementan la exposición central del manuscrito.

Finalmente, se encuentran las referencias bibliográficas que se citan en cada sección del texto y la bibliografía consultada que fue soporte del trabajo.

## **2. CAPÍTULO 1 – MARCO TEÓRICO Y PLANTEO DEL PROBLEMA**

En este capítulo, se expone la problemática global y regional del agua en la agricultura, algunos indicadores de uso de agua y se define el problema estudiado, la hipótesis de trabajo y los objetivos para demostrarla.

### **2.1. Problemática de agua en el plano global y regional**

El problema ambiental de mayor relevancia en la actualidad, y en el futuro cercano, es el uso y consumo del recurso agua. El agua es el elemento más abundante en nuestro planeta, sin embargo, más del 97% se encuentra en los mares y océanos y sólo el 2,5 % es agua dulce apta para que el hombre pueda desarrollar sus actividades. De ese 2,5% de agua dulce, el 69,7% se encuentra en forma de hielo y nieve permanente, por lo que no está disponible para uso directo, el 29,9% corresponde a las aguas subterráneas, y sólo el 0,39% del agua dulce se encuentra en lagos, ríos y arroyos. Estos valores indican que solo un porcentaje muy pequeño de agua puede ser aprovechada directamente (FAO, 2003). La agricultura y ganadería consumen más del 84% del total de agua dulce disponible y es justamente ese sector el que mayores esfuerzos debe hacer para asegurar el uso eficiente del agua, la productividad del recurso suelo y la oferta de alimentos. El agua desempeña un papel crucial en la producción regional y mundial de alimentos. En más del 80% de las tierras agrícolas del mundo, la productividad de los cultivos depende únicamente de una precipitación suficiente para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo (FAO, 2003). En las últimas décadas, las modificaciones que se han registrado sobre algunas variables climáticas, como la temperatura media global del planeta, han ocasionado algunas variaciones en la disponibilidad del recurso hídrico en ciertas regiones del globo. Se prevé que el cambio climático altere el ciclo hidrológico, afectando la disponibilidad del agua (FAO, 2003). Por otra parte, como consecuencia de las actividades humanas, especialmente de la actividad industrial, la óptima calidad del agua dulce se ha visto amenazada o deteriorada en algunos sitios.

## **2.2. Recursos Hídricos en Argentina<sup>1</sup>**

Según sus características hídricas, Argentina está dividida en tres áreas (árida, semiárida y húmeda). La zona Árida tiene una superficie de 149,6 millones de ha (52,2%), la Semiárida de 49,8 millones de ha (18,1%) y la Húmeda de 76,3 millones de ha (27,7%). Por su parte, de la superficie total cultivada de 39,04 millones de ha, la superficie cultivada en secano es de 36,9 millones de ha (13,4 % del total de la superficie de las tres áreas) y la superficie bajo riego es de 2,1 millones de ha (0,8% del total de la superficie de las tres áreas), que representa un consumo anual aproximado de 44.213 Hm<sup>3</sup>. Esta cifra corresponde a un 5% de la superficie total cultivada en el país. El 65% de los 2,1 millones de hectáreas, se riega a partir de fuentes superficiales, y el resto con agua subterránea, siendo el número total de regantes alrededor de 145.000. Estas áreas irrigadas se localizan tanto en sistemas públicos como en áreas privadas. Dicha superficie, genera alrededor de un 13% del valor de la producción agrícola del país.

## **2.3. Producción y exportación de cítricos en Argentina. Planteo del problema**

Argentina es el octavo productor mundial de cítricos y la superficie dedicada a citrus es de 150.000 ha, con una producción total de alrededor de 2.500.000 toneladas anuales. (Federcitrus, 2015). Las provincias del Noreste (Entre Ríos, Corrientes, Misiones y Buenos Aires) producen el 53,84% y las provincias del Noroeste (Tucumán, Salta, Jujuy y Catamarca) producen el 45,03% de la producción nacional de cítricos. La producción de naranjas para el año 2014, en la provincia de Entre Ríos fue de 428.052 t, seguida por Corrientes con 300.000 t, Jujuy con 128.400 t, Salta con 63.450 t, Buenos Aires con 48.000 t, Tucumán con 35.100 t, Catamarca con 10.000 t y Misiones con 7.924 t. (Federcitrus, 2015).

---

<sup>1</sup> Se consultó el Ingeniero Agrónomo José Morabito de la Cátedra de Hidrología Agrícola de la FCA UNCuyo, quien recomendó basar esta sección sobre el informe del Estudio del Potencial de Ampliación del Riego en Argentina (FAO, 2015) y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina.

Las exportaciones de naranjas frescas alcanzaron en 2014 las 75.172 toneladas. El principal destino de estas frutas es Paraguay con 26.191 t, le sigue España con 23.992 t, y Holanda con 13.195 t entre otros países (Federcitrus, 2015).

Las exportaciones de cítricos, en este caso naranjas, tienen asociadas un volumen de agua durante su producción. Volumen que en la mayoría de los casos no se conoce, porque es común encontrar datos sobre extracción de agua por cuenca y asignada a un determinado sector. Pero no es habitual encontrar datos sobre el aprovechamiento de esa agua por un determinado cultivo a lo largo de toda su cadena productiva. De aquí que resulta necesario conocer la cantidad de agua consumida por unidad de producto y por año, con la finalidad de identificar puntos críticos y gestionar de manera sustentable el recurso hídrico asignado a esta producción.

## **2.4. Indicadores de uso de agua**

El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), desarrolla indicadores sobre el uso, la gestión y el estado de los recursos hídricos (UNESCO, 2009). Entre ellos se cuenta con el indicador de uso insustentable del agua, éste compara las demandas totales con los distintos sectores del uso de agua doméstico, industrial y agrícola, o también comparándolo directamente con la demanda de agua agrícola, indicando las áreas donde las prácticas no sustentables pueden estar ocurriendo.

El indicador se calcula como:

$$\text{Indicador} = Q - D \cdot I \cdot A \text{ o } Q - A \quad (\text{Volumen/tiempo})$$

Donde, D= demanda de agua doméstica (km<sup>3</sup>/año); I= demanda de agua industrial (km<sup>3</sup>/año); A= demanda de agua agrícola (km<sup>3</sup>/año); y Q= suministro de agua (km<sup>3</sup>/año).

Este indicador se basa en las estimaciones a nivel de país de la demanda de agua y se puede mejorar mediante el uso de estadísticas de demanda de agua subnacionales. Datos de

mayor calidad sobre la extensión de las zonas de regadío, aumentan el nivel de calidad de este indicador.

Actualmente muchos de los datos no son fiables o no se recogen sistemáticamente, lo que dificulta la creación de indicadores eficaces de forma periódica y comparable. Este hecho limita el seguimiento del comportamiento y las tendencias más importantes en el sector hídrico.

Otro indicador del Programa de Evaluación de los Recursos Hídricos, es el índice de estrés hídrico relativo que también se conoce como demanda relativa de agua (RWD)<sup>2</sup> (UNESCO, 2009).

$$\text{Indicador} = D * I * A / Q$$

Donde D= demanda de agua para uso doméstico (km<sup>3</sup>/año); I= demanda de agua industrial (km<sup>3</sup>/año); A= demanda de agua para uso agrícola (km<sup>3</sup>/año); y Q= abastecimiento de agua (km<sup>3</sup>/año).

Este indicador proporciona una medida de las presiones de la demanda de agua de la producción nacional, sectores industriales y agrícolas en relación con los suministros locales de agua.

Áreas que experimentan un estrés hídrico y la escasez de agua se pueden identificar por relaciones relativas de la demanda de agua igual a 0,2 y 0,4, respectivamente. Un umbral de 0,4 significa condiciones severas de estrés hídrico.

La combinación del umbral de estrés hídrico y los datos de población permiten la identificación de estrés hídrico "puntos críticos", zonas donde un gran número de las personas pueden estar sufriendo de los efectos del estrés hídrico y sus consecuentes impactos.

Los países que comercializan en el mercado externo productos agrícolas se convierten en exportadores de agua. Esta cantidad de agua no se comercializa literalmente con la

---

<sup>2</sup> Su sigla en inglés Relative Demand for Water (RWD).



exportación, sino que está relacionada con el producto exportado de manera virtual como agua incorporada en el producto o aquella necesaria para producirlo junto con los insumos asociados a su producción. De ahí que se la conoce como agua virtual, idea que fue desarrollada por Tony Allan en 1998. Argentina como exportadora traslada agua incorporada en su producto a los diversos destinos de exportación. Sobre este concepto, en 2002, el profesor Arjen Hoekstra de la Universidad de Leiden, Holanda propuso el indicador huella hídrica como una medida de la apropiación de los recursos hídricos por parte de las actividades humanas. Una de las principales ventajas que tiene la huella hídrica como indicador ambiental es que permite diferenciar el consumo de agua de acuerdo a su origen: precipitación (huella hídrica verde), agua superficial y subterránea (huella hídrica azul). También admite considerar el agua contaminada que se produce durante todo el ciclo de vida del producto o servicio que se esté analizando (huella hídrica gris). Es decir, se compone de dos términos: uno que tiene que ver con disponibilidad y el otro tienen que ver con la calidad (degradación). Esta distinción cobra relevancia a la hora de tomar decisiones o de encontrar los puntos críticos en un proceso para recomendar mejoras en la eficiencia de uso de agua. Los resultados obtenidos con la evaluación de huella hídrica permiten identificar puntos críticos sobre los cuales tomar medidas de reducción de consumo, asignar el recurso hídrico de acuerdo a las necesidades de producción, gestionar el agua y su uso sobre una base científica, seleccionar productos que consuman menor cantidad de agua durante su producción, entre otras.

Se eligió la huella hídrica, y no otro indicador, porque esta expresa la apropiación del recurso hídrico de la actividad citrícola, en especial el cultivo de naranjas, que se consume a lo largo del ciclo de vida del producto, cuantificando la distinción entre agua de precipitación y agua superficial y/o subterránea, dentro una región, y el impacto sobre la sustentabilidad que de ese volumen deriva.

## **2.5. Estado de conocimiento actualizado del tema**

Si bien no se han encontrado antecedentes publicados sobre estudios de huella hídrica en producción primaria de cítricos en Argentina, existen algunos datos sobre la aplicación de este indicador de uso de agua en otros cultivos regionales, como vid (*Vitis vinifera*) (Civit y col. 2012), (Morabito, 2012), soja (*Glycine max*) (Piastrellini y col. 2014, Piastrellini y col, 2015), colza (*Brassica napus*) (Civit y col, 2011) y maíz (*Zea mays*) (Morabito, 2015), entre otros. Por otra parte, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Silvicultura de la Nación, en el marco del Programa “Agricultura Inteligente. Huella de Carbono y Huella Hídrica” (AIHCHI) ha sentado las bases para el estudio de la huella hídrica de los productos argentinos agroexportables emblemáticos, entre los que se encuentran los cítricos (limones y naranjas). Asimismo, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en el marco de su programa sobre Agroeconomía de los productos regionales, también ha iniciado una línea de investigación relacionada con el uso sustentable del agua, tendiente a estudiar el indicador de huella hídrica en la producción nacional. Estos trabajos previos, constituyen el bagaje de conocimiento sobre la temática abordada en el plano nacional y regional, que serán la referencia y punto de partida para la realización de este trabajo de tesis de grado.

El número de aplicaciones del concepto de huella hídrica está aumentando rápidamente, la mayoría de los estudios han sido publicados a partir de 2007 y se han llevado a cabo hasta el momento: estudios globales, nacionales, y regionales, de cuenca fluvial, estudios generales del producto y de las compañías. Pocos estudios abordan todas las fases de evaluación de la huella hídrica, la mayoría tienen un fuerte enfoque sobre la contabilidad de la huella hídrica.

## **2.6. Hipótesis**

La hipótesis que motoriza este trabajo de tesis se enuncia como “*La determinación de la huella hídrica verde y azul asociada a la producción de naranjas en Argentina, permite tomar decisiones respecto de la asignación sustentable del recurso hídrico y recomendar estrategias*”

*de manejo que aseguren la renovabilidad de los recursos*". Esta hipótesis se fundamenta en los posibles efectos nocivos sobre la producción nacional de cítricos que puedan derivarse del cambio climático global, entre ellos se encuentra la disponibilidad de agua y su calidad.

## **2.7. Objetivo General**

Contribuir a la generación de conocimiento soporte para la toma de decisiones sustentables en el uso del agua y la gestión del recurso hídrico asociado a la producción de naranjas en secano y regadío, mediante la determinación de la huella hídrica verde y azul. Para ello se considera como caso de estudio la producción primaria de naranjas en Entre Ríos, Argentina.

### **2.7.1. Objetivos particulares**

- a) Caracterizar el cultivo en estudio y la región de producción.
- b) Determinar el componente de agua verde y azul de la huella hídrica en la etapa de producción primaria del cultivo de naranjas.
- c) Identificar los impactos ambientales derivados del uso del agua en la región de estudio por la producción de naranjas: huella hídrica verde y azul.
- d) Establecer recomendaciones para el uso sustentable del agua en el sector cítrico.

Este capítulo ha dejado en descubierto un problema crucial que puede afectar al uso sustentable de los recursos hídricos en la producción cítrica argentina. Generar información mínima de base para la toma de decisiones en la producción agrícola de cítricos representó un desafío de significativa importancia que se presenta en esta tesis.

### 3. CAPÍTULO 2 – MATERIALES Y MÉTODOS

Esta tesis se enmarca en la metodología de la huella hídrica, definida por Hoekstra en 2002, y desde ese momento hasta esta parte, desarrollada y actualizada constantemente por los investigadores y profesionales que conforman la Water Footprint Network (<http://waterfootprint.org/en/>).

La huella hídrica de un producto es un indicador empírico de la cantidad de agua consumida y contaminada, medida a lo largo de toda la cadena de suministro del producto. Es un indicador multidimensional, mostrando volúmenes, también hace explícito el tipo de uso del agua (uso consuntivo de agua de lluvia, aguas superficiales o subterráneas, o la contaminación del agua), la ubicación y el tiempo de uso del agua. La huella hídrica muestra apropiación humana de los recursos limitados de agua dulce, por lo tanto proporciona una base para la discusión de la asignación del agua y cuestiones que se relacionan con el uso sustentable, equitativo y eficiente del agua. Además, constituye una base para evaluar los impactos de los productos, servicios de las cuencas hidrográficas y la formulación de estrategias para reducir esos impactos.

La Evaluación de la huella hídrica es por lo tanto una herramienta parcial, para ser utilizado en combinación con otros medios analíticos con el fin de proporcionar la comprensión de toda la problemática a la hora de tomar decisiones.

Este concepto establece una diferenciación de los recursos hídricos consumidos según sea su origen y objetivo:

- **Huella hídrica verde:** relacionado con el consumo de agua de lluvia que satisface la evapotranspiración a partir del cultivo.
- **Huella hídrica azul:** se refiere al consumo de agua, asociado a una extracción de fuente superficial y/o subterránea para satisfacer la demanda originada en un proceso.

Cuantifica la pérdida de agua de una superficie o masa de agua subterránea en una

cuenca que pueda evaporarse, transferirse a otra cuenca, regresar al mar o que se incorpore a un producto.

- **Huella hídrica gris:** se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes por parte de un cuerpo receptor, tomando como referencia las normas de calidad ambiental, asociando los límites establecidos a una calidad buena para el ambiente y para las personas.

Una evaluación completa de la huella hídrica consiste en cuatro fases distintas:

1. Establecimiento de metas y alcances.
2. Contabilidad de la huella hídrica.
3. Evaluación de sustentabilidad de la huella hídrica.
4. Evaluación de resultados y recomendaciones.

Una evaluación de la huella hídrica comienza con el establecimiento de los objetivos y el alcance del estudio. El objetivo de la Evaluación de Huella Hídrica aclara lo que se va a realizar en los pasos subsiguientes: contabilidad, evaluación de la sustentabilidad y la formulación de la respuesta. El alcance de la evaluación define la escala espacial y temporal del estudio.

Una vez que el objetivo y el alcance de la evaluación de la huella hídrica se han definido, los datos se recogen para el cálculo de la huella de los procesos relevantes para el estudio. Estos pueden provenir de las bases de datos globales, o recopilada a nivel local. Los cálculos para la huella hídrica verde y azul siguen la metodología descrita en el Manual de Evaluación de Huella Hídrica (Hoekstra y col. 2011).

La etapa de evaluación de sustentabilidad se utiliza para estimar si el uso del agua es ambientalmente sustentable y este no excede los límites máximos sustentables del recurso de agua dulce.

En la última etapa de un estudio de huella hídrica, en la etapa de evaluación de resultados y recomendaciones se analizan los resultados obtenidos en las tres etapas precedentes para poder proponer una serie de recomendaciones sobre cómo gestionar los recursos hídricos asociados a la producción del producto considerado.

### **3.1. CASO DE ESTUDIO**

#### **3.1.1. Selección del Caso de Estudio**

Entre las provincias Argentinas productoras de cítricos, Entre Ríos concentra la mayor producción de naranjas y mandarinas, favorecida por las condiciones agroclimáticas de la zona.

Como caso de estudio se seleccionó el cultivo de naranjas, variedad *Valencia late* por su gran demanda en el comercio interno y externo. Del total producido, la mayor parte contribuye al mercado de fruta fresca<sup>3</sup> mientras el resto se comercializa como jugo concentrado.

Desde el punto de vista de la demanda de este producto es necesario contar con una herramienta útil como la huella hídrica para tener conocimiento sobre la apropiación del recurso hídrico, y poder tomar decisiones sustentables al respecto.

#### **3.1.2. Cítricos. Características botánicas**

Para la caracterización del cultivo de cítricos, se ha utilizado el Manual para productores de naranja y mandarina de la Región del Río Uruguay, realizado por investigadores de la Estación Experimental Agropecuaria Concordia. (Anderson y col, 1996).

Los cítricos cultivados pertenecen botánicamente al orden de las Geraniales, familia de las Rutáceas, y a los géneros *Citrus*, *Fortunella* y *Poncirus*. Comúnmente se denominan con el término genérico de *Citrus* involucrando también a individuos pertenecientes a los géneros *Fortunella* (kumquats) y *Poncirus* (trifolio).

---

<sup>3</sup> El consumo de naranjas se recomienda para completar los requerimientos nutricionales por su alto valor nutritivo por el aporte de vitamina C, ácido fólico y fibra.

El género *Citrus*, el más importante de los tres, está compuesto por plantas de mediano a gran desarrollo, con hojas perennes y generalmente glabras, aunque en algunas especies son pubescentes, con bordes serrados, pecíolos más o menos alados o sin alas y glándulas provistas de aceites aromáticos. Flores solitarias o en cimas terminales o axilares, cuatro o cinco sépalos cortos de color verde y unidos entre sí, cinco pétalos de coloración blanca o matizados de púrpura, estambres libres o más o menos soldados entre sí y en número múltiple al de pétalos, con anteras alargadas; el ovario es súpero y gamocarpelar. El fruto es una hespéride con número variable de semillas. (Figura 1).



Figura 1: Ilustración de cultivo perennifolio de naranjas, mostrando flores y frutos.

Fuente: Federcitrus, 2015.

El grupo de los naranjos, (*Citrus sinensis*) corresponden las naranjas dulces comunes, azucaradas o sin acidez, sanguíneas y de ombligo. En las naranjas dulces comunes se encuentran variedades de mucha importancia comercial en todo el mundo, como: Hamlin, Salustiana, Pera, Valencia Late y Valencia Seedless. En este estudio se tendrá en cuenta este grupo porque se va a trabajar en base a la variedad de *Valencia late*, debido a su alta adaptabilidad a las diferentes condiciones ecológicas demostrando la expansión de este cultivo en prácticamente todas las regiones citrícolas. La planta es vigorosa, de tamaño grande y muy productivo. La fruta es de tamaño mediano, de forma redondeada, de cáscara lisa y color

anaranjado uniforme. El jugo es abundante, de color anaranjado, de buen sabor y es común encontrar de 2 a 4 semillas por fruta. En nuestro país es la variedad de maduración tardía que más tarde puede comercializarse, por su capacidad de conservar fruta con calidad en planta (febrero-marzo del año siguiente a la fructificación). A partir de julio se cosecha en Entre Ríos y la recolección de variedades tardías continúa en los meses de agosto, setiembre y octubre. A partir de este mes y hasta marzo sólo se destina al mercado interno.

### **3.1.3. Fisiología del crecimiento de los cítricos**

En cítricos, la fase I o periodo de crecimiento exponencial abarca desde la antesis hasta la caída fisiológica de los frutos por abscisión, que se extiende de noviembre a diciembre en el hemisferio sur. La fase I se caracteriza por un crecimiento acelerado del fruto producido por división celular en todos los tejidos en desarrollo, exceptuando el eje central. Este crecimiento del fruto se ve motorizado por el crecimiento de la cascara, principalmente por aumento en el número de células del exocarpo. Hay además un crecimiento de las paredes celulares en el mesocarpo y un incremento del tejido vascular. También aumenta el volumen del endocarpo por división celular de los septos y paredes tangenciales de los lóculos, que luego se completa con el engrosamiento de las células centrales de los septos y elongación de las células tangenciales. En la cara interna de las paredes tangenciales de los lóculos se forman los primordios de las vesículas de jugo, que crecen hacia el interior de los lóculos y terminan por ocuparlos en su totalidad. (Sozzi, 2007).

La fase II o periodo de crecimiento lineal se extiende desde la caída fisiológica de los frutos hasta poco antes del cambio de color. Esta etapa presenta una duración muy variable, dependiendo de la variedad cultivada: es corta en variedades precoces (2-3 meses) y prolongada en variedades tardías (5-6 meses). En esta fase hay una notable expansión de los tejidos por agrandamiento celular y formación del mesocarpo esponjoso. No hay prácticamente división celular, con excepción del tejido del exocarpo. El aumento del tamaño se debe



particularmente al desarrollo de los lóculos en cuyo interior las vesículas de jugo alcanzan su máxima longitud y volumen, con incremento del contenido del jugo. (Sozzi, 2007).

La fase III o periodo final del crecimiento, se caracteriza por la acotada tasa de crecimiento del fruto en el árbol, en tanto avanza la maduración organoléptica. Puede incrementarse el eje central, mientras que la pulpa puede perder jugo. La pérdida del color verde del flavedo, consecuencia de la actividad de la enzima clorofilasa, va acompañada de la síntesis de carotenoides y, por lo general, de la maduración organoléptica del fruto. La maduración organoléptica se caracteriza por el incremento de sólidos solubles, en especial azúcares, y de ciertos compuestos nitrogenados, y la disminución de ácidos orgánicos. Si bien estos procesos son modulados de forma independiente, suelen ocurrir simultáneamente. (Sozzi, 2007).

### **3.1.4. Región de estudio. Características**

#### **3.1.4.1. Ubicación de la zona de estudio**

Con la finalidad de determinar la huella hídrica verde y azul en la etapa de producción primaria de naranjas en la provincia de Entre Ríos, es importante conocer la región de estudio.

La Provincia de Entre Ríos se encuentra ubicada en el este argentino, limita hacia el norte con Corrientes y en el sur con Buenos Aires. Como está surcada hacia el oeste por el río Paraná y en el este por el río Uruguay, se la conoce como una de las provincias de la Mesopotamia argentina.

Se encuentra situada entre los 32° 2' 52" de latitud sur y 60° 16' 52" de longitud oeste y la superficie es de 78.781 km<sup>2</sup> (distribuidos territorialmente en 66.976 km<sup>2</sup> de tierra firme, 11.805 km<sup>2</sup> de islas y tierras anegadizas), es la decimoséptima provincia más extensa del país, ocupando el 2,83 % de la superficie total del mismo (Gobierno de Entre Ríos, 2015).

Según el censo del INCEC del 2010, tiene una población de 1.235.994 habitantes y una densidad de población de 15,7 hab/km<sup>2</sup>.

La citricultura entrerriana está concentrada en la franja de suelos arenosos sobre la margen del Río Uruguay, en los departamentos Concordia, Federación y norte de Colón, que corresponde a la región centro este y noreste, ocupando una superficie de 940.450 ha que representan el 12,3% de la superficie provincial. Productivamente, está integrada con el sureste correntino, en particular con el Departamento Monte Caseros (INTA, 2009-2011). (Figura 2).

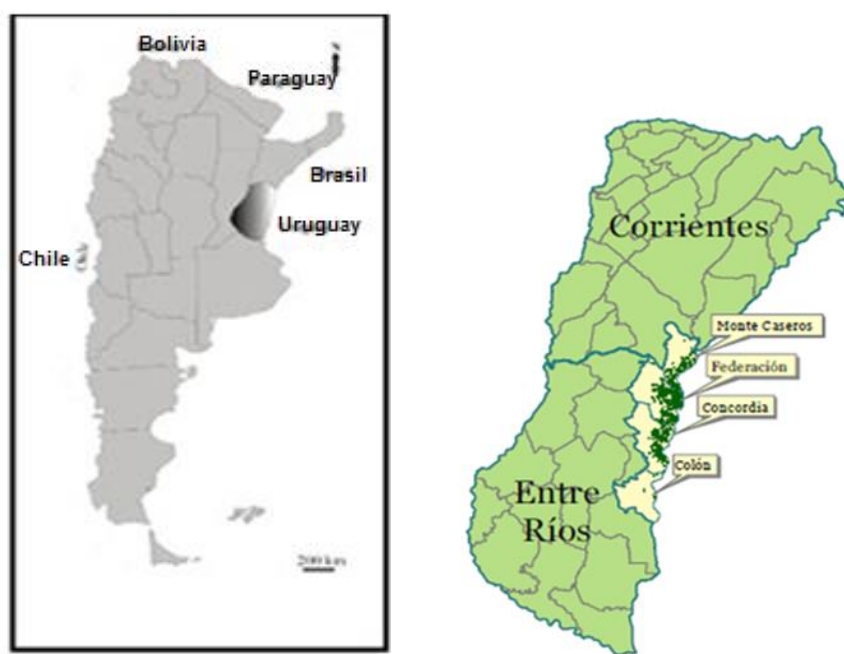


Figura 2: Ubicación geográfica de la Provincia de Entre Ríos y los departamentos de la subregión cítrica del Río Uruguay. Fuente: FE.CI.ER, 2014.

Entre Ríos produce la mayoría de las naranjas argentinas en sus campos de cítricos, con una producción de 428.052 t en 2014, seguida por Corrientes con 300.000 t, Salta 63.450 t y Jujuy con 128.400 t. El resto de las provincias cítricas contribuyen en menor medida a la producción nacional, siendo las variedades de naranjas que se producen para consumo en fresco: *Navelina*, *Salustiana*, *Washington Navel*, *Navel late*, *Valencia late* y *Valencia seedless*. (Federcitrus, 2015).

La superficie bajo riego de citrus es según datos de la Federación del Citrus de Entre Ríos de 6.504 ha. El método de riego que predomina es el goteo, encontrándose también otros sistemas de riegos como microaspersión, aspersión y riego superficial.

#### **3.1.4.2. Hidrología**

Según la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina, la provincia de Entre Ríos se caracteriza, tal cual lo sugiere su nombre, por una rica y nutrida red hidrográfica. Limita al norte con la provincia de Corrientes de la cual la separan los ríos Guayquiraró y Mocoretá.

Todo el territorio está drenado por varios cursos de agua entre los que se destacan el río Gualeguay (prácticamente divide a la provincia en dos); el río Gualeguaychú y los arroyos Feliciano y Nogoyá. Un rasgo morfológico importante, íntimamente ligado a la hidrografía, lo constituye el delta formado en la desembocadura del río Paraná.

La cuenca del río Paraná abarca una superficie de 2.600.000 km<sup>2</sup>; su longitud es de casi 4.000 km y su caudal medio de 16.000 m<sup>3</sup>/s. Representa, tanto por su cuenca como por su caudal, más del 80% de la Cuenca del Plata. El mecanismo de construcción del delta, se da a partir de los sedimentos que son acarreados por el río Paraná, la influencia del río Uruguay y las mareas que afectan al estuario del Plata. Así se forman numerosas islas que presentan gran cantidad de riachos, brazos y canales. Este fenómeno permite al igual que en otros deltas se acrecienta la superficie de extensión aguas abajo. Se pueden considerar cinco brazos principales en el Delta del Paraná: Paraná Pavón, Paraná-Ibicuy, Paraná de las Palmas, Paraná Guazú y Paraná Bravo.

La cuenca del río Uruguay se localiza en el sector noreste del país abarcando las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones. Se trata de una cuenca compartida con Uruguay y Brasil que forma parte de la Hoya Hidrográfica del Plata. Abarca 339.000 km<sup>2</sup> de superficie, teniendo su río principal, el Uruguay, un 32% aproximadamente en territorio brasilero, un 38% en el límite entre Argentina y Brasil y un 30% entre Argentina y Uruguay.

El ancho medio de la cuenca en su parte superior es de 200 km, en su parte media es de 300 km y en su parte inferior es de 360 km. Se trata de un río eminentemente irregular, consecuencia de la irregularidad de las lluvias que caen en su cuenca. Después de recibir al río Negro, a menos de 100 km del estuario del Plata, el Uruguay se ensancha y se convierte, virtualmente, en una extensión del río de la Plata.

### **3.1.4.3. Parámetros Climáticos**

Los parámetros climáticos han sido tomados por el programa CLIMWAT 2.0 for CROPWAT 8.0., para las estaciones de Concordia, Gualeguay y Gualeguaychú. Como ejemplo, se mencionan algunos valores para la Estación Concordia, que está situada donde se concentra la mayor superficie cultivada con naranjas Valencia: los valores promedios de temperaturas máximas y mínimas son de 24,8°C y 13,2°C respectivamente, humedad relativa de 71%, velocidad del viento de 126 Km/día, insolación de 6,4 hs, radiación 16,5 MJ/m<sup>2</sup> día y precipitaciones de 1.355,4 mm anuales.

La Provincia se encuentra ubicada dentro de los climas de dominio atlántico. La diferencia entre estos se da por un gradiente térmico debido a variaciones altitudinales de la radiación solar, combinadas con marcadas diferencias hídricas. Así, se pueden distinguir dos regiones climáticas: una pequeña franja al norte de la Provincia que corresponde al clima subtropical húmedo de llanura y otra que cubre el resto de su territorio y corresponde al clima templado húmedo de llanura (INTA, 2009-2011).

Las precipitaciones anuales en Entre Ríos disminuyen en forma gradual de noreste a sudoeste desde los 1.400 mm a 1.000 mm. En el invierno las mayores lluvias se registran en la parte oriental de la provincia y las menores en la occidental. Lo contrario sucede en el verano donde las mayores lluvias se dan en la parte occidental. Es en el otoño donde la distribución espacial de las lluvias en la Provincia es más uniforme. En general durante el período octubre-

abril precipitan en la Provincia el 73% del total anual; el 27% restante desde mayo a septiembre. (INTA, 2009-2011).

Es en el sector subtropical húmedo de llanura donde la zona recibe la mayor cantidad de agua en el año, varía entre 1.300 y 1.400 mm. (INTA, 2009-2011).

#### **3.1.4.4. Suelos**

El relieve entrerriano presenta un paisaje de llanura, levemente ondulada, de alturas no superiores a los 100 metros. Estas alturas, son lomadas que constituyen una prolongación del relieve de Corrientes y que al ingresar a la provincia se divide en dos brazos: el occidental o de Montiel, de dirección sudoeste y que llega hasta las cercanías del arroyo Hernandarias y el brazo oriental o Grande, que desde el sudeste llega hasta el sur del departamento Uruguay. Estas lomadas determinan la divisoria de aguas: delimitando las cuencas de los ríos Paraná, Uruguay y Gualeguay.

Los suelos citrícolas pertenecen al orden Entisoles<sup>4</sup> y se localizan sobre una franja irregular en la costa del río Uruguay de ancho variable entre 2 y 30 km. (Departamentos Federación, Concordia, Colón y Concepción del Uruguay). Corresponde al gran grupo de suelo principal Udifluentes típicos, siendo la textura superficial del suelo arenosa de baja retención de humedad y fertilidad, bien drenados, con 2% de pendiente, riesgo a erosión ligera y pertenecen al gran grupo de suelos secundarios Cuarzipsamientos oxicos.

---

<sup>4</sup> GeoINTA. Cartas de Suelos de Ente Ríos Escala 1:100.000 publicadas entre 1986-2011 dentro del convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos.

## **3.2. DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA**

### **3.2.1. Establecimiento de metas y alcances**

En este estudio sobre huella hídrica de cítricos, se quiere determinar el impacto sobre la disponibilidad de agua del cultivo de naranjas para la etapa de producción primaria en la provincia de Entre Ríos, Argentina. Se establece como objetivo contribuir a la generación de conocimiento soporte para la toma de decisiones sustentables en el uso de agua y la gestión del recurso hídrico, para ello se han considerado dos escenarios en secano y regadío, para la determinación de la huella hídrica verde y azul.

La unidad de análisis o de contabilización es 1 tonelada (t) de naranja fresca cosechada, variedad Valencia, y el alcance del sistema de la actividad citrícola, no considera el agua asociada a los fertilizantes, al combustible, a la electricidad, sólo la necesaria para que el cultivo se desarrolle. Los datos meteorológicos se obtuvieron de CLIMWAT 2.0 for CROPWAT que cubre un periodo de 1971- 2000 y para el cultivo se tomó el periodo de 1 año productivo comprendido desde el 28/07 al 27/07, correspondiente a la fecha de inicio del ciclo y cosecha.

### **3.2.2. Contabilidad de la huella hídrica**

Para determinar el agua verde y el agua azul en la producción de naranjas, y su posterior huella (verde y azul), se seguirá el procedimiento propuesto en el Manual de Evaluación de Huella Hídrica (Hoekstra y col., 2011).

La evapotranspiración de un campo puede ser medida o estimada mediante un modelo basado en fórmulas empíricas. En general, se estima indirectamente por medio de un modelo que utiliza datos climáticos, las propiedades del suelo y las características del cultivo como entrada. En esta tesis, siguiendo a Hoekstra y col. (2011) se utilizó el soporte informático CROPWAT 8.0 (FAO, 2010) para determinar la evapotranspiración del cultivo. En esta instancia, es necesario caracterizar la región de estudio desde el punto de vista climático,

incorporando datos sobre variables meteorológicas como temperaturas mínimas y máximas mensuales, precipitaciones, horas de insolación y velocidad de viento. Se utilizó CLIMWAT 2.0 for CROPWAT 8.0 (FAO, 2013)<sup>5</sup>, de tres estaciones meteorológicas ubicadas en el sitio de estudio: Estación Concordia, Estación Gualeguaychú y Estación Gualeguay. (Tabla 1 y Figura 3). En una entrevista personal, realizada el lunes 22 de febrero de 2016, en la Cátedra de Hidrología Agrícola de la FCA de la UNCuyo, el Ing. José Morábito sugirió que se considerara para este estudio, los datos de las variables meteorológicas colectados por el Servicio Meteorológico Nacional para las estaciones mencionadas. Se consiguió esa información para el mismo período, se re calculó la evapotranspiración y se comparó con los resultados que se obtuvo con datos CLIMWAT 2.0, pero no se encontró ninguna diferencia en los resultados. (Anexo II).

Tabla 1: Coordenadas geográficas y altitud de las estaciones meteorológicas: Concordia, Gualeguay y Gualeguaychú.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>ESTACIONES METEOROLÓGICAS</b>		
	<b>Concordia- Aero</b>	<b>Gualeguay</b>	<b>Gualeguaychú- Aero</b>
<b>Latitud</b>	31,30°S	33,13°S	33,00°S
<b>Longitud</b>	58,01°W	59,30°W	58,61°W
<b>Altitud</b>	38 m	13 m	21 m

Fuente: Elaboración propia.

<sup>5</sup> CLIMWAT 2.0 for CROPWAT 8.0. La recopilación de datos cubre un período de 1971- 2000.

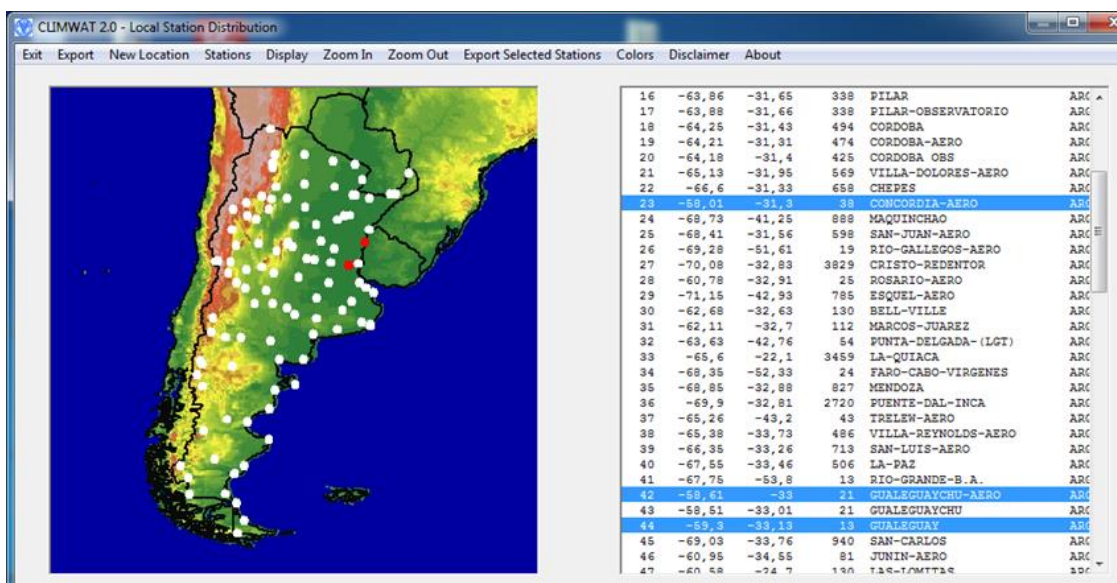


Figura 3: Distribución local de estaciones meteorológicas: Estación Concordia, Gualeguay y Gualeguaychú. Fuente: CLIMWAT 2.0.

El modelo CROPWAT es una herramienta de soporte (base windows) desarrollada por la Land and Water Development Division de la FAO, ofrece dos opciones diferentes de administración de agua al cultivo: la “opción requerimiento hídrico del cultivo” (suponiendo condiciones óptimas) y la “opción de programación de riego”. En esta tesis, se ha seleccionado, en primera instancia, la opción “requerimiento hídrico del cultivo”, que permite obtener mediante la evapotranspiración potencial y la cantidad de agua total suministrada.

Por otra parte, CROPWAT 8.0, necesita también inputs de características del cultivo bajo estudio y del suelo donde éste se desarrolla, tomado de FAO, 2006. (Tabla 2).



Tabla 2: Valores del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) y duraciones de las etapas del crecimiento del cultivo.

CARACTERISTICAS DEL CULTIVO	CITRICOS
<b>Kc inicial</b>	0,70
<b>Duración inicial (días)</b>	60
<b>Kc desarrollo</b>	0,65
<b>Duración desarrollo (días)</b>	90
<b>Kc media</b>	0,65
<b>Duración mediados (días)</b>	120
<b>Kc final</b>	0,70
<b>Duración final (días)</b>	95
<b>Cubierta vegetativa (%)</b>	70

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del requerimiento hídrico, se divide el ciclo del cultivo en cuatro etapas: inicial, de desarrollo, media y final. En la etapa inicial se utiliza  $K_{c_{ini}}$  de 0,70, durante un período de 60 días considerado a partir de la aparición de las primeras hojas, que corresponden al mes de julio y que es donde el cultivo alcanza una cobertura de suelo del 10%.

La etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta que alcanza la cobertura efectiva completa, con una duración de 90 días, y un  $K_{c_{des}}$  de 0,65.

La etapa media comprende el periodo entre la cobertura completa y el comienzo de la madurez, indicado por el comienzo de la vejez, amarillamiento o senescencia de las hojas, caída de las mismas, o la aparición del color marrón en el fruto. Esta representa la etapa más larga de los cultivos perennes con una duración de 120 días. Se utiliza el  $K_{c_{med}}$ , con un valor de 0,65.

La etapa final o tardía de crecimiento, con un  $K_{c_{fin}}$  de 0,70, comprende el periodo entre el comienzo de la madurez y la cosecha o la completa senescencia con una duración de 95

días. Al ser un cultivo perenne se ha tomado la fecha de término de la etapa final como la aparición de las primeras hojas, inicio del próximo ciclo, que corresponde al mes de julio.

El requerimiento hídrico del cultivo es el agua necesaria para la evapotranspiración bajo condiciones ideales de crecimiento, medido desde el inicio del ciclo hasta la cosecha, donde el contenido de agua en el suelo, suministrado por las precipitaciones o el riego es el adecuado por lo que no limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Se ha utilizado la fórmula Penman-Monteith para estimar la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ), que afectada por  $K_c$ , permite calcular la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) bajo condiciones estándar. Este valor representa el límite máximo de evapotranspiración del cultivo cuando no existen obstáculos al crecimiento del mismo debido a limitaciones de agua, densidad del cultivo, enfermedades, malezas, insectos o excesiva salinidad. (FAO, 2006).

El requerimiento de agua de los citrus es de 1.000 a 1.200 mm por año. Para la Estación Concordia se calculó un valor de  $ET_c$  de 760,4 mm/año. (Anexo I)<sup>6</sup>. En esta región es cubierto por las precipitaciones sin mayores problemas, dado que el promedio anual de los últimos diez años es de 1.263 mm. Sin embargo, la distribución de las precipitaciones es muy variable. Además, es posible observar períodos de déficit hídrico en los meses de diciembre, enero o febrero, no por ausencia de lluvias sino debido a la alta evaporación del suelo y a la elevada transpiración de las plantas. (Anderson y col, 1996).

Para las otras estaciones se realizó el mismo procedimiento, obteniendo para la Estación Gualeguay una  $ET_c$  de 860,2 mm/año y para la Estación Gualeguaychú una  $ET_c$  de 844,2 mm/año, siendo estos requerimientos mayores con respecto a la estación Concordia, motivado por menores precipitaciones, requiriendo agua de riego.

La superficie bajo riego de citrus es de 6.054 ha, 2.502 ha con goteo, 556 ha con aspersión, 1.169 con microaspersión, y 1.591 con otros métodos, en los departamentos de

---

<sup>6</sup> Figura A1.

Colón, Concordia y Federación, presentándose rendimientos promedios de 40 t/ha con la incorporación de riego (FE.CI.ER, 2014).

Para poder discriminar entre agua verde y azul, se utilizó la opción “programación de riego”, en el programa CROPWAT porque permite calcular las necesidades de riego teniendo en cuenta la precipitación efectiva del sitio considerado.

Para evitar cualquier estrés del cultivo se utilizó el criterio de programación, regando en el momento de 100% de agotamiento crítico, reponiendo el 100% de la capacidad de campo, asumiendo riego óptimo, con una eficiencia que se hizo variar entre el 70% y 85%, para una textura de suelo arenoso que corresponde al orden Entisoles. (Tabla 3).

Tabla 3: Criterio y Características de programación para el cultivo de naranjas.

<b>CRITERIO</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<b>Momento de riego</b>	Regar a 100% de agotamiento crítico
<b>Aplicación de riego</b>	100% capacidad de campo
<b>Eficiencia de riego</b>	70 - 85% (correspondiente a riego por goteo)

Fuente: Elaboración propia.

Para la Estación Concordia el valor de precipitación efectiva corresponde a la evapotranspiración verde del cultivo ( $ET_{green}$ ) que es de 759,4 mm/año, el uso real de agua del cultivo corresponde a la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) de 759,4 mm/año y el requerimiento real de riego corresponde a la evapotranspiración azul del cultivo ( $ET_{blue}$ ) de 0,0 mm/año. Este último valor indica que no se estaría efectuando riego en la plantación de

naranjas porque las precipitaciones satisfacen la evapotranspiración del cultivo, debido a que en esta región las precipitaciones son del orden de 1.355,4 mm anuales. (Anexo I)<sup>7</sup>.

Para la estación Gualeguay, la información obtenida para la evapotranspiración verde del cultivo ( $ET_{green}$ ) es de 785,1 mm/año, evapotranspiración azul del cultivo ( $ET_{blue}$ ) de 73,9 mm/año y  $ET_c$  de 859,0 mm/año. (Anexo I)<sup>8</sup>. En la Estación Gualeguaychú, los valores son  $ET_{green}$  de 771,6 mm/año,  $ET_{blue}$  de 71,5 mm/año y  $ET_c$  de 843,1 mm/año. (Anexo I)<sup>9</sup>. Teniendo en cuenta estos valores, la Estación Gualeguay presenta mayor valor para la evapotranspiración verde del cultivo esto se debe a una mayor evapotranspiración del cultivo que no se satisface con las precipitaciones por lo que debe suplementarse con riego, al ser un cultivo con un ciclo relativamente largo y con las etapas de mayor crecimiento y desarrollo en los meses de alta evapotranspiración. Lo mismo sucede con la Estación Gualeguaychú.

Para determinar el agua verde y el agua azul en la producción de naranjas, y su posterior huella (verde y azul), se siguió el procedimiento propuesto en el Manual de Evaluación de Huella Hídrica (Hoekstra y col, 2011).

El cálculo de la huella hídrica total del proceso de crecimiento de los cultivos ( $WF_{proc}$ ) es la suma de los componentes verde, azul y gris:

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,gray} \quad (\text{Volumen/masa})$$

Los componentes de la ecuación son:

$WF_{proc,green}$ : Huella hídrica verde de crecimiento de un cultivo. ( $m^3/t$ ).

$WF_{proc,blue}$ : Huella hídrica azul de crecimiento de un cultivo. ( $m^3/t$ ).

$WF_{proc,gray}$ : Huella hídrica gris de un cultivo. ( $m^3/t$ ).

---

<sup>7</sup> Figura A2.

<sup>8</sup> Figura A3.

<sup>9</sup> Figura A4.

Cada una de las huellas hídricas azul, verde y gris se expresa por unidad de producto, es decir, en volumen de agua por unidad de masa. Usualmente la huella hídrica de proceso se expresa en agricultura en m<sup>3</sup>/t, lo que equivale a L/kg (litros de agua utilizados en el proceso por kg producido).

El componente de la huella hídrica verde de crecimiento de un cultivo ( $WF_{proc, green}$ , m<sup>3</sup>/t) se calculan como el componente verde en el uso de agua de los cultivos ( $CWU_{green}$ , m<sup>3</sup>/ha), dividido por el rendimiento de los cultivos ( $Y$ , t/ha). El componente azul ( $WF_{proc, blue}$ , m<sup>3</sup>/t) se calcula de manera similar:

$$WF_{proc, green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (\text{Volumen/masa})$$

$$WF_{proc, blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (\text{Volumen/masa})$$

En el caso de cultivos perennes, se debe considerar el rendimiento promedio anual durante la plena vida útil de la cosecha. De esta manera, uno explica el hecho de que el rendimiento en el año inicial de la siembra es baja o nula, que los rendimientos son más altos después de algunos años y que los rendimientos a menudo van hacia abajo al final de la vida útil de un cultivo perenne.

Los componentes del uso del agua verde y azul del cultivo ( $CWU$ , m<sup>3</sup>/ha), son calculados por la acumulación de la evapotranspiración diaria ( $ET$ , mm/días) completando el periodo de crecimiento.

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green} \quad (\text{Volumen/área})$$

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue} \quad (\text{Volumen/área})$$

El factor 10 está destinado a convertir profundidades de agua en milímetros a volúmenes de agua por la superficie terrestre en m<sup>3</sup>/ha. La suma se realiza sobre el período comprendido entre el inicio del ciclo (día 1) hasta el día de la cosecha (lgp significa longitud del período de crecimiento en días).

La huella hídrica azul calculada aquí se refiere a la evapotranspiración del agua de riego del campo de cultivo solamente. Excluye la evaporación del agua de los embalses de agua superficial artificiales construidos para almacenar agua de riego y la evaporación del agua de los canales de transporte que traen el agua de riego desde el lugar de la abstracción al campo.

El tercer componente de la huella hídrica, la huella hídrica gris de un cultivo ( $WF_{proc, grey}$ , m<sup>3</sup>/t) se calcula como la tasa de aplicación de productos químicos en el campo por hectárea (AR, kg/ha) por la fracción de lixiviado ( $\alpha$ ) dividido por la máxima concentración aceptable ( $c_{max}$ , kg/m<sup>3</sup>) menos la concentración natural para el contaminante considerado ( $c_{nat}$ , kg/m<sup>3</sup>) y luego dividido por el rendimiento del cultivo (Y, t/ha).

$$WF_{proc, grey} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{max} - c_{nat})}{Y} \quad (\text{Volumen/masa})$$

El cálculo de la huella hídrica gris, no se encuentra entre los objetivos de este trabajo. Sin embargo, se espera poder contribuir al menos, en la determinación de algunos parámetros que permiten su determinación, como los agroquímicos utilizados y sus respectivas dosis de aplicación, quedando disponible para futuros trabajos de investigación.

Se conoce el rendimiento del cultivo de naranjas, de informes de FE.CI.ER, 2014 y el calculado a partir de datos de la producción y superficie plantada de naranjas de reportes de la Federación Argentina de Citrus (Federcitrus, 2014), siendo el valor del rendimiento global estimado para las naranjas de 21 t/ha y de 21,343 t/ha respectivamente para el año 2014. También se ha estimado un valor promedio del rendimiento durante 14 años, desde el año 2001 al 2014, extraídos a partir de datos de la producción y superficie plantada de naranjas de reportes de Federcitrus cuyo valor obtenido es de 20,88 t/ha. Se cuenta con un dato relevante del rendimiento promedio de 6 años de la variedades Valencia del departamento de Monte Caseros perteneciente a la provincia de Corrientes, de 18,30 t/ha (Lombardo, 2009). Siendo este valor de rendimiento que se obtiene sin la incorporación de riego, realizando agricultura en seco, y que se ha utilizado para realizar el cálculo de la huella hídrica verde correspondiente.

### **3.2.3. Evaluación de Sustentabilidad de la Huella Hídrica**

El análisis de sustentabilidad desde el punto de vista ambiental es efectuado para la Huella Hídrica Verde y Azul. La huella hídrica es un indicador geográfico explícito, mostrando no sólo los volúmenes de agua del consumo y la contaminación, sino también los lugares, esto significa que la huella hídrica se produce en un lugar específico durante un tiempo específico. Para ser sustentable con el medio ambiente, el uso del agua no debe exceder los límites máximos sustentables de un recurso de agua dulce. Así mismo los impactos ambientales se han contabilizado en la evaluación de sustentabilidad de la huella hídrica, identificando impactos primarios en términos de flujos de agua modificados en comparación con las condiciones naturales, y sin trastornos humanos.

Para evaluar la sustentabilidad ambiental de la huella hídrica verde ( $WS_{green}$ ) en una cuenca en un determinado período, se define como el cociente entre el total de las huellas hídricas verde a la disponibilidad de agua verde ( $WA_{green}$ )<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Su sigla en inglés Water Availability (WA).

La disponibilidad de agua verde, se define como la evapotranspiración total de agua de lluvia de la tierra ( $ET_{green}$ ), menos la evapotranspiración de la tierra reservada para la vegetación natural ( $ET_{env}$ ) y menos la evapotranspiración de la tierra improductiva ( $ET_{unprod}$ ).

$$WS_{green}[x,t] = \frac{\sum WF_{green}[x,t]}{WA_{green}[x,t]} \quad [-]$$

$$WA_{green}[x,t] = ET_{green}[x,t] - ET_{env}[x,t] - ET_{unprod}[x,t]$$

Definido de esta manera, el indicador de sustentabilidad de agua verde, indica la fracción de apropiación de los recursos hídricos verdes disponibles. Si la división es menor a 1, entonces se puede concluir que el impacto ambiental en cuanto al consumo de agua no existe o no es significativo. Cuanto mayor sea a 1, la situación es no sustentable.

Se ha realizado la relación de la ecuación anterior para cada una de las estaciones meteorológicas con la finalidad de evaluar la sustentabilidad de la huella hídrica verde. Para ello se ha utilizado los datos del total de la precipitación efectiva del lugar extraídos de CROPWAT 8.0, que se corresponde a la disponibilidad de agua verde. No se han considerado los valores de evapotranspiración de la tierra reservada para la vegetación natural y la evapotranspiración de la tierra improductiva por no encontrarse bibliografía al respecto.

Para evaluar la sustentabilidad ambiental de la huella hídrica azul ( $WS_{blue}$ ) en una cuenca en un determinado período, se debe comparar el caudal consumido (la huella hídrica azul) con el caudal disponible ( $WA_{blue}$ ). Este último corresponde a la escorrentía natural ( $R_{nat}$ )<sup>11</sup> menos el requerimiento de flujo ambiental (EFR)<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Su sigla en inglés Runoff (R).

<sup>12</sup> Su sigla en inglés Environmental Flow Requirement (EFR).



$$WS_{blue}[x,t] = \frac{\sum WF_{blue}[x,t]}{WA_{blue}[x,t]} \quad [-]$$

$$WA_{blue}[x,t] = R_{nat}[x,t] - EFR[x,t]$$

El indicador de sustentabilidad de agua azul de valor 1 significa que el caudal de agua azul disponible ha sido totalmente consumido. El indicador de agua azul más allá de 1 no es sustentable.

A fin de establecer el requerimiento de flujo ambiental, definido este como la cantidad, oportunidad y calidad de los flujos de agua necesaria para mantener los ecosistemas de agua dulce, de estuarios, el sustento humano y el bienestar que dependen de estos ecosistemas, se adopta (siguiendo el Manual de Huella Hídrica) la regla 20 por ciento propuesto por Richter y col, 2011 y Hoekstra y col, 2011. Bajo esta regla, el 80 por ciento de la escorrentía natural se asigna como requisito de caudal ambiental y el restante 20 por ciento se pueden considerar como agua azul disponible para uso humano sin afectar a la integridad de los ecosistemas que dependen del agua. La regla del 20 por ciento se considera como una guía general de precaución.

#### 4. CAPÍTULO 3 – RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA

Los resultados han sido obtenidos para el periodo de 1 año comprendido entre el inicio del ciclo y la cosecha para el cultivo de naranjas, variedad Valencia. Para el escenario, sin aplicación de riego, con un rendimiento promedio de 18,30 t/ha, el requerimiento hídrico verde promedio es de 7.720,33 m<sup>3</sup>/ha y la huella hídrica verde promedio es de 422,00 m<sup>3</sup>/t (Tabla 4).

Tabla 4: Cálculo de la Huella Hídrica Verde, para el cultivo de naranjas de variedad Valencia sin riego.

	ETverde (mm/año)	CWU verde (m <sup>3</sup> /ha)	Y (t/ha)	WFverde (m <sup>3</sup> /t)
ESTACIÓN CONCORDIA	759,40	7.594,00	18,30	415,00
ESTACIÓN GUALEGUAY	785,10	7.851,00	18,30	429,00
ESTACIÓN GUALEGUAYCHÚ	771,60	7.716,00	18,30	422,00
PROMEDIOS		<b>7.720,33</b>		<b>422,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con aplicación de riego, el requerimiento hídrico verde y azul para el cultivo de naranjas es de 7.720,33 m<sup>3</sup>/ha y de 727,00 m<sup>3</sup>/ha respectivamente. Estos datos se encuentran dentro de los valores establecidos en la demanda anual del cultivo que corresponde entre los 6.000 a 7.000 m<sup>3</sup>/ha. La huella hídrica verde y azul para las variedades Valencia, utilizando el rendimiento promedio de 40 t/ha, es de 193,00 m<sup>3</sup>/t y de 18,00 m<sup>3</sup>/t, respectivamente. (Tabla 5).

Tabla 5: Cálculo de la Huella Hídrica Verde y Azul, para el cultivo de naranjas de variedad Valencia con riego.

	<b>ETverde (mm/año)</b>	<b>ETazul (mm/año)</b>	<b>CWUverde (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>CWUazul (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Y (t/ha)</b>	<b>WFverde (m<sup>3</sup>/t)</b>	<b>WFazul (m<sup>3</sup>/t)</b>
<b>ESTACIÓN CONCORDIA</b>	759,40	-	7.594,00	-	40,00	190,00	-
<b>ESTACIÓN GUALEGUAY</b>	785,10	73,90	7.851,00	739,00	40,00	196,00	18,00
<b>ESTACION GUALEGUAYCHU</b>	771,60	71,50	7.716,00	715,00	40,00	193,00	18,00
<b>PROMEDIOS</b>			<b>7.720,33</b>	<b>727,00</b>		<b>193,00</b>	<b>18,00</b>
						<b>WFtotal= 211,00 m<sup>3</sup>/t</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos para la huella hídrica total en secano son de 422,00 m<sup>3</sup>/t y en regadío es de 211,00 m<sup>3</sup>/t, lo que permite inferir que la huella hídrica se ha reducido a la mitad con aplicación de riego, por un aumento en los rendimientos del cultivo de naranjas.

Se puede observar en el siguiente gráfico la comparación de los valores promedios obtenidos de huella hídrica verde y azul para la producción de naranjas, en secano y regadío de las estaciones meteorológicas. Observándose que la huella hídrica total en la agricultura en regadío (suma de la huella verde y azul) se ha reducido a la mitad con respecto a la agricultura en secano por un incremento en los rendimientos, como consecuencia de la incorporación de agua al cultivo. En cuanto a la huella hídrica azul en secano es cero porque las precipitaciones satisfacen la evapotranspiración del cultivo y en regadío es baja con valores de 18,00 m<sup>3</sup>/t . (Figura 4).

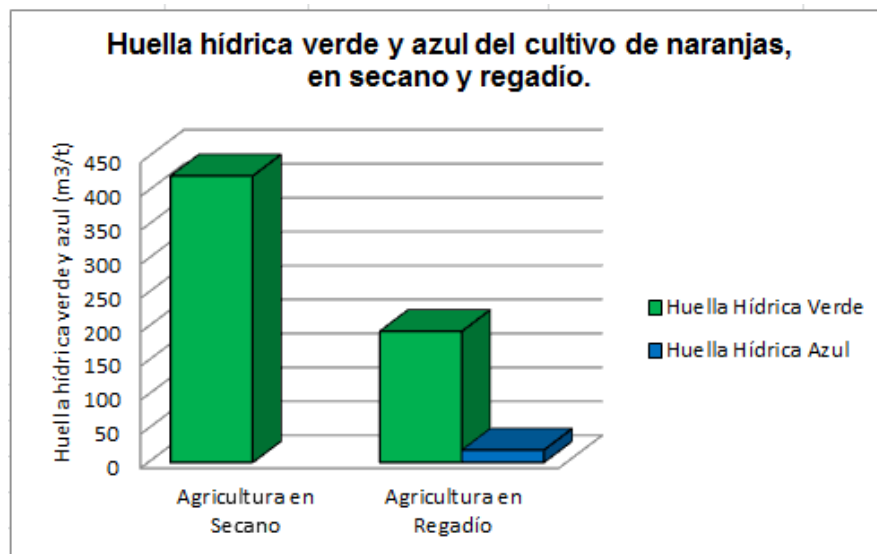


Figura 4: Comparación de las huellas hídricas promedios verde y azul del cultivo de naranjas, en secano y regadío. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1. Evaluación de la Sustentabilidad de la Huella Hídrica

Desde el punto de vista ambiental, los valores del indicador de sustentabilidad de huella hídrica verde, obtenidos para las estaciones meteorológicas de Concordia, Gualeguay y Gualeguaychú son 0,69; 0,97 y 0,96 respectivamente. (Anexo II)<sup>15</sup>. Esto significa que no superan el valor de 1, demostrando que la huella hídrica verde para la producción de naranjas en la región de Entre Ríos es sustentable.

El valor obtenido para la estación Concordia, significa que el 0,69 de los recursos hídricos verde disponible están siendo apropiados para la producción de naranjas (ídem para las otras estaciones).

Los datos sobre disponibilidad de agua azul para efectuar la sustentabilidad de la huella hídrica azul, han sido tomados del reporte 53 de Hoekstra y Mekonnen, 2011, en este caso en particular se ha realizado a nivel de cuenca, utilizando para el cálculo los datos de escorrentía

<sup>15</sup> Cuadro 2.

natural y requerimiento de flujo ambiental para el Río Uruguay. Siendo el valor del indicador de sustentabilidad de huella hídrica azul obtenido de 0,28. (Anexo II)<sup>16</sup>.

El valor del indicador de sustentabilidad de la huella hídrica azul, con incorporación de riego, es de 0,28; esto significa que el indicador de agua azul es bajo ( $< 1$ ), la huella hídrica azul es inferior al 20% de la escorrentía natural y no supera la disponibilidad de agua azul, la escorrentía de los ríos no es modificada o es ligeramente modificada y el requerimiento de flujo ambiental no es violado, y por lo tanto se considera sustentable para la producción de naranjas en la región de Entre Ríos.

Este último punto es relevante porque pone de manifiesto la influencia que tiene la producción de naranjas sobre los aspectos de la sustentabilidad. Desde el punto de vista ambiental, la aplicación de riego, eleva la productividad del cultivo de naranjas, aumentando el uso del agua azul, pero desde el punto de vista de optimizar el recurso de una manera más inteligente, con el fin de dar un mayor rendimiento por metro cúbico de agua evaporada ( $m^3/t$ ) reduciendo la huella hídrica total. Desde el aspecto social, una mejora en el manejo del agua aplicada al cultivo como respuesta de conocer la huella hídrica, podría incrementar las fuentes de trabajo como consecuencia de un mayor requerimiento de mano de obra para cosecha, aumentando los ingresos de los trabajadores y mejorando su calidad de vida.

---

<sup>16</sup> Cuadro 3.

## 5. CAPÍTULO 4 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de esta tesis, se ha podido corroborar la hipótesis que fue el hilo conductor del trabajo. Se puede entonces vislumbrar que conocer los valores de la huella hídrica verde y azul asociada a la producción de naranjas en la provincia de Entre Ríos, Argentina, puede ser una herramienta de suma ayuda en la toma de decisiones respecto de la asignación sustentable del recurso hídrico. Pero también en la recomendación de posibles estrategias de manejo, de comunicación y de educación que colaboren a asegurar una producción sustentable desde el punto de vista del recurso agua.

Si bien la actividad citrícola en Entre Ríos se desarrolla habitualmente en secano porque la demanda de evapotranspiración del cultivo de naranjas se satisface con las precipitaciones del lugar, la evaluación de la contabilidad de la huella hídrica verde y azul considerando secano y regadío, permitió observar que la incorporación de riego al cultivo reduce la huella hídrica total por un incremento en los rendimientos del cultivo. Esto conlleva a una disminución del agua virtual asociada a la producción de las naranjas. Sin embargo, la aplicación de riego no debe comprometer el abastecimiento de agua para otros sectores, como el doméstico e industrial. Por ello, es necesario emplear sistemas de riego que optimicen el uso del recurso agua a campo. En Entre Ríos, una práctica que se está implementando con mayor frecuencia en el cultivo de cítricos, es el riego localizado por goteo (FE.CI.ER, 2014). Este sistema reduce la superficie de evaporación del suelo sustancialmente, mejora la calidad de los productos por un mejor control del agua, elimina la saturación hídrica y la salinización, contrario al riego gravitacional por surcos o a manto, donde la eficiencia de aplicación es generalmente baja. Sin embargo, los métodos de riego localizado que propician el uso eficiente del agua, requieren energía eléctrica para su funcionamiento, por tanto se producen emisiones de gases de efecto invernadero asociadas que sería conveniente considerar a la hora de tomar una decisión integral, entre otras cuestiones.

Existen otras prácticas que permiten alcanzar una máxima productividad del agua para el cultivo de naranjas como las técnicas de riego deficitario y riego suplementario (Hoekstra y col., 2011). En el caso del riego deficitario, se aplica agua durante las etapas del crecimiento del cultivo sensible a sequía. Fuera de estos períodos, el riego es limitado o incluso innecesario si la lluvia proporciona un suministro mínimo de agua. La otra alternativa, el riego suplementario, pequeñas cantidades de agua se añaden a cultivos básicamente de secano en momentos en que las precipitaciones no proporcionan suficiente humedad para el crecimiento normal de la planta, con el fin de mejorar y estabilizar los rendimientos. En este trabajo no se ha contabilizado la huella hídrica azul y verde para estos últimos casos, sin embargo, podría ser objeto de futuros estudios.

Por otra parte, el resultado de esta contabilización también cobra relevancia cuando se considera a las naranjas materia prima de productos industrializados como el jugo de naranjas envasado, aceites esenciales o confituras de naranja. Contar con información de base local o regional del agua involucrada en la producción de una materia prima, permite comenzar a construir los inventarios nacionales, tan necesarios, que sean inputs para calcular la huella hídrica de un producto final a lo largo de toda su cadena de suministro. Esto es fundamental cuando las industrias quieren llevar adelante planes de sustentabilidad internos, cuando se quiere controlar y manejar el uso de recursos naturales en la industria, cuando se quiere competir en mercados internacionales que imponen condiciones ambientales para el ingreso de productos o bien, cuando se quiere comunicar a los consumidores, que están cada vez más informados y prefieren elegir productos que hacen un cuidado del ambiente, un uso sustentable de recursos y tienen planes de responsabilidad empresarial. Algunas de estas cuestiones pueden apoyarse con certificados (etiquetado ambiental, por ejemplo) que avalen los volúmenes determinados y los compromisos de reducción de uso y consumo de agua si fuera necesario.

En síntesis, conocer la huella hídrica verde y azul del cultivo de naranjas regional permite contribuir a establecer políticas ambientales con respecto del uso del agua en actividades citrícolas, y al ser un producto de exportación, tener un mayor control del recurso hídrico que se exporta de manera virtual. Es posible también identificar oportunidades de mejora del desempeño ambiental del producto, en la comunicación al consumidor a través de etiquetados, en la toma de decisiones estratégicas. Pero el gran desafío es poder concientizar a los productores y consumidores sobre la importancia de ser responsables con el uso y consumo del recurso hídrico, aún en regiones de nuestro país donde el agua no es un recurso escaso como lo es en las tierras secas que ocupan una gran porción del territorio nacional.

Por último, se desprenden de este trabajo de tesis, potenciales estudios futuros que pueden ser tema de otros estudios de finalización de carrera o proyectos de estudiantes o presentaciones en reuniones científicas de la especialidad. Entre ellas se encuentra la necesidad de extender la evaluación de huella hídrica a otras variedades producidas en el litoral y centro del país, además de Valencia considerada en esta tesis, y observar cual es la que mejor opción en la región desde el punto de vista del uso del agua y la que mayores rendimientos presente con la aplicación eficiente de riego. En segundo lugar, se resalta que sería conveniente complementar este trabajo con la contabilización de la componente del uso del agua asociada a la polución, conocida como huella hídrica gris, además de la huella hídrica verde y azul. En esta tesis, solo se presenta información sobre las dosis de aplicación de los agroquímicos utilizados para el cultivo de naranjas, pero debería hacerse un análisis profundo sobre la fracción de lixiviado, la máxima concentración aceptable y la concentración natural para el contaminante considerado. La huella hídrica gris en las operaciones del agricultor podría reducirse probablemente mediante la adopción de la agricultura orgánica, que excluye o limita estrictamente el uso de fertilizantes sintéticos, pesticidas y otros productos de origen industrial.



## 6. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- AGUSTI M., 2003. Fruticultura. Editorial Mundi- Prensa. Volumen II. Madrid, España.
- ANDERSON C.; BANFI G.; BEÑATENA H.; CASAFUSC.; COSTA N.; DANOS E.; FABIANI A.; GARRAN S.; LAROCCA L.; MARCO G.; MESSINA M.; MIKA R.; MOUSQUES J.; PLATA M.; RAGONE M.; RIVAS R.; VACCARO N. y VAZQUEZ D. 1996. a. Los Cítricos. Manual para productores de naranja y mandarina de la Región del Río Uruguay. Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto de Diversificación Productiva. Estación Experimental Agropecuaria Concordia. Argentina. [en línea]. [<http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-productores-de-naranja-y-mandarina-de-la-region-del-rio-uruguay/>]. [Consulta: 28 de julio 2015].
- ANDERSON y COL, 1996. b. Plagas y su control. Manual para productores de naranja y mandarina de la Región del Río Uruguay. Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto de Diversificación Productiva. Estación Experimental Agropecuaria Concordia. Argentina. [en línea]. [<http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-productores-de-naranja-y-mandarina-de-la-region-del-rio-uruguay/>]. [Consulta: 20 de agosto 2015].
- ANDERSON y COL, 1996. c. Variedades Cultivadas en el Área del Río Uruguay. Manual para productores de naranja y mandarina de la Región del Río Uruguay. Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Proyecto de Diversificación Productiva. Estación Experimental Agropecuaria Concordia. Argentina. [en línea]. [<http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-productores-de-naranja-y-mandarina-de-la-region-del-rio-uruguay/>]. [Consulta: 28 de julio 2015].
- ARENA P.; CIVIT B. y PIASTRELLINI R., 2011. Water footprint of soybean production in Argentina LCM 2011, Berlín, Alemania.

- BANCO MUNDIAL, 2006. Agricultura y Desarrollo Rural en Argentina. Reporte N° 32763-AR. Argentina, Chile, Paraguay, Uruguay, Región de América Latina y El Caribe, 1818 H Street, N.W., Washington, D.C. 20433, U.S.A.
- BERTUZZI S., 2007. Nutrición mineral y fertilización de frutales cítricos. En SOZZI, G. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Editorial. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina. p. 375-380-381-382-383-384.
- CASAFE, 2007. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. Guía de Productos Fitosanitarios. Tomo I. Buenos Aires, Argentina.
- CIVIT B.; ARENA A.P.; PIASTRELLINI R.; CURADELLI S. y SILVA COLOMER J. 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. ISSN 0329-5184.
- CIVIT B.; ARENA A.P.; CURADELLI S. y PIASTRELLINI R. 2012. Indicadores de sostenibilidad. Huella de carbono y huella hídrica de un viñedo considerando distintos sistemas de riego en Mendoza, Argentina. Revista ENOVITICULTURA, Ed Editorial Técnica Quatrebcn, S.L.L, N° 14 enero/febrero, ISSN 2013-6099.
- COMPO EXPERT, 2016. [en línea]. [<http://www.compo-expert.com/cl/por-cultivo/citricos.html>]. [Consulta: 22 de febrero 2016].
- FAO, 2003. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El cambio climático y los recursos hídricos, por sistemas y sectores. [en línea]. [[https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/chapter\\_4\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/chapter_4_sp.pdf)]. [Consulta: 16 de abril 2015].
- FAO, 2004. Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina. Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de las Plantas Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Roma. [en línea]. [[ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuseargent\\_s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuseargent_s.pdf)]. [Consulta: 5 de octubre 2015].

- FAO, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Reporte de Riego y Drenaje N° 56. Roma, Italia.
- FAO, 2010. “CROPWAT 8.0 model”, FAO, Rome, [en línea].  
[[http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)]. [Consulta: 30 de mayo 2015].
- FAO, 2013. “CLIMWAT 2.0 database”, FAO, Rome, [en línea].  
[[http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)]. [Consulta: 30 de mayo 2015].
- FAO, 2015. Estudio del Potencial de Ampliación del Riego en Argentina. Desarrollo Institucional para la Inversión. [en línea]. [<http://www.fao.org/americas/eventos/vii-taller-irrigacion-argentina/es/>]. [Consulta: 9 de diciembre 2015].
- FAO, 2015. Áreas de Riego en la Provincia de Entre Ríos. [en línea].  
[[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/rlc/utf017arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexos/PROVINCIA\\_DE\\_ENTRE\\_RIOS.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexos/PROVINCIA_DE_ENTRE_RIOS.pdf)]. [Consulta: 5 de diciembre 2015].
- FE.CI.ER, 2014. Federación del Citrus de Entre Ríos. Informe de la Provincia de Entre Ríos 2014. [en línea].  
[[file:///C:/Users/Sol/Downloads/Informe\\_Citricola\\_Entre\\_Rios2014%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Sol/Downloads/Informe_Citricola_Entre_Rios2014%20(3).pdf)]. [Consulta: 20 de agosto 2015].
- FEDERCITRUS, 2014. Federación Argentina de Citrus. La actividad citrícola Argentina. [en línea].  
[<http://www.federcitrus.org/noticias/upload/informes/Act%20Citricola%2014.pdf>]. [Consulta: 11 de abril 2015].
- FEDERCITRUS, 2015. La actividad citrícola Argentina. [en línea].  
[[http://www.federcitrus.org/noticias/upload/informes/La\\_Actividad\\_Citricola\\_2015.pdf](http://www.federcitrus.org/noticias/upload/informes/La_Actividad_Citricola_2015.pdf)]. [Consulta: 11 de abril 2015].

- GeolINTA, 1986-2011. Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos. [en línea].  
[<http://geointa.inta.gov.ar/web/index.php/cartas-de-suelos-de-entre-rios/>]. [Consulta: 22 de agosto 2015].
- GOBIERNO DE ENTRE RÍOS, 2015 [en línea].  
[<https://www.entrerios.gov.ar/portal/index.php?codigo=32&codsubmenu=39&menu=menu&modulo=>]. [Consulta: 10 de diciembre 2015].
- HOEKSTRA A.; and 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 N° 11, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, [en línea].  
[<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>]. [Consulta: 5 de junio 2015].
- HOEKSTRA A.; CHAPAGAIN A.; MAITE M. ALDAYA and MESFIN M. MEKONNEN, 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard.
- MORABITO J., 2012. La Huella Hídrica una aproximación a su conocimiento en vid. Comparación con la eficiencia de uso del agua según distintos métodos de riego en Mendoza. SRIIRU. Foro de Economía Verde y Agua. Mendoza, Argentina. [en línea].  
[<http://www.uncuyo.edu.ar/relacionesinternacionales/upload/02-fce-uncuyo2012-morabito.pdf>]. [Consulta: 15 de diciembre 2015].
- MORABITO J., 2015. Huellas hídricas verdes y azul del cultivo de maíz en provincias del centro y noreste argentino. Primer Foro Latinoamericano de Responsabilidad Hídrica. Desarrollo Hídrico Inteligente y Sustentable. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. [en línea]. [<http://www.responsabilidadhidrica.org/newsite/wp-content/uploads/2015/07/Huella-H%C3%ADdrica-an%C3%A1lisis-de-casos-Videos-de-Mendoza-y-Huella-h%C3%ADdrica-verdes-y-azul-del-cultivo-de-ma%C3%ADz-en-provincias-del-centro-y-noreste-argentino.pdf>]. [Consulta: 15 de diciembre 2015].

- HOEKSTRA A.; MEKONNEN M., 2011. Global Water Scarcity: The Monthly Blue Water Footprint Compared to Blue Water Availability for the World's Major River Basins. Value of Water Research Report Series N° 53. UNESCO-IHE, Delft, Netherlands. [en línea].  
[<http://waterfootprint.org/media/downloads/Report53-GlobalBlueWaterScarcity.pdf>].  
[Consulta: 5 de noviembre 2015].
- INDEC, 2010. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. [en línea].  
[[http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2-P\\_Entre\\_rios.pdf](http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2-P_Entre_rios.pdf)].  
[Consulta: 9 de diciembre 2015].
- INTA. Programa Agroeconomía de productos regionales. [en línea].  
[<http://www.inta.gob.ar>]. [Consulta: 29 de abril 2015].
- INTA, 2009-2011. Centro Regional Entre Ríos. Plan Regional de Tecnología. [en línea].  
[[http://inta.gob.ar/documentos/plan-tecnologico-regional-2009-2011-centro-regionalentrierios/at\\_multi\\_download/file/Plan%20Tecnol%C3%B3gico%20Regional%202009-2011%20Centro%20Regional%20Entre%20R%C3%ADos.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/plan-tecnologico-regional-2009-2011-centro-regionalentrierios/at_multi_download/file/Plan%20Tecnol%C3%B3gico%20Regional%202009-2011%20Centro%20Regional%20Entre%20R%C3%ADos.pdf)]. [Consulta: 29 de agosto 2015].
- LOMBARDO E., 2009. La gestión de Buenas Prácticas Agrícolas en Pequeñas y Medianas Empresas, familiar citrícola de la región del río Uruguay. Universidad del Salvador. Provincia de Buenos Aires, Argentina. p. 19.
- PIASTRELLINI R.; CIVIT B. y ARENA A.P., 2015. Influence of Agricultural Practices on Biotic Production Potential and Climate Regulation Potential. A Case Study for Life Cycle Assessment of Soybean (*Glycine max*) in Argentina. Sustainability 2015, 7, 4386-4410; doi: 10.3390 /su7044386.
- PIASTRELLINI R.; ARENA A.P. y CIVIT B. 2014. (editores). Avances en análisis de ciclo de vida y huellas ambientales en Argentina. Editorial UTN - P 82 - ISBN 978-950-42-0159-5 – Mendoza, Argentina.

- Programa “Agricultura Inteligente. Huella de Carbono y Huella Hídrica” (AIHCHI), 2013. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Silvicultura de la Nación. [en línea]. [<http://www.iica.int>]. [Consulta: 29 de abril 2015].
- RICHTER B.; DAVIS M.; APSE C.; and KONRAD C., 2011. Re-thinking environmental flows: From allocations and reserves to sustainability boundaries’, River Research and Applications, vol 26, no 8, pp1052–1063.
- SENASA, 2010. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Productos Agropecuarios. Resolución 934/2010. Buenos Aires, Argentina.
- SOZZI G., 2007. Fisiología del crecimiento de los frutos. En SOZZI G. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Editorial. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina. p. 310-311.
- SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, 2015. [en línea]. [<http://www.hidricosargentina.gov.ar/>]. [Consulta: 25 de noviembre 2015].
- UNESCO, 2009. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). [en línea]. [[http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/indicators/pdf/A1\\_Index\\_of\\_non\\_sustainable\\_water\\_use.pdf](http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/indicators/pdf/A1_Index_of_non_sustainable_water_use.pdf)]. [Consulta: 15 de diciembre 2015].
- UNESCO, 2009. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). [en línea]. [[http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/indicators/pdf/A3\\_Relative\\_water\\_stress\\_index.pdf](http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/indicators/pdf/A3_Relative_water_stress_index.pdf)]. [Consulta: 16 de mayo 2016].