

Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte llanero de Colombia

Water balance and influence of water stress on floral induction and flower development of 'Arrayana' mandarin in the Piedmont Plains of Colombia

Javier Orlando Orduz-Rodríguez¹ y Gerhard Fischer²

RESUMEN

Con el objetivo de determinar los requerimientos hídricos de los cítricos en el piedemonte del Meta, cuantificar la duración e intensidad del estrés hídrico y la influencia sobre la inducción y el desarrollo de floración mandarina 'Arrayana' (*Citrus reticulata* Blanco), primero se revisó la información climática de dos décadas suministrada por el Centro de Investigación La Libertad (Villavicencio). Segundo, se realizó un estudio de caso en la época seca entre noviembre de 2002 a marzo de 2003 en un cultivo de mandarina 'Arrayana' (injertado sobre mandarina Cleopatra de 6 años de edad); en el cual se llevaron los registros climáticos y quincenalmente el contenido de humedad del suelo a dos profundidades (0 a 10 y 10 a 20 cm), y la duración de los procesos fenológicos relacionados con la floración. En el piedemonte del Meta, los cítricos requieren 1.046 mm de agua al año que es el 77% de la evaporación total anual. Durante nueve meses al año la precipitación supera la evapotranspiración de las plantas y durante tres meses hay déficit hídrico. Una precipitación de 29 mm inició el crecimiento de las plantas. La brotación se inicia dos semanas después de la lluvia, la floración en la tercera semana y la caída de pétalos y del estigma en la cuarta (final de la antesis). La humedad del suelo de 0 a 20 cm disminuye por debajo del punto de marchitez permanente durante dos meses. La floración entre antesis y caída de pétalos tiene una duración de nueve días.

Palabras clave: balance hídrico, floración, estrés hídrico, *Citrus reticulata*, piedemonte del Meta.

ABSTRACT

In order to determine water requirements of citrus fruits grown in the Piedmont Plains of Meta Department, Colombia, and quantify duration and intensity of water stress and its influence on floral induction and development of 'Arrayana' mandarin (*Citrus reticulata* Blanco), firstly, the climatic information collected at the C.I. La Libertad (Villavicencio, Meta, Colombia) over two decades was revised. Secondly, a case study was realized in a dry season between November 2002 and March 2003 in a culture of 'Arrayana' mandarin grafted on 6 year old Cleopatra mandarin. The climatic records and, every second week, the content of soil moisture at two depths (0 to 10 cm and 10 to 20 cm), and the duration of the phenological processes related to flowering were registered. In the Piedmont Plains of Meta, the citrus fruits need 1.046 mm of water per year that is 77% entire annual evapotranspiration. For nine months every year, the precipitation is higher than the evapotranspiration and, for three months, there is a water deficit. The precipitation value of 29 mm was needed for growth initiation. Ramification started two weeks later after beginning of the rain season. The anthesis and fall of petals and stigma occurred in the third and fourth week, respectively. The soil moisture content measured at the depth of 0 to 20 cm, decreased below the permanent wilting point during two months. The duration of flowering between anthesis and petal abscission lasted nine days.

Key words: water balance, flowering, water stress, *Citrus reticulata*, Piedmont Plains of Meta.

Introducción

Las principales zonas cítricas en el mundo se encuentran ubicadas en las regiones subtropicales entre los 20 a 40° norte y sur, lo que se conoce como los cinturones cítricos y donde las temperaturas más bajas no ocasionan daños a las plantas (Reuther, 1973; Agustí, 2003). En estas condiciones el crecimiento y desarrollo de las plantas es regulado por las modificaciones estacionales de las temperaturas. La disminución de la temperatura en el invierno ocasiona una detención del crecimiento de la planta, época durante la cual se presenta la inducción floral; posteriormente, con

el aumento de las temperaturas en la primavera siguiente, se presenta la floración, el cuajado, el crecimiento del fruto y la madurez en el otoño o el invierno siguiente dependiendo de la variedad cultivada (Reuther, 1973; Reuther y Ríos-Castaño, 1969; Davies, 1997; Guardiola, 1997). Por el contrario, en condiciones tropicales cerca al Ecuador donde se cultivan comercialmente los cítricos por debajo de los 2.100 msnm, las temperaturas son constantes (a la misma altitud), al igual que el fotoperiodo y la radiación; y no se presentan periodos de reposo por bajas temperaturas; en estas condiciones, el principal factor climático que influye sobre el comportamiento del crecimiento y desarrollo de

Fecha de recepción: abril 14 de 2007. Aceptado para publicación: octubre 1 de 2007

¹ Investigador, Centro de Investigación La Libertad, Corporación Colombiana Agropecuaria (Corpoica), Villavicencio (Meta). jorduz@corpoica.org.co

² Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. gerfischer@gmail.com

las plantas cítricas está determinado por la presencia o ausencia de la precipitación (Orduz, 2007).

