

Capítulo III

Determinación de la huella hídrica para la cebolla ocañera

45

La escasez del recurso hídrico y el deterioro de la calidad del agua se han convertido en una de las fuentes de riesgo más importantes a nivel global (Flörke et al., 2018). Por lo tanto, mejorar la eficiencia en el uso del agua se considera una ruta fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y aliviar la escasez (Benedetti et al., 2019), más cuando el sector agrícola ya es responsable del 70 % de la demanda mundial de agua y se espera que su disponibilidad disminuya en un 40 % para 2030 (Foley et al., 2011). En Colombia, la agricultura es el sector productivo que mayor demanda de agua genera en el país; para 2020 esa demanda se calculó en un 43,25 % del total (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2023). Además, en comparación con otros usos, el agua utilizada en la agricultura suele tener menores retornos (Young & Loomis, 2014); por consiguiente, la necesidad de guiar las decisiones de gestión del agua se encuentra entre los problemas más importantes para garantizar el uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos agrícolas (Bai et al., 2017).

Con la transformación de los paradigmas del análisis del agua de los cultivos, Hoekstra y Hung (2003) introdujeron el concepto de la *huella hídrica*, que se ha usado como una herramienta que permite estimar la cantidad de agua oculta en

cualquier bien o servicio consumidos por un individuo o grupo de individuos de un área específica (Zárate Torres et al., 2017). El análisis incluye la identificación del origen del agua con base en los conceptos de *agua verde* y *agua azul*, para la estimación de la huella hídrica verde y la huella hídrica azul.

El agua verde se relaciona con la humedad del suelo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2000) definió el concepto como el agua almacenada en el suelo proveniente de la lluvia, que soporta la vegetación en secano y que se mantiene en el suelo; asimismo, no hace parte del proceso de recarga a las fuentes de agua superficial o subterránea.

Según el Ideam (2023), la huella hídrica verde representa la apropiación humana del agua verde por la actividad agrícola, aprovechando el agua de la lluvia que queda almacenada en la humedad del suelo y que sostiene la mayor parte de la agricultura de secano en Colombia. Por su parte, el agua azul es la que proviene de la lluvia y es captada en ríos, quebradas, lagos y acuíferos para que luego sea aprovechada y se suplan las diferentes necesidades hídricas de las actividades antrópicas: riego en agricultura, abastecimiento humano, usos industriales y productivos. En efecto, en el sector agrícola la huella hídrica azul es la estimación del agua de riego potencialmente efectivo para sostener la agricultura.

46

En este sector, la determinación de la huella hídrica consiste en la estimación de la evapotranspiración verde (ET_{verde}) y azul (ET_{azul}) de los cultivos, dentro del periodo predeterminado en la definición del alcance del estudio (Zárate Torres et al., 2017). Las unidades de medición de la evapotranspiración acumulada del total de días del ciclo del cultivo evaluado (mm/ciclo) permiten calcular el volumen de agua evapotranspirada en m^3 /(ciclo ha). Después de conocer el área productiva y el rendimiento del cultivo en la región, las unidades pueden ser extrapoladas a m^3 /t.

En ese contexto, el presente capítulo se enfoca en el estudio del uso del agua, tomando los conceptos del enfoque de huella hídrica para la producción de cebolla de bulbo en la zona de estudio y definiendo como indicadores la ET_{verde} y la ET_{azul} en diferentes escenarios climáticos y fechas de siembra modales.

Alcance del estudio para la determinación de la huella hídrica

El cálculo de la huella hídrica como uno de los indicadores tradicionales de gestión del recurso hídrico de cuencas hidrográficas a nivel nacional, para el sector agrícola en Colombia, ha sido abordado en los Estudios Nacionales del Agua (ENA) de 2014, 2018 y 2022 realizados por el Ideam. La unidad de análisis de los estudios ha sido la cuenca hidrográfica y la escala temporal se ha realizado con agregaciones mensuales y anuales; esto ajustado a la disponibilidad de información y tamaño del estudio (nacional). No obstante, a diferencia de los ENA, el presente análisis ha considerado los siguientes alcances y diferencias:

1. Escala temporal: escala diaria como unidad temporal del análisis; se evaluó el ciclo del cultivo de cebolla de bulbo con 90 días de duración, que es el tiempo máximo para la cosecha.
2. Escala espacial: datos y cálculos de las condiciones agroclimáticas a escala puntual (ubicación de las estaciones meteorológicas) dentro del área de estudio.
3. Con el objetivo de identificar zonas donde potencialmente el comportamiento de la huella hídrica fuera favorable o desfavorable para la producción de cebolla de bulbo, se asumió que toda el área de estudio es apta para producción del cultivo, independiente de las tradicionales zonas de producción.
4. A partir de los estudios previos adelantados en la zona por Verjel Manzano et al. (2003) y Vergel Ortega et al. (2016) y de visitas técnicas realizadas por los autores, se estableció que el sistema de producción tradicional implementa el riego como parte suplementaria al aporte de las lluvias. El sistema de riego que se usó para las simulaciones fue aspersión aplicando láminas de acuerdo con un factor de agotamiento, el cual será explicado más adelante.
5. Dado que se simulan aplicaciones de lámina de riego, se asume que el cultivo no presenta síntomas por estrés hídrico debido a la condición de humedad estándar, según los conceptos que exponen Allen et al. (2006).

Datos de entrada para el cálculo de la huella hídrica

El cálculo de la huella hídrica se realizó a partir de tres fuentes de información: clima, suelo y cultivo, las cuales son necesarias para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), la capacidad de campo (Θ_{cc}) y el punto de marchitez permanente (Θ_{pmp}) en el suelo y el balance hídrico agrícola para el cultivo de cebolla de bulbo ocañera. Por ello, esta sección describe de forma detallada el tratamiento realizado a la información que se usó, con el objetivo de tener un mayor contexto sobre los insumos empleados.

Información utilizada

Para el proceso de cálculo, se compilaron series climáticas a escala diaria del periodo 1980-2011, provenientes de las estaciones meteorológicas de la red hidrometeorológica del Ideam, en los municipios de la provincia de Ocaña y sus alrededores. El control de calidad de las series climáticas lo realizó la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) durante el proyecto “Modelos de adaptación y prevención agroclimática (MAPA)”. Dichas series fueron sometidas a un proceso de filtrado de datos anómalos, verificación y corrección de heterogeneidad, generación de datos faltantes y verificación de calidad de las series resultantes. Las variables compiladas fueron: precipitación (Pr), temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}), temperatura media (T_{media}), humedad relativa (Hr) y brillo solar (Bs), que son insumos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ET_o y el balance hídrico. En el cálculo de la ET_o , se implementó la ecuación de la FAO Penman-Monteith (ecuación 4) (Allen et al., 2006):

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_d)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad \text{Ecuación 4}$$



Donde:

ET_o : evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

R_n : radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/(m² día)).

G: flujo del calor del suelo (MJ/(m² día)).

T: temperatura media del aire a 2 m de altura (° C).

u_2 : velocidad del viento a 2 m de altura (m/s).

e_s : presión de vapor de saturación (kPa).

e_a : presión real de vapor (kPa).

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C).

γ : constante psicrométrica (kPa/°C).

Debido a la insuficiente información de la variable de velocidad del viento para la zona de estudio, se asumió un valor de 2 m/s, siguiendo la recomendación de Allen et al. (2006).

Propiedades hidrofísicas del suelo

Las propiedades hidrofísicas son unas de las variables más importantes relacionadas con la humedad de los suelos (capacidad de retención), la cual es la fuente natural de agua para la agricultura y la vegetación nativa, e influye en una variedad de procesos relacionados con el crecimiento de las plantas; no obstante, debido a la gran heterogeneidad en su distribución espacial y temporal, su cuantificación y uso en investigación ha sido limitada (Dobriyal et al., 2012). En la capacidad de retención de humedad, hay dos propiedades del suelo claves: por un lado, la capacidad de campo (Θ_{cc}), definida como el volumen de agua que puede almacenar un suelo contra la gravedad, correspondiente a la condición después de dos o tres días de drenaje libre después de un periodo de humectación total por lluvia o riego (Kabat & Beekma, 1994); por otro lado, el punto de marchitez permanente (Θ_{pmp}), definido como el contenido de humedad del suelo en el que las plantas que se han marchitado durante el día no recuperarán la turgencia durante la noche en una atmósfera saturada (Kabat & Beekma, 1994).

Como señalan Araujo-Carrillo et al. (2021), en gran parte de país, incluyendo la provincia de Ocaña, no se cuenta con información detallada de las propiedades hidrofísicas mencionadas, y solo se tienen referencias a partir del levantamiento agrológico desarrollado en el departamento de Norte de Santander por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2004). El estudio de suelos del IGAC es de carácter general (escala 1:100.000) y fue construido desde un enfoque convencional; es decir, a partir de la identificación de polígonos relativamente homogéneos de suelo representados por perfiles modales. Sin embargo, dado que para el momento del levantamiento las propiedades hidrofísicas solo eran calculadas en alrededor del 10 % de los perfiles modales del estudio, los datos de Θ_{cc} y Θ_{pmp} se reportaron únicamente para ocho perfiles en todo el departamento. A nivel global existen varios modelos que se han aplicado para obtener estas propiedades, algunos de los cuales se caracterizan por su cada vez más detallada resolución espacial (por ejemplo, 250 m) y por el nivel de actualidad (menos de cinco años de publicación). Algunos de ellos son los trabajos desarrollados en HiHydroSoil v.2.0 por Simons et al. (2020) o por Turek et al. (2023).

Con los datos disponibles del estudio de suelos del IGAC (2004) y utilizando funciones de pedotransferencia, como las reportadas por Saxton y Rawls (2006), fue posible identificar que la Θ_{cc} (% vol.) tuvo un valor medio de $25,53 \pm 9,71\%$, con un mínimo de 7,96 % y máximo de 38,34 %. Para el caso del Θ_{pmp} (% vol.), el valor medio fue de $14,42 \pm 5,73\%$, con un mínimo de 4,33 % y un máximo de 21,63 %. Los valores medios calculados están muy cerca de los identificados para la zona de estudio respecto a los estudios globales, aunque sus valores máximos fueron mayores. Los resultados obtenidos pueden observarse en la figura 14.



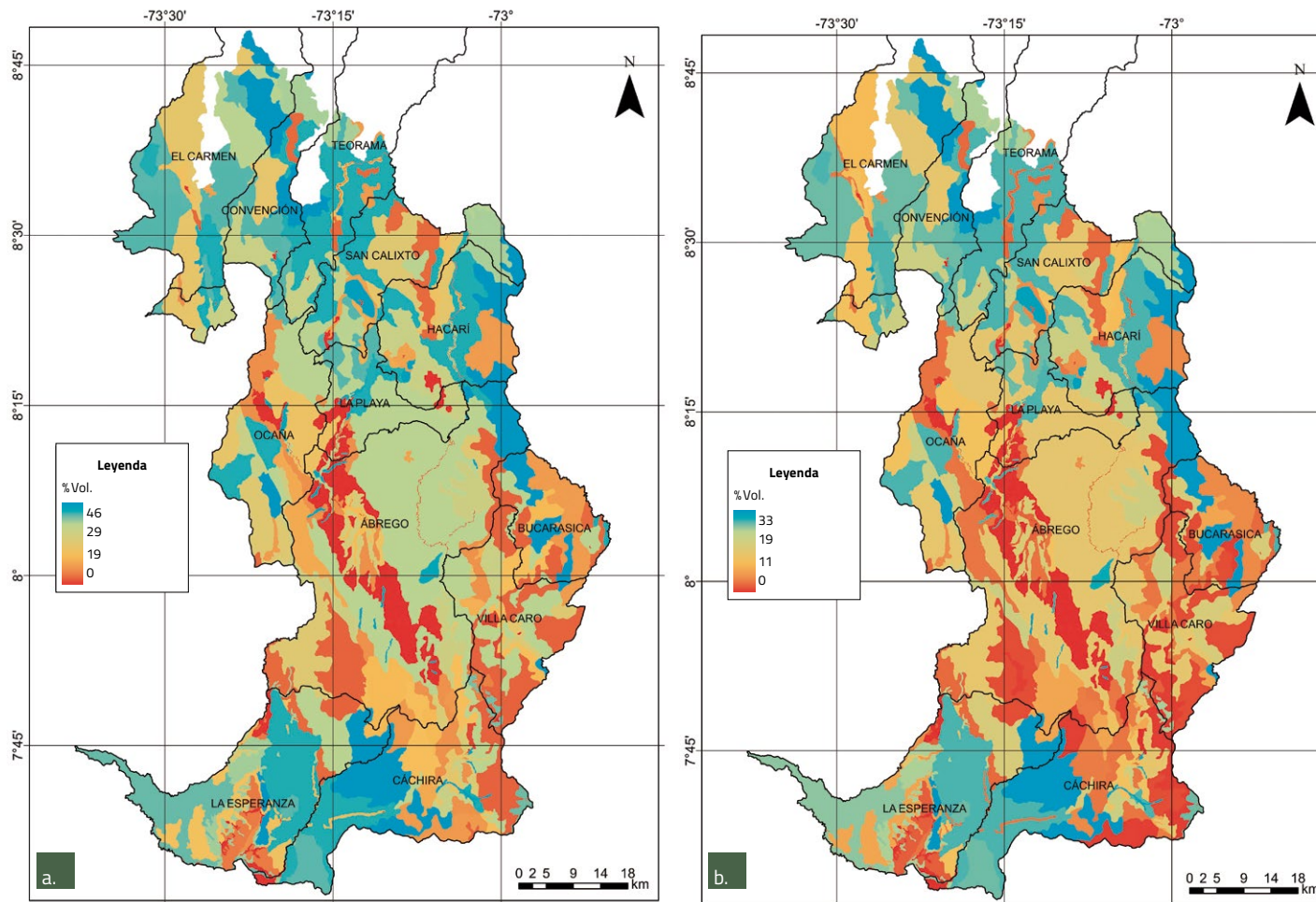


Figura 14. Propiedades físicas de la capa superficial del suelo en la provincia de Ocaña.
 a. Capacidad de campo; b. Punto de marchitez permanente.

Fuente: Elaboración propia

Datos del cultivo

Para el cálculo del balance hídrico, fue necesario incluir variables del cultivo asociadas al crecimiento y al desarrollo, y su relación con la demanda hídrica. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica, cuyas referencias se señalan en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de las variables del cultivo usadas para el balance hídrico

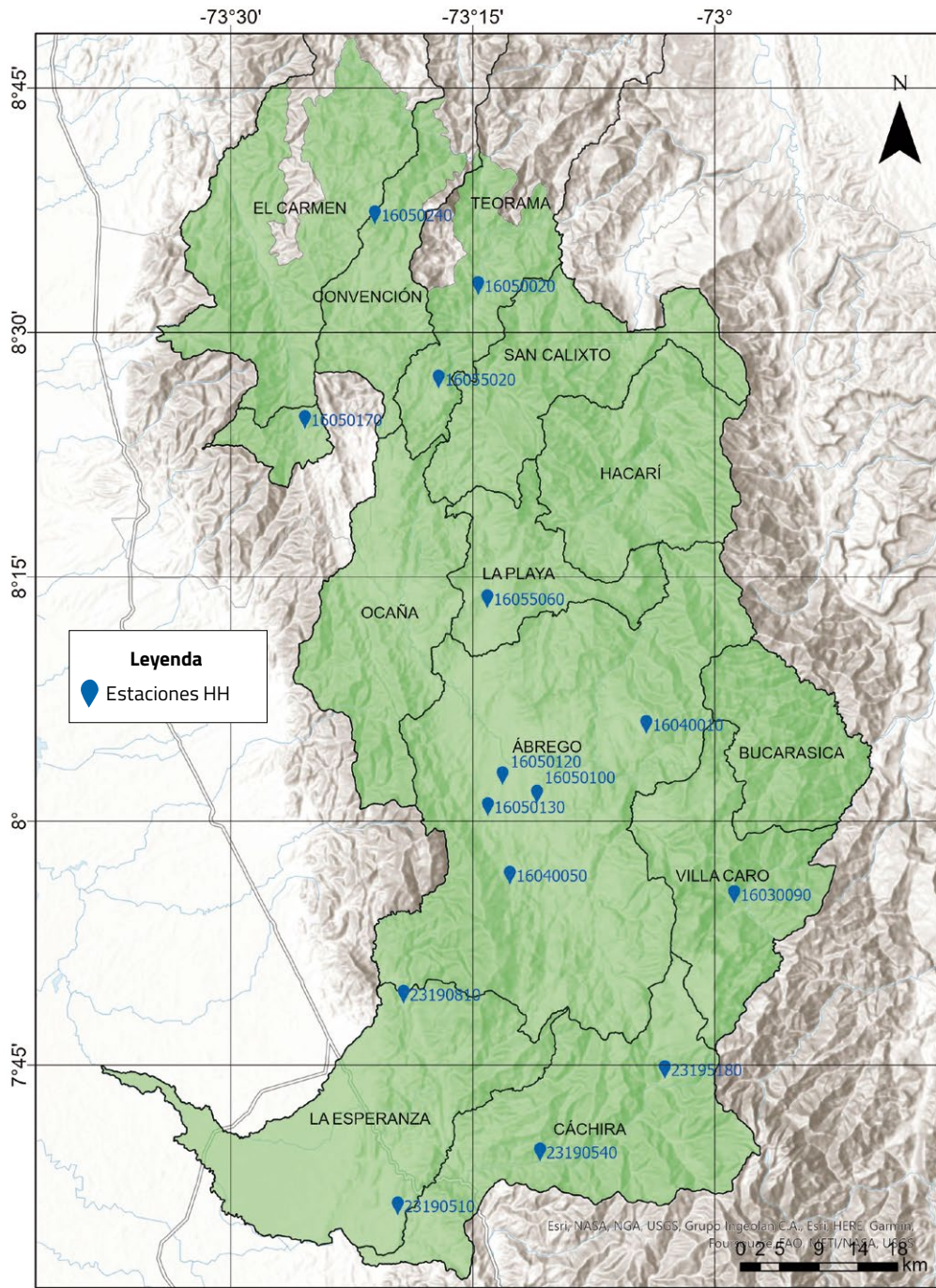
Variable	Valor	Referencia
Coeficiente del cultivo en etapa inicial (Kc_{ini})	0,7	
Coeficiente del cultivo en mediados de temporada (Kc_{med})	1,1	Verjel Manzano et al. (2003)
Coeficiente del cultivo al final de temporada (Kc_{fin})	0,9	
Duración de la etapa inicial (L_{ini})	20 días	
Duración de la etapa de desarrollo (L_{des})	40 días	
Duración de la etapa de mediados de temporada (L_{med})	20 días	
Duración de la etapa final (L_{fin})	10 días	Allen et al. (2006)
Profundidad de la raíz inicial (Pr_{ini})	0,1 m	
Profundidad de la raíz final (Pr_{fin})	0,3 m	
Factor de agotamiento del cultivo (p)	0,3	

Fuente: Elaboración propia

Selección de las fechas de siembra para la simulación de la huella hídrica

Después de obtener las series diarias de las variables climáticas para el periodo 1980-2011, se aplicaron unos pasos para seleccionar los periodos de modelación, los cuales se detallan a continuación.

1. Se seleccionaron las series diarias de la variable P_r para cada una de las estaciones ubicadas dentro de la zona de estudio (figura 15).



Se seleccionaron 15 estaciones meteorológicas, las cuales se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Estaciones de precipitación seleccionadas para el análisis de la huella hídrica

Cod. estación	Nombre	Longitud	Latitud	Altitud [m s. n. m.]
23190540	La Vega	-73,18	7,65	710
23195180	Escuela Agrícola Cáchira	-73,05	7,74	1.882
23190810	Los Planes	-73,32	7,81	650
16030090	Villa Caro	-72,98	7,91	1.490
16050130	El Campanario	-73,23	8,00	1.500
16050120	Bocatoma Río Frío	-73,22	8,04	1.700
16040010	Alto El Venado	-73,07	8,09	1.920
16055060	La Playa	-73,24	8,22	1.500
16055020	Teorama	-73,29	8,44	1.160
16050020	Quince Letras	-73,24	8,54	360
23190510	El Caobo	-73,33	7,60	300
16050240	El Palacio	-73,35	8,61	1.280
16040050	La María	-73,21	7,93	1.800
16050100	El Chorro	-73,18	8,02	1.600
16050170	Brotare	-73,42	8,40	1.545

Fuente: Elaboración propia

- Se filtraron los valores de P_r que estuvieran dentro de las fechas modales de siembra para la zona, las cuales se dividen en dos semestres: semestre 1 entre abril y mayo; semestre 2 entre octubre y noviembre. Dentro de estas ventanas de tiempo, se seleccionaron como fechas de siembra para la simulación los días 1 y 15 de cada mes, lo que dio como resultado cuatro fechas por semestre.

3. Una vez seleccionadas las fechas de simulación, se acumularon los valores de P_r en cada una de las estaciones, de acuerdo con el ciclo del cultivo de 90 días; se inició los días 1 y 15 de los meses anteriormente seleccionados. Luego se aplicó una sumatoria de los valores acumulados para las 15 estaciones; así, se obtuvieron dos series del acumulado de la P_r del área de estudio: 128 fechas de siembra para el semestre 1 y 126 para el semestre 2.
4. Las dos series con el acumulado de las 15 estaciones se ordenaron de menor a mayor, con el fin de calcular la probabilidad de ocurrencia y seleccionar las fechas de modelación identificando la condición seca, normal y húmeda con las fechas de siembra que se ubicaron en 20 %, 50 % y 80 % de probabilidad de ocurrencia, respectivamente. Las fechas de siembra para las simulaciones finales seleccionadas a través de dicho análisis se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Fechas de siembra por condición de humedad seleccionadas para la simulación de la huella hídrica

Condición de humedad	Semestre 1	Semestre 2
Seco	1986-04-01	1986-10-01
Normal	1995-05-15	1995-10-01
Húmedo	2005-05-01	2004-10-01

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de los componentes azul y verde para el cultivo de cebolla de bulbo

Este apartado describe de forma resumida las fórmulas empleadas para la determinación de los componentes azul y verde de la huella hídrica, mediante la aplicación del balance hídrico agrícola y la determinación de la evapotranspiración azul (ET_{azul}) y verde (ET_{verde}) acumulada.

Balance hídrico agrícola

Después de conseguir los datos de entrada, se adoptaron las bases teóricas y los supuestos publicados por Allen et al. (2006) para aplicar un balance hídrico diario en el suelo y expresar el contenido de humedad en la zona de raíces, en función del agotamiento de agua en la zona radicular, de tal manera que se obtuviera la cantidad de agua faltante con respecto a la capacidad de campo aplicando la ecuación 5.

$$D_{ri} = Dr_{i-1} - (P-RO)_i - I_i + (ET_o \times K_c)_i + DP_i \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

D_{ri} : agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día i (mm).

Dr_{i-1} : contenido de humedad en la zona radicular al final del día anterior (mm).

ET_o : evapotranspiración de referencia del día i (mm).

I_i : lámina neta de riego en el día i (mm).

K_c : coeficiente del cultivo del día i .

DP_i : pérdidas de agua de la zona radicular por percolación profunda de día i (mm).

El resultado de la expresión $(P-RO)_i$ se puede interpretar como la precipitación efectiva Pe_i , siendo esta definida como la diferencia entre la precipitación P_i (mm) y el escurrimiento superficial RO_i (mm). Para el cálculo de la precipitación efectiva, se asume un porcentaje fijo de precipitación del 10 %. El aporte por capilaridad se asume como cero, debido a que se considera que el nivel freático se encuentra suficientemente profundo, por lo cual no existiría aporte por este componente y si lo hubiera sería mínimo.

En la práctica, no es recomendable dejar que el agua se agote hasta el punto de marchitez permanente, ya que no todas las especies son tolerantes a estos estados de estrés hídrico. Por lo anterior, para este estudio se aplicó el concepto de fracción del agua fácilmente aprovechable p (tabla 5), un factor



de carácter fisiológico característico de cada especie; este indica la fracción de la humedad aprovechable a partir de la cual el cultivo muestra síntomas fisiológicos asociados al estrés hídrico por déficit (clorosis, disminución de rendimiento, marchitez, etcétera). De acuerdo con esto, se puede inferir que de la humedad total aprovechable (HTA) (ecuación 6) cada cultivo tiene la capacidad de aprovechar solamente una fracción, lo cual se conoce como humedad o agua fácilmente aprovechable (AFA) (ecuación 7).

$$HTA_i = \left(\frac{\Theta_{cc} - \Theta_{pmp}}{100} \right) Zr_i \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

HTA_i : humedad total disponible en la zona de raíces en día i (mm).

Zr_i : profundidad efectiva de raíces en el día i (mm).

Θ_{cc} : contenido de humedad volumétrico del suelo a capacidad de campo (%).

Θ_{pmp} : contenido de humedad volumétrico del suelo en punto de marchitez permanente (%).

$$AFA = p HTA \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

p : fracción del agua fácilmente aprovechable o factor de agotamiento (-).

A través de la estimación del balance hídrico se calculó la lámina de riego (I) usando como umbral el factor de agotamiento anteriormente expuesto; por lo tanto, la lámina de riego calculada compensa las pérdidas por evapotranspiración cuando $D_{ri} \leq AFA$.

Evapotranspiración azul y verde

Finalmente, la formulación general para la estimación de los componentes verde y azul de la evapotranspiración se obtuvo aplicando las ecuaciones 8 y 9 (Zárate Torres et al., 2017).

$$ET_{azul} = \min \left(\sum_{i=0}^n I, \sum_{i=0}^n ET_o \times K_c \right) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$ET_{verde} = \sum_{i=0}^n ET_o \times K_c - ET_{azul} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

ET_{azul} : evapotranspiración azul acumulada (mm).

ET_{verde} : evapotranspiración verde acumulada (mm).

I : lámina neta de riego (mm).

ET_o : evapotranspiración de referencia (mm/día).

K_c : coeficiente del cultivo.

n : número de días i acumulados del ciclo, para este caso 90 días.

Resultados del cálculo de la huella hídrica

A continuación, se muestran los resultados del componente azul y verde de la huella hídrica, representados por la ET_{azul} y ET_{verde} , en condiciones de épocas seca, húmeda y normal o promedio, para los semestres 1 y 2.

Semestre 1

La figura 16 indica los resultados que se obtuvieron en cada uno de los sitios representados por estaciones meteorológicas, evaluadas en la condición normal; en esta se muestra el valor de la ET_{azul} y ET_{verde} , sobre un gráfico circular con su respectivo color asociado. Las diferencias de diámetro de la gráfica representan la heterogeneidad total de agua evapotranspirada durante el ciclo ($ET_{azul} + ET_{verde}$). Por ejemplo, la estación 16050020 (Quince Letras) tiene el mayor diámetro, dado que la evapotranspiración total del ciclo fue de 331,5 mm (103,3 mm + 228,2 mm), mientras que la estación 23185180 (Escuela Agrícola Cáchira) presenta el menor diámetro, pues el total de agua evapotranspirada fue de 258,7 mm (123,0 mm + 135,7 mm). De esta forma, se pueden identificar geográficamente las zonas

con mayor o menor evapotranspiración del cultivo (ET_c) o consumo de agua. Por consiguiente, las zonas representadas por las estaciones ubicadas en el suroriente y en el centro de la región (16040010, Alto El Venado; 16030090, Villa Caro; 16040050, La María; 23185180, Escuela Agrícola Cáchira) fueron las que menor consumo de agua presentaron con los valores indicados en las gráficas. Por el contrario, las zonas ubicadas al norte, occidente, suroccidente y sur presentaron los mayores consumos.

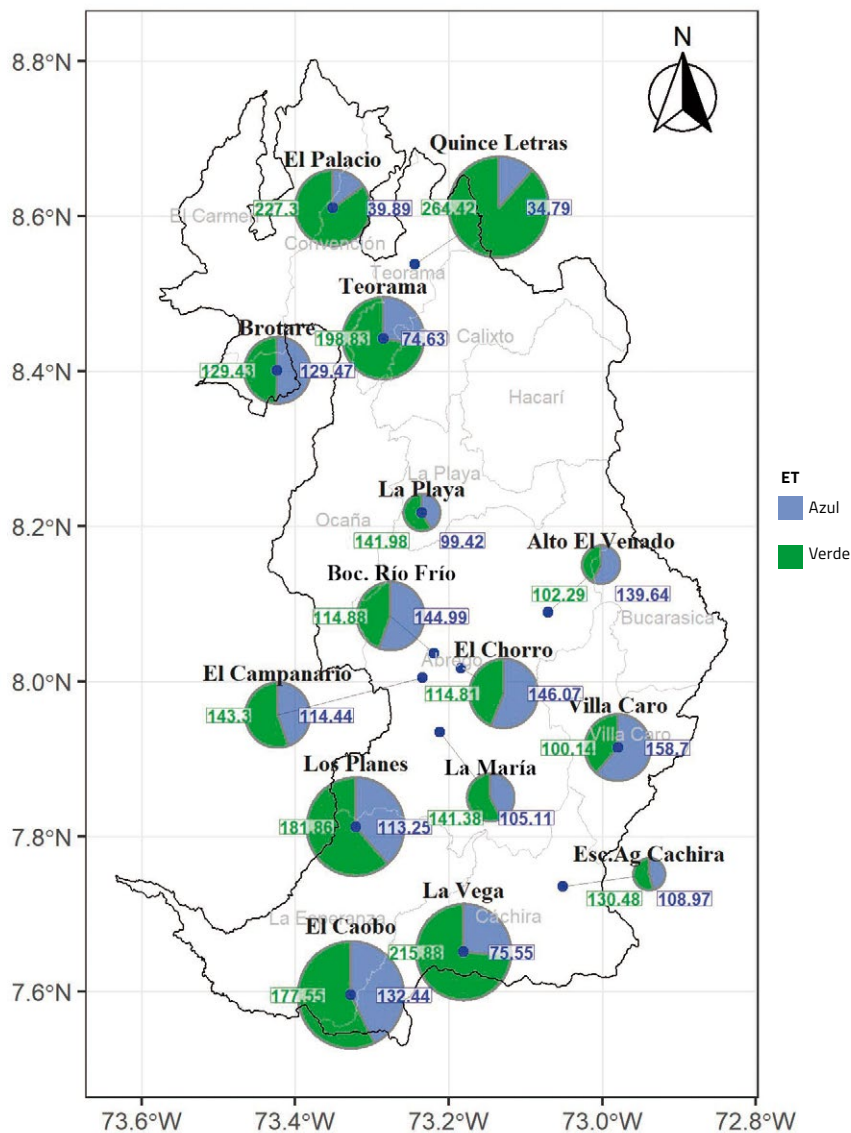


Figura 16. ET_{azul} y ET_{verde} para el semestre 1, condición climática normal.

Fuente: Elaboración propia

De nuevo se toman los datos de las estaciones 16050020 (Quince Letras) y 23185180 (Escuela Agrícola Cáchira) como ejemplos guía para la interpretación y los posibles usos de los índices ET_{azul} y ET_{verde} . En el área de influencia de la estación 16050020 (localizada en inmediaciones del municipio de Teorama), un cultivo de cebolla ocañera requiere 331,5 mm de agua (3,315 m³/ha) durante el ciclo para su producción en condición estándar (sin presentar estrés hídrico por déficit), de los cuales 228,2 mm (2,282 m³/ha) pueden ser soportados por las lluvias (ET_{verde}) y el restante, que son 103,3 mm (1,033 m³/ha), deben complementarse a través de riego (ET_{azul}). Es importante aclarar que la cantidad de agua azul requerida corresponde al valor neto aplicado en la zona de raíz; por tanto, en la práctica se necesita un volumen mayor, puesto que la eficiencia de riego nunca es del 100 %. Según el Ideam (2023), la eficiencia de riego por aspersión en Colombia se estima en un 75 %; por ende, si se asume dicho valor, el volumen de agua real requerida para riego es de 1,377 m³/ha. De igual manera, el indicador permite identificar el porcentaje de aporte en los dos componentes: para este caso, la ET_{verde} aportó un 68,83 % del agua evapotranspirada, mientras que la ET_{azul} representó 31,16 %.

De manera análoga, para un cultivo de cebolla de bulbo ubicado en la zona representada por la estación 23185180 (Escuela Agrícola Cáchira) se necesitan 2,587 m³/ha de agua durante el ciclo; en este caso, 1,357 m³/ha pueden ser soportados por la lluvia y 1,640 m³/ha complementados por el riego, asumiendo la eficiencia de riego anteriormente mencionada. La ET_{verde} brindó el 52,4 % del total de agua evapotranspirada, mientras que la ET_{azul} , el 47,6 %. Asimismo, este tipo de comparaciones y cálculos son replicables a la condición seca y húmeda (figura 17).



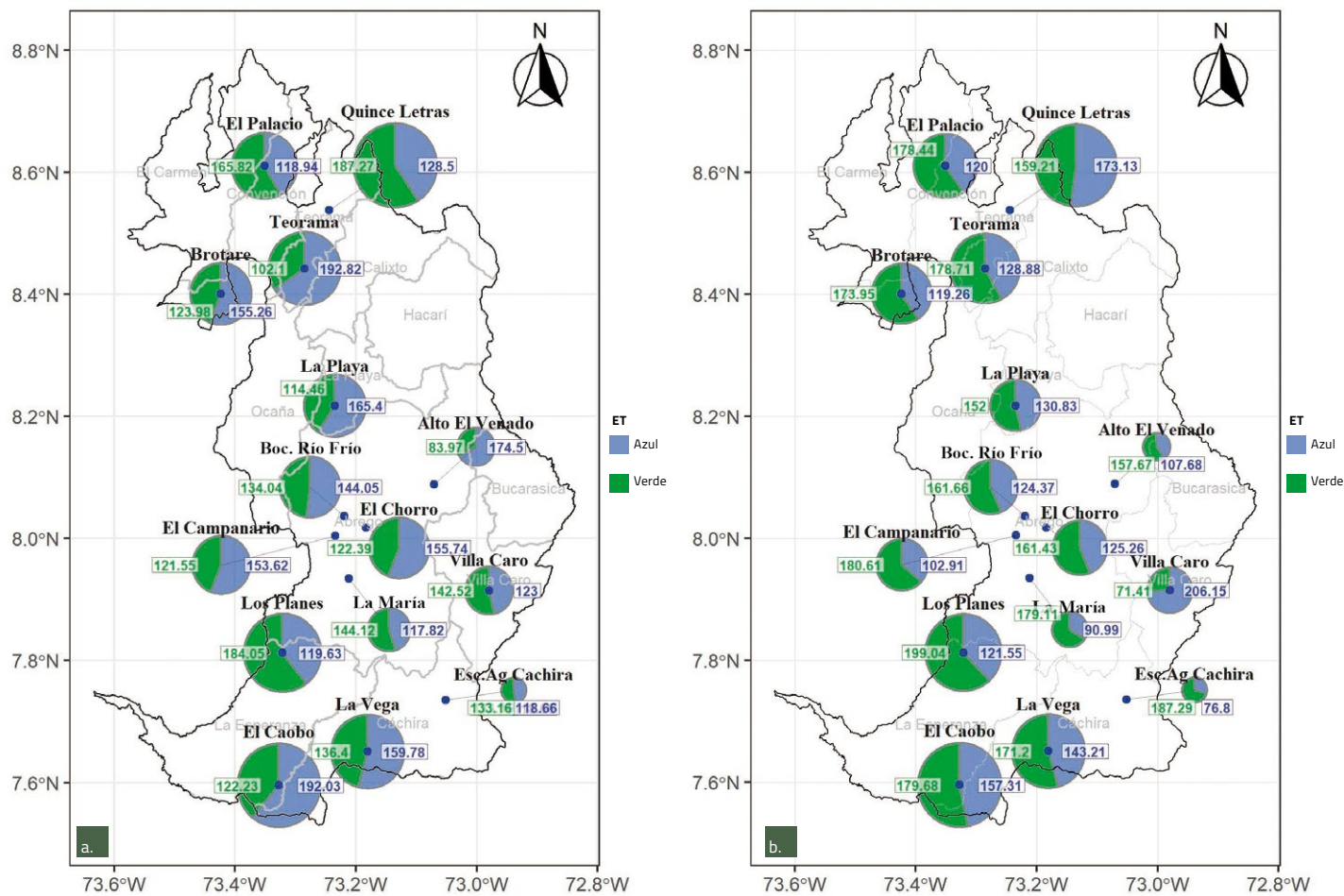


Figura 17. ET_{azul} y ET_{verde} para el semestre 1. a. Condición climática seca; b. Condición climática seca húmeda.

Fuente: Elaboración propia

Otro ejemplo de la utilidad del indicador ET_{azul} se aprecia en la figura 18, en la cual se proyecta el volumen de agua de riego necesario para una eficiencia del 75 % por condición climática para los sitios evaluados. Como se indicó anteriormente, la mayoría de las estaciones meteorológicas muestran que el mayor requerimiento de agua azul de presenta en la condición seca, pero para el caso de 16030090 (Villa Caro) y 16030090 (Quince Letras) el mayor requerimiento se presenta en la condición húmeda, con valores de 2,748 y 2,308 m³/ha, respectivamente. Estos valores son útiles para dimensionar la construcción de reservorios, estructuras hidráulicas de distritos de riego y labores asociadas a la planificación del riego para el cultivo.

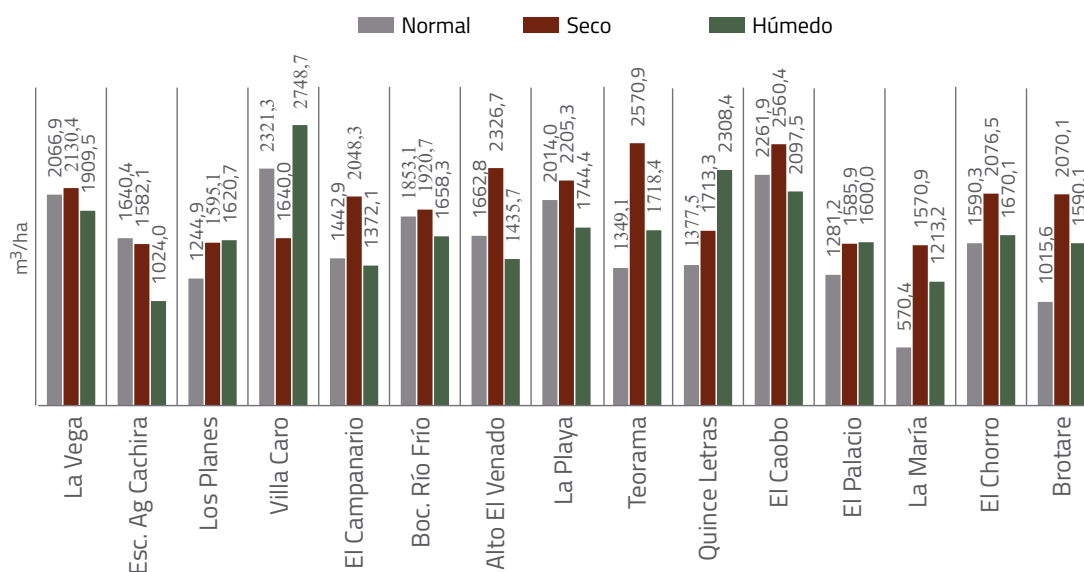


Figura 18. Volumen de agua azul requerida en el semestre 1, para una eficiencia de riego del 75 %.

Fuente: Elaboración propia

Semestre 2

Así como los resultados del semestre 1 que presentaron condición climática normal (16030090 [Quince Letras] y 23185180 [Escuela Agrícola Cáchira]), se puede ver que se mantiene la proporción de consumo total: mayor consumo en la zona de 16030090 y menor en 23185180 (figura 19) con 301,91 y 245,35 mm, respectivamente. En cuanto a la proporción entre ET_{verde} y ET_{azul} , se aprecia que en 16030090 el 75,6 % de consumo de agua se dio a partir

de la disponibilidad de las lluvias con una ET_{verde} de 228,3 mm (2,283 m³/ha) y el restante 24,4 % debe complementarse con riego; es decir, con una ET_{azul} de 73,7 mm (737 m³/ha). En cuanto a la zona donde se encuentra ubicada la estación 23185180 (Escuela Agrícola Cáchira), las proporciones fueron diferentes: el 47,2 % de agua consumida por el cultivo fue surtido por las lluvias (1,157 m³/ha), mientras que el 52,8 % (1,295 m³/ha) debe ser provisto por agua de riego.

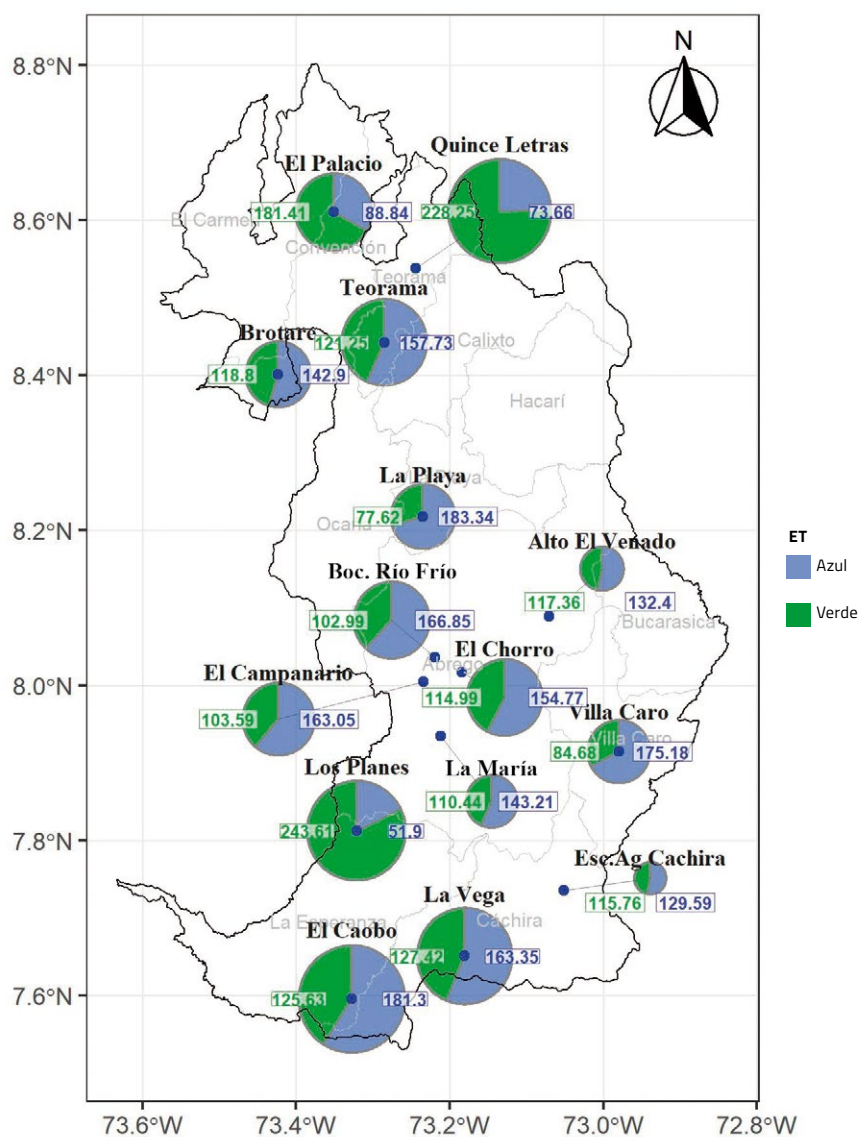


Figura 19. ET_{azul} y ET_{verde} para el semestre 2, condición climática normal.

Fuente: Elaboración propia

La figura 20 indica los resultados de la condición climática seca y húmeda para el semestre 2. Son evidentes las diferencias en las proporciones de consumo de agua del cultivo entre la ET_{verde} y ET_{azul} . En la condición seca (figura 20a) domina el consumo de la ET_{azul} en la mayoría de los puntos analizados, debido a la menor disponibilidad de lluvias, con algunas excepciones que serán analizadas en la figura 21. Lo mismo aplica para la condición húmeda (figura 20b): las proporciones de ET_{verde} son dominantes en la mayoría de los puntos, dada la mayor disponibilidad de precipitaciones.

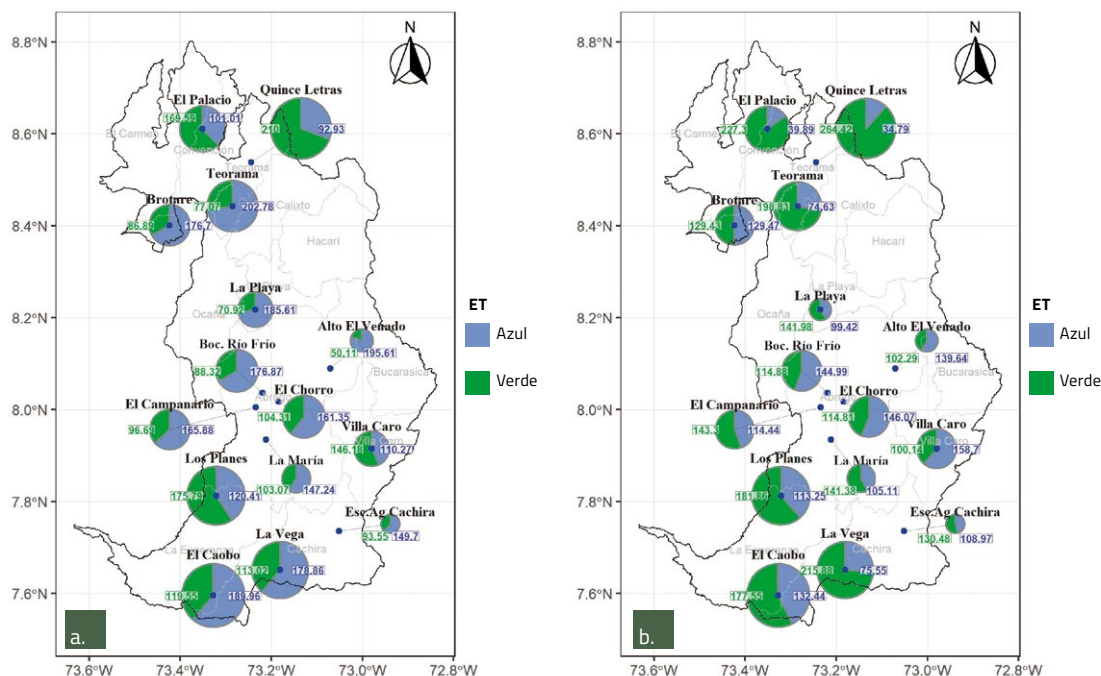


Figura 20. ET_{azul} y ET_{verde} para el semestre 2. a. Condición climática seca; b. Condición climática húmeda.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, se indica que el mayor volumen de agua azul requerida se presenta en la estación 16055020 (Teorama) con 2,703 m³/ha, seguida de 16040010 (Alto El Venado) con 2,608 m³/ha y de 23190510 (El Caobo) con 2,532 m³/ha. Los menores requerimientos de riego se presentan en 16030090 (Quince Letras) con 1,239 m³/ha y en 16050240 (El Palacio) con 1,346 m³/ha.

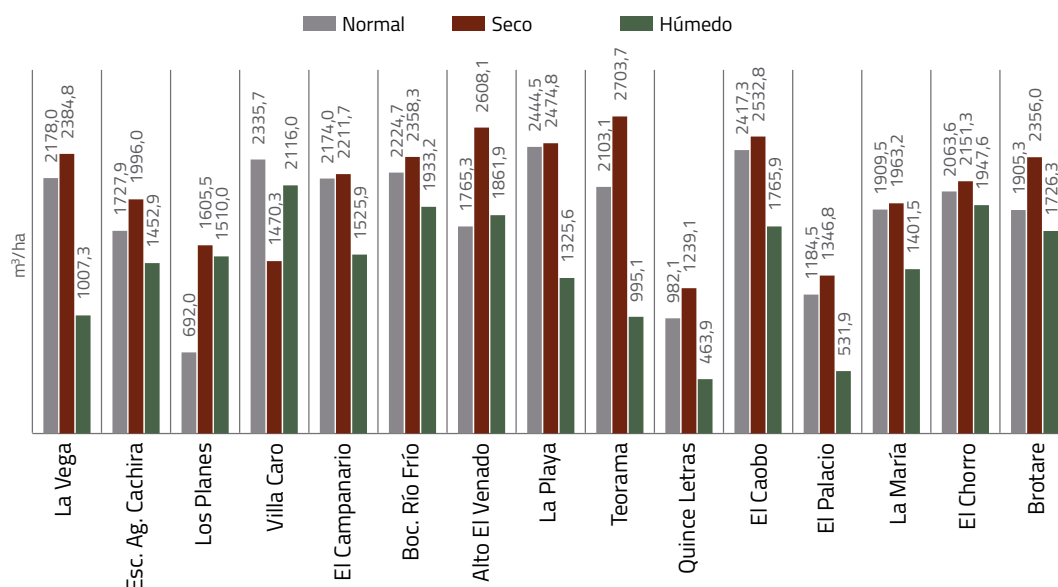


Figura 21. Volumen de agua azul requerida en el semestre 2, para una eficiencia de riego del 75 %.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, al comparar los dos semestres, en la figura 22 se observa, como tendencia, que los mayores requerimientos para riego se presentan en las condiciones secas del semestre 2; por lo tanto, para la planificación de siembras y gestión del recurso hídrico es recomendable hacer las proyecciones para el abastecimiento de agua y las labores relacionadas, tomando como aspectos críticos las condiciones anteriormente mencionadas.

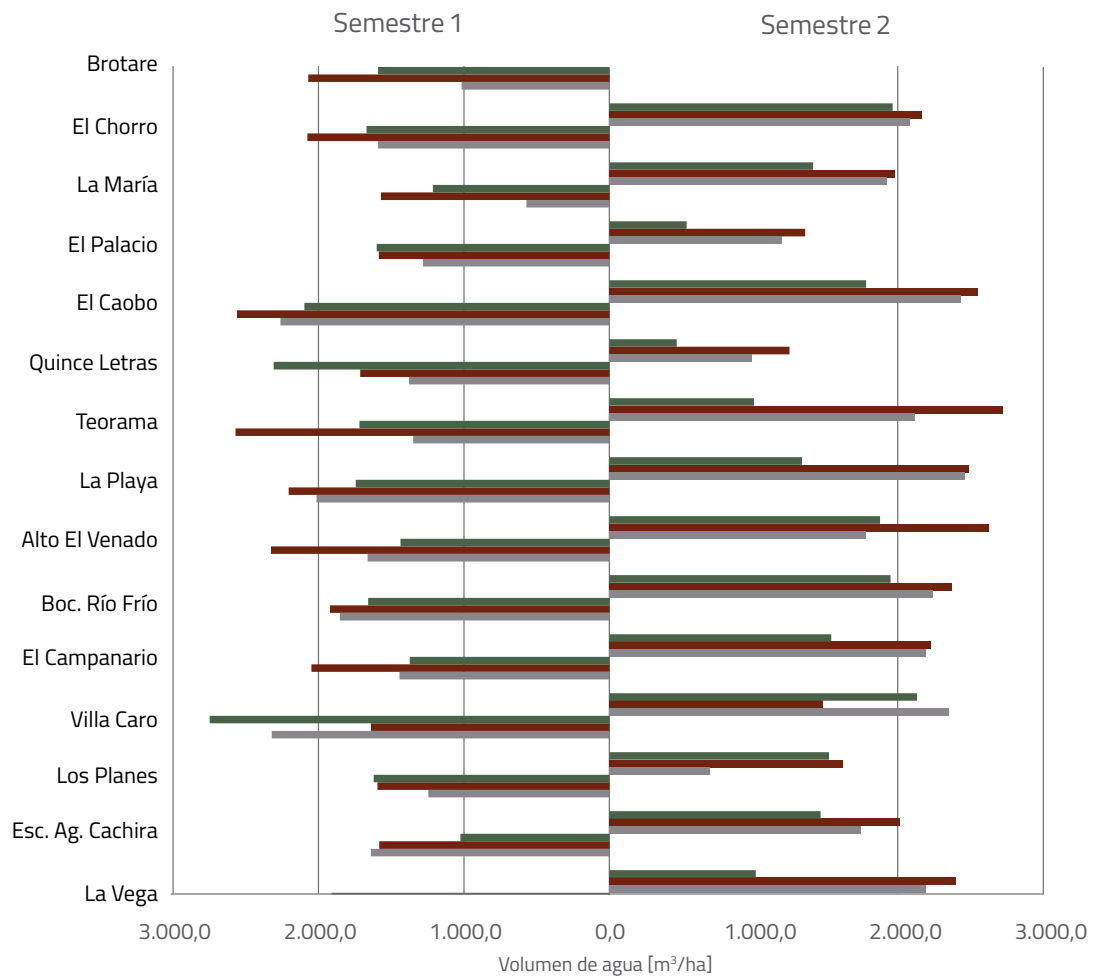


Figura 22. Comparación de volumen de agua para riego entre el semestre 1 y el semestre 2.

Fuente: Elaboración propia