La evapotranspiración (ET) expresa la cantidad total de agua perdida por la superficie de un cultivo en forma de vapor. La evapotranspiración es la suma de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de la planta (FAO, 1977). Los requerimientos hídricos de los cítricos pueden ser cubiertos por la precipitación, y cuando esta es insuficiente deben ser suplementados con riego para optimizar los rendimientos. El consumo anual de agua de los cítricos para árboles adultos varían entre: 1.000 mm (Koo, 1963) a 1.563 mm (Van Bavel *et al.* 1967); calculados para Florida y Sudáfrica, respectivamente. En estos cálculos no están las pérdidas debidas a percolación y a la escorrentía que pueden ser apreciables (Hilgeman, 1977), dependiendo del tipo de suelo y el sistema de riego utilizado. Los menores consumos se presentan en las zonas templadas mientras que las cifras mayores, en las regiones cálidas y áridas (Agustí, 2003).

En condiciones tropicales el principal factor inductor de la floración es el estrés hídrico; este regula la época, la intensidad, la duración y distribución de la floración (Reuther y Ríos-Castaño, 1969; Cassin *et al.*, 1969; Reuther, 1973; Davenport, 1990). La intensidad y duración de la floración también varían con la región climática, en especial por la influencia de las temperaturas medias durante este periodo (Davies y Albrigo, 1994). Con el déficit hídrico cesa el crecimiento de los tallos y del sistema radical; además dependiendo de la intensidad del estrés se puede presentar marchitez de la hoja, disminución de la conductancia estomática, de la asimilación neta de CO₂ y de la conductividad radical (Davies y Albrigo, 1994). Durante este periodo, las yemas vegetativas desarrollan la capacidad para florecer. En el proceso de inducción se incluyen los eventos que suceden en la transición del crecimiento vegetativo a la producción de inflorescencias (Davenport, 1990). Se ha reportado un requerimiento de estrés hídrico de 90 días para la obtención de una floración abundante de la lima Tahití (*C. latifolia*), en condiciones de Florida (Southwick y Davenport, 1986), pero no existe información cuantitativa para otras especies en condiciones tropicales.

El piedemonte del Meta presenta un régimen pluviométrico monomodal en el cual la temporada húmeda se inicia en marzo y termina en noviembre. La precipitación promedio anual oscila entre 2.500 y 3.800 mm (Ideam, 1997), lo que permite que el cultivo de los cítricos se haga sin riego; mientras que en la época seca las plantas presentan déficit hídrico lo que ocasiona la inducción de la principal flora-

ción anual que se presenta dos a tres semanas después de iniciarse las precipitaciones (Orduz, 2007). Sin embargo, en regiones húmedas el exceso de agua en los cultivos puede afectar desfavorablemente la acumulación de materia seca (Syvertsen y Lloyd, 1994; Davies y Albrigo, 1994) y ocasionar problemas sanitarios en las plantas. Estas condiciones se presentan en el piedemonte del Meta durante nueve meses al año y es uno de los principales aspectos relacionados con la disminución del rendimiento potencial.

Con el propósito de cuantificar el balance hídrico de los cultivos de cítricos y estudiar el proceso de inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte del departamento del Meta, se revisaron los datos climáticos del Centro de Investigación La Libertad y se llevaron registros de precipitación, humedad del suelo y duración de los estados fenológicos de la floración durante el periodo 2002-2003 en los huertos experimentales del Centro de Investigación (C.I.) La Libertad de Corpoica en Villavicencio (Meta). Esta información permite avanzar en la comprensión sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de cítricos en condiciones del trópico bajo.

Materiales y métodos

Requerimientos hídricos de los cultivos de cítricos (ET_c)

Se utilizó la metodología propuesta por FAO (2006), que recomienda la utilización de coeficientes específicos para cada cultivo (K_c), utilizando para ello la siguiente fórmula: $ET_c = ET_0 \times K_c$, tomando el K_c sugerido por FAO como 0,75 para los meses de lluvia y 0,8 para los meses secos. El promedio de los datos de evaporación mensual se toman de la estación climatológica del Ideam ubicada en el C.I. La Libertad (tabla 1).

Para la evaluación del déficit hídrico y los estados fenológicos de la floración se seleccionó un cultivo de mandarina 'Arrayana' injertada sobre el patrón Cleopatra de 6 años de edad plantada en un suelo de la terraza alta (clase IV) del C.I. La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) en Villavicencio, representativo de los suelos óptimos para cítricos del piedemonte del Meta. Estos suelos presentan topografía plana, pendiente de 1 a 3%, de textura franco arcillo-arenosa y niveles medios de materia orgánica (2,5–3,0%); poseen buen drenaje interno y externo, y de buena profundidad efectiva. El cultivo está plantado a una distancia de 8 por 6 m para una densidad de 204 plantas ha⁻¹; y desde su establecimiento se siguieron las recomendaciones generadas por Corpoica para el manejo de los cultivos de cítricos en los Llanos Orientales (Orduz y Baquero, 2003).

Tabla 1. Valores medios de precipitación, temperaturas, humedad relativa, brillo solar, radiación y recorrido del viento del C.I. La Libertad (4° 03' N y 73° 29' W, 336 msnm)*.

Mes	Precipitación (mm/mes)	Evaporación (mm/mes)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)	Brillo solar (horas/día)	Radiación (MJ · m ⁻² · día ⁻¹)	Viento (km · h ⁻¹)
			1978-1990/ 1995-2004	1978-1990/ 1995-2004	1978-1990/ 1995-2004	1978-2004	1996-2004	1996-2004	1996-2004
Enero	28,2	145,41	32,2	21,8	27,0	70,2	6,6	11,5	1,9
Febrero	75,6	130,9	32,8	22,3	27,5	68,5	6,0	11,5	2,2
Marzo	156,8	117,5	32,1	22,4	26,9	72,4	3,9	9,3	1,8
Abril	364,1	101,0	30,5	22,1	25,7	81,6	3,9	8,3	1,7
Mayo	440,9	99,9	29,7	21,7	25,1	84,9	4,3	7,9	1,6
Junio	401,0	89,1	28,7	21,2	24,5	85,0	4,1	7,3	1,6
Julio	294,7	89,2	28,7	21,0	24,2	84,1	4,6	7,0	1,6
Agosto	251,5	114,8	29,6	21,0	24,7	82,5	5,2	9,1	1,7
Septiembre	259,0	111,9	30,2	21,3	25,3	81,4	5,1	9,1	1,4
Octubre	322,0	117,9	30,5	21,5	25,6	81,9	5,5	9,3	1,4
Noviembre	224,3	117,2	30,6	21,8	26,1	78,6	6,1	9,6	1,5
Diciembre	99,6	121,7	31,0	21,7	24,8	77,6	6,2	9,6	1,4
Totales	2917	1356	361,2	260,4	307,2	949,2	61,5	109,5	19,8

* Los datos de precipitación y evaporación corresponden a promedio de 19 años.

Evaluación del déficit hídrico

Se llevó el registro de la precipitación de finales de época lluviosa del año 2002 (mes de noviembre), hasta la temporada lluviosa (abril) del año 2003. Posteriormente se calcularon los requerimientos hídricos semanales para los cítricos en el C.I. La Libertad y se comparó con la precipitación caída en cada semana. En este periodo también se tomaron muestras de suelos cada quince días para monitorear el porcentaje de humedad a dos profundidades: 0 a 10 cm y 10 a 20 cm; estas muestras se tomaron con barreno en el área externa del área de plateau de los árboles. Los muestreos se iniciaron el 29 de noviembre y se terminaron el 14 de marzo. Las muestras se llevaron al laboratorio de física de suelos, en donde se tomó el peso en húmedo, luego se colocaron en la estufa de 105 °C por 24 horas hasta completar la desecación, obteniéndose de esta forma el peso seco de la muestra (método ponderal). Luego se determinó el porcentaje de humedad de la muestra mediante la fórmula:

$$\text{Porcentaje de humedad del suelo} = (\text{Peso de muestra húmeda} - \text{peso de muestra seca}) / \text{Peso de muestra seca} \times 100$$

Con el fin de determinar la cantidad de agua utilizable en el horizonte A del suelo del cultivo en estudio, se determinó en porcentaje de humedad el punto de capacidad de campo

(CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), siguiendo la metodología de determinación de la curva hidrofísica característica, utilizando platos y ollas a presión, en el laboratorio de física de suelos del C.I. La Libertad.

Estados fenológicos en la floración

Se seleccionaron tres árboles de mandarina 'Arrayana' injertada sobre el patrón Cleopatra y se marcaron de forma aleatoria en cada uno 10 botones florales que en promedio tuvieron un diámetro de 0,48 cm y una longitud de 0,54 cm. Se realizaron observaciones diarias a las 30 estructuras reproductivas, registrando el estado fenológico en que se encontraban utilizando la escala que BBCH (Agustí *et al.*, 1995). Esta escala presenta características numéricas para cada estadio, es universal y puede ser homologada con otras especies. La escala presenta 10 estadios principales y para los cítricos inicia con el estadio 1 de desarrollo de las hojas, el de los brotes es el 3, el 5 es el desarrollo de las flores, el 6 es de la floración, el desarrollo del fruto es el 7, el 8 es de la maduración del fruto y el 9 de inicio del reposo. Los estadios secundarios también se numeran del 0 al 9 corresponden a la proporción del avance del proceso o a estadios evolutivos dentro del mismo estadio principal. En los cítricos no se tienen en cuenta el estadio 2 sobre crecimiento del tallo, ni el desarrollo de las partes de cosecha que es el 4.

El estadio de la floración es el siguiente: 60, primeras flores abiertas; 61, comienza la floración (alrededor de 10% de flores abiertas); 65, floración plena (alrededor de 50% de flores abiertas y empiezan a caer los primeros pétalos); 67, las flores se marchitan (la mayoría de los pétalos están cayendo); 69, fin de la floración (han caído todos los pétalos).

Análisis de la información

Con los datos de precipitación se calcularon los requerimientos hídricos promedios mensuales para los cítricos y se generó la gráfica de balance hídrico para estos cultivos en las condiciones del C.I. La Libertad. Con la información de requerimientos hídricos y los registros de precipitación de la época seca de finales del año 2002 e inicios de 2003, se calculó el déficit hídrico del periodo. Se llevó un registro del comportamiento en crecimiento y desarrollo de la planta y su relación con la precipitación. Para el déficit hídrico en el suelos se graficó el porcentaje de humedad y las modificaciones quincenales del porcentaje de humedad del suelo durante la época seca.

Resultados y discusión

Requerimientos hídricos de los cultivos de cítricos (ET_c), en el piedemonte del Meta

Tomando los datos promedios mensuales del tanque de evaporación de la estación climatológica del C.I. La Libertad y reemplazando en la fórmula propuesta por FAO (2006), es: $ET_c = ET_0 \times K_c$; tomando un K_c de 0,75 para los meses húmedos y 0,8 para los meses secos, se obtienen los requerimientos hídricos mensuales para árboles adultos de cítricos (tabla 2).

Los requerimientos hídricos anuales de los cítricos en el piedemonte del Meta están alrededor de 1.046 mm al año, esta cantidad es cercana a la reportada por Koo (1963) para la toronja en condiciones de Florida (Estados Unidos), y puede ser un requerimiento típico para una región tropical húmeda. Los 1.046 mm corresponden al 77% de la evaporación anual que es de 1.357 mm, lo que comprueba la eficiencia de los árboles cítricos en el uso del agua. Los

mayores valores de ET_c se presentan en los meses de enero y febrero (116 y 105 mm), siendo 1,73 y 1,56 veces respectivamente que los meses con menor valor junio y julio que tienen 67 mm. Estos dos últimos meses están dentro de los cuatro más lluviosos del año y se presentan los menores niveles de radiación, de número de horas de brillo solar, los valores más bajos de temperatura media e intermedios para el recorrido de viento; lo anterior se traduce en menores niveles de energía, que explica los bajos niveles de evapotranspiración de las plantas en estos meses. Por el contrario, las mayores tasas de evapotranspiración se presentan en los meses secos (diciembre a febrero), los cuales presentan la mayor radiación de todo el año, la humedad relativa más baja y las temperaturas medias más altas (tabla 1).

Los valores de ET de los cítricos son menores que otros cultivos, debido a que son plantas que presentan una menor transpiración que otros cultivos, siendo especies capaces de economizar agua y superar prolongados periodos de sequía, lo que puede estar relacionado por una combinación de factores fisiológicos y anatómicos dentro de los que están la baja conductividad radical y estomática, y la profundidad del sistema radical (Davies y Albrigo, 1994; Agustí, 2003).

En la figura 1 se observa que en las condiciones climáticas del piedemonte del Meta la precipitación supera a la evapotranspiración del cultivo durante nueve meses del año. En los meses de mayo y junio, la precipitación llega a superar en más de cuatro veces los requerimientos hídricos de las plantas. Para contrarrestar el efecto desfavorable del exceso de precipitación, se han recomendado como suelos óptimos para el cultivo en el piedemonte llanero los de la terraza alta (clase IV en la clasificación regional), que poseen buen drenaje superficial y bajo nivel freático (Sánchez y González, 1988; Román y Owen, 1991); también el uso de coberturas vivas para disminuir las pérdidas de suelo por la erosión ocasionada por las altas precipitaciones (Orduz *et al.*, 2003). En estudios realizados para estos suelos se calcula que el 11,9% de la precipitación se pierde por escorrentía en suelos con cultivo (Almansa *et al.*, 2002); lo que puede ser el caso de los cítricos con coberturas vivas.

Tabla 2. Requerimientos hídricos mensuales de árboles adultos de cítricos en La Libertad. Villavicencio, Meta.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Σ
E_0^*	145	131	118	101	100	89	89	115	112	118	117	122	1.357
K_c	0,8	0,8	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,8	0,76
ET_c	116	105	89	76	75	67	67	86	84	89	94	98	1.046

* E_0 expresados en mm/mes.

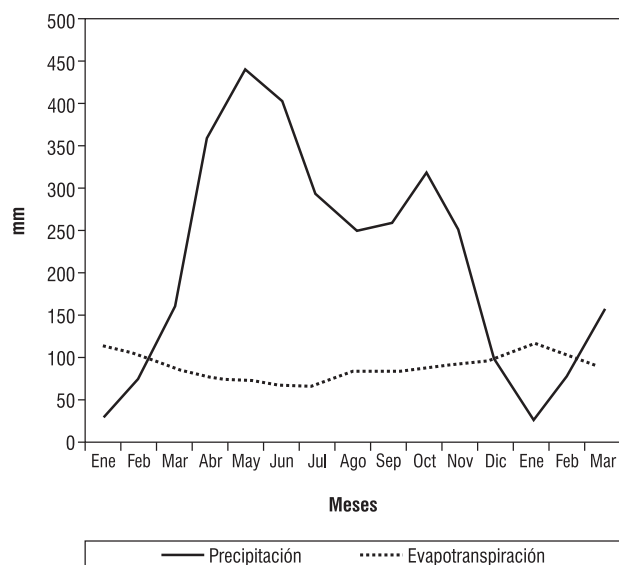


FIGURA 1. Balance hídrico entre la precipitación promedio anual y la evapotranspiración del cultivo de cítricos en el C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta.

Las plantas soportan el estrés hídrico durante tres meses del año, de diciembre a febrero, y al iniciarse las lluvias en marzo, las plantas recuperan su turgencia y reinician sus procesos de crecimiento y desarrollo, con la brotación vegetativa y el posterior desarrollo de la floración. Este periodo de estrés hídrico es importante al proporcionar las condiciones de inducción que dan origen a la principal floración del año en condiciones del piedemonte del Meta y, por tanto, es necesario profundizar en su conocimiento.

Déficit hídrico en la planta

En la figura 2 se presenta la información de la precipitación, y los requerimientos hídricos estimados del cultivo de 'Arrayana' desde la última semana de noviembre hasta la segunda semana de marzo. Se observa que el estrés hídrico se obtuvo en la primera semana de diciembre; posteriormente, en la tercera y cuarta semanas del mismo mes se contabilizaron 24 mm de precipitación. En enero no llovió; mientras que en la primera semana de febrero se contabilizaron 7,5 mm de precipitación (sin efectos observables en las plantas); finalmente, en la última semana de febrero se presentó una precipitación de 28,7 mm que inició el desarrollo de la brotación seguida de la floración dos semanas después. A partir de la información de la tabla 2, se calcula que entre el 29 de noviembre del año 2002 (última precipitación del invierno) y el 28 de febrero del año 2003 (precipitación de 28,7 mm), el requerimiento hídrico fue de 307 mm. A esta cifra se le resta la precipi-

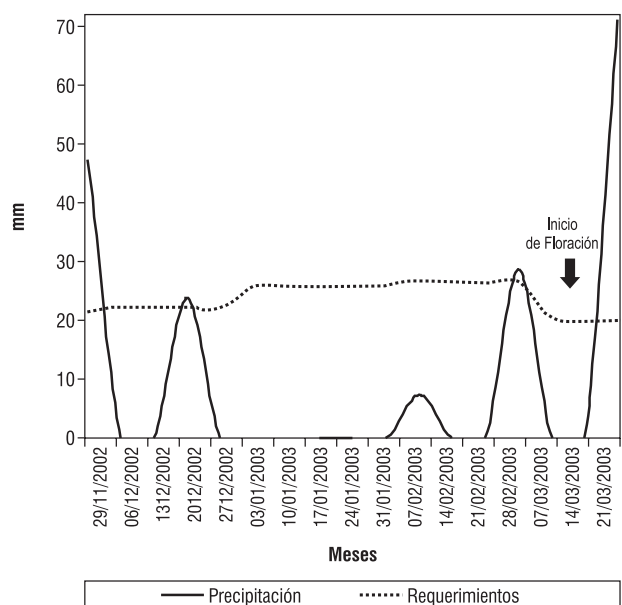


FIGURA 2. Requerimientos hídricos semanales de la mandarina 'Arrayana', precipitación y su relación con el comportamiento de la floración. C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta. Noviembre de 2002 a marzo de 2003.

tación del periodo que fue de 60 mm, lo que señala para el periodo en estudio un déficit hídrico de 247 mm. El requerimiento hídrico (307 mm) en los meses de verano (sin precipitación), señala que en esta época se presenta la mayor demanda hídrica mensual de las plantas en el transcurso del año, lo que ocasiona la completa detención del crecimiento vegetativo (foliar y probablemente radical), de las plantas de mandarina, siendo el principal requisito para la inducción floral en los cítricos en condiciones tropicales (Davenport, 1990).

Déficit hídrico en el suelo

En la figura 3 se presenta la información sobre la evolución del contenido de humedad del suelo en dos niveles: 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, y su evolución con el comportamiento de la precipitación desde el 15 de noviembre de 2002 al 28 de marzo de 2003. Durante el tiempo del estudio, la menor humedad la obtuvo el nivel superficial de suelo (0-10 cm), presentando las mayores pérdidas por evaporación.

La disminución de la precipitación en diciembre ocasionó un rápido descenso de los porcentajes de humedad en ambos niveles del suelo, llegando a finales del mes a tener 15% de humedad. Enero se comportó como un mes totalmente seco y ocasionó los mayores descensos de humedad, alcanzando entre 10 y 12% de humedad para ambos niveles del suelo evaluados. El porcentaje de humedad se recupera con la precipitación del 28 de febrero (28,7 mm), cae ligeramen-

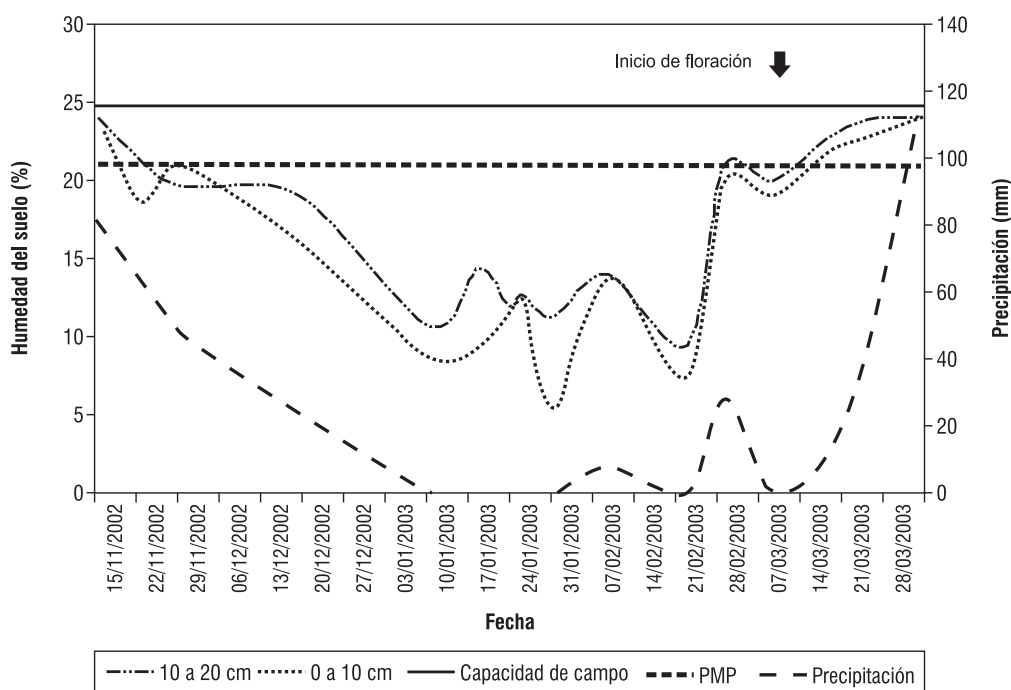


FIGURA 3. Comportamiento de la precipitación, su influencia sobre la humedad del suelo y sobre el agua disponible para la planta (CC – PMP), en suelos oxisoles de 0 a 20 cm de profundidad y su relación con la inducción y el desarrollo de la floración de la mandarina ‘Arrayana’. C.I. La Libertad. 2002-2003.

te al no continuar la precipitación y se recupera completamente con la llegada del invierno, a mediados de marzo.

La capacidad de campo (CC) del suelo donde se encuentra la mandarina ‘Arrayana’ se obtiene a los 24,5 % de humedad del suelo y el punto de marchitez permanente (PMP) a 21% de humedad. Lo anterior señala que el agua utilizable corresponde al 3,5% del agua contenida en el suelo (en los primeros 20 cm), por lo que estos suelos necesitan un permanente abastecimiento de agua como precipitación o riego para suplir los requerimientos de humedad del cultivo. El agua utilizable entre CC y PMP puede abastecer menos de tres días los requerimientos hídricos del cultivo, por lo que después de ese tiempo las raíces localizadas en los horizontes muestreados no pueden absorber agua y necesariamente deben detener su crecimiento. La capacidad de almacenamiento de agua en suelos oxisoles es escasa, Wolf (1975) señala que el agua disponible (CC–PMP), se debe calcular entre 0,1 y 1,5 bares, siendo el agua disponible en otros órdenes de suelos distintos de los oxisoles que están entre 0,3 y 15 bares (Mejía, 1976). En suelos oxisoles la toxicidad de Al y las deficiencias de Ca y P impiden el desarrollo profundo de las raíces y, por tanto, el aprovechamiento de la humedad almacenada en las capas profundas del perfil (Salinas y Valencia, 1983). Por lo que

las prácticas de aplicación de correctivos y fertilizantes son determinantes para el establecimiento de cultivos de cítricos en el piedemonte llanero (Ordúz y Baquero, 2003), para disminuir la influencia negativa de la acidez en el crecimiento radical.

De acuerdo con Castle (1987), los cítricos poseen dos sistemas de enraizamiento complementarios entre sí: a) un sistema superficial de raíces densas encargadas de la rápida absorción de agua y nutrientes, y b) un sistema de raíces que nacen en la corona y crecen más o menos en dirección vertical, y son las encargadas de superar condiciones severas de estrés hídrico que puedan afectar la planta, además de absorber los nutrientes que el sistema superficial no ha tomado. Observando el rápido descenso del agua utilizable por la planta después de iniciarse el verano (figura 3), es evidente que las raíces profundas ocupan un papel vital en el abastecimiento de agua de las plantas de cítricos en el piedemonte del Meta, y sin su aporte en la absorción de agua y nutrientes minerales las plantas no podían superar la temporada seca. Lo anterior señala la necesidad de buscar condiciones de suelo que permitan un apropiado desarrollo de las raíces profundas, como evitar impedimentos físicos o químicos que afecten su crecimiento; así como la selección de patrones con un buen desarrollo de estas raíces

en condiciones de suelos ácidos. Los mayores niveles de radiación en la región se reciben en el verano (tabla 1); por tanto, en esta época se pueden obtener las mayores tasas de captación de CO₂, siempre y cuando el sistema radical pueda proveer suficiente humedad para mantener las estomas abiertos, permitiendo altas tasas de fotosíntesis neta. La detención del crecimiento ocasionada por la ausencia de humedad en el verano permite la acumulación de reservas de carbohidratos (Syvertsen y Lloyd, 1994), que la planta almacena y van a estar disponibles cuando el crecimiento se reinicie al recibir condiciones favorables de humedad del suelo. Mayores tasas de fotosíntesis en la época seca pueden estar relacionadas con un mayor aumento de fotoasimilados y un probable aumento de productividad de las plantas de cítricos.

La floración se inició entre el 7 y el 14 de marzo del año 2003, 15 días después de la precipitación de 28,7 mm que se presentó el 28 de febrero; posteriormente se contabilizó un periodo sin precipitación de dos semanas lo que no impidió que el proceso de desarrollo floral continuara hasta la antesis y caída de pétalos en la tercera semana de marzo. Lo anterior indica que las plantas de mandarina responden a pocos milímetros de precipitación para la iniciación de la brotación vegetativa y de la floración, y el proceso no se detiene así se suspenda la precipitación en los días siguientes. La floración se inicia dos semanas después de haber recibido la hidratación de sus tejidos y antes de que el suelo haya alcanzado la capacidad de campo.

La duración del déficit hídrico durante el periodo de estudio fue de 90 días, tomando como referencia la precipitación y corroborado con los niveles de humedad del suelo. La manifestación de estrés hídrico en la planta es la de detener su crecimiento vegetativo, suspendiendo las brotaciones y el crecimiento radical. Durante este periodo de estrés se presentó la inducción floral, proceso en el cual se da la transición de las yemas de su condición vegetativa a reproductiva; mientras que la diferenciación implica cambios histológicos y morfológicos en los meristemas vegetativos para que lleguen a ser meristemas florales (Monselise, 1985; Davenport, 1990; Guardiola 1997). El proceso de inducción floral en condiciones tropicales estaría regulado por un factor externo que es el déficit hídrico y de forma interna puede estar influido por la disminución de los niveles endógenos de giberelinas y su transporte a la copa, debido a la detención del crecimiento radical, que junto con los frutos son los principales tejidos que sintetizan esta hormona (Monselise, 1985; Agustí, 2003). El papel inhibitorio de la floración por parte de las giberelinas se ha comprobado mediante la aplicación exógena de ácido

giberélico durante el periodo de inducción (Monselise y Halevy, 1964), y por la disminución de la floración por el fruto, mediante cosechas tardías en el subtropico (Guardiola, 1997). Además de los niveles de giberelinas, el proceso puede estar relacionado con otros factores o niveles de ellos como la nutrición mineral, los carbohidratos, el balance de hormonas y las relaciones hídricas (Davies y Albrigo, 2004). La influencia de estos factores y su interacción sobre el proceso de floración de los cítricos está pendiente de estudio en condiciones tropicales.

El periodo de estrés hídrico del verano en condiciones del piedemonte del Meta, origina la principal floración que es la responsable de la única cosecha comercial del año para la mandarina 'Arrayana' y es más del 90% de las flores producidas en este periodo (datos no publicados).

Desarrollo y fenología de la floración

En la figura 4 se presenta la duración de cada fase de la floración de la mandarina 'Arrayana' que se inició en la semana del 7 al 14 de marzo de 2003. Se realizó un conteo diario sobre inflorescencias marcadas previamente y se cuantificó la evolución diaria de la floración de la mandarina. La evaluación fenológica de la floración se inició el 10 de marzo de 2003.

Para la descripción de los estados fenológicos de la floración se utilizó la escala BBCH.

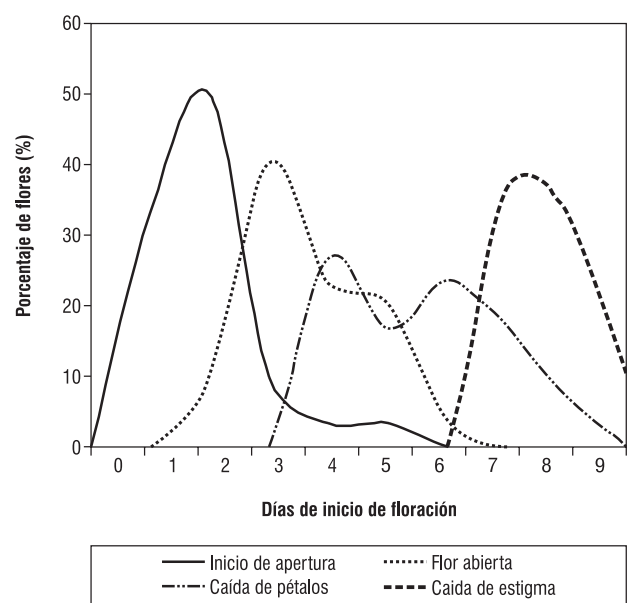


Figura 4. Estados fenológicos en la floración de mandarina 'Arrayana' en el C.I. La Libertad, Villavicencio, Meta. 2003.

La duración del proceso de desarrollo floral fue de 25 días, desde que se inició el proceso de hidratación de la planta con la precipitación de 28,5 mm (el 28 de febrero), hasta la finalización del proceso de floración con la caída total de pétalos el 25 de marzo. El rápido desarrollo del inicio de la brotación hasta la caída de pétalos está estrechamente ligado a las altas temperaturas medias (26-27,5 °C), que posee la región. Cassin *et al.* (1969), para varias regiones cítricas en el trópico, menciona que los cítricos florecen de 20 a 28 días después de una precipitación abundante, sin precisar a qué estado de la floración se refiere.

La duración del estado de floración desde el inicio de apertura de pétalos y la caída de los últimos pétalos (estadio 60 y 69 en la escala BBCH) presenta una duración de 9 días en el C.I. La Libertad; el mismo proceso para la mandarina Clementina de Nules en condiciones de Valencia (España); mientras las primeras flores permanecieron 35 días, las últimas cumplieron su ciclo en 17 días (Zaragoza *et al.*, 2001). La mayor duración en el Mediterráneo se explica por las temperaturas medias bajas al inicio de la primavera (12,3 y 14,9 °C en marzo y abril -IVIA, 2005-), y por la gradualidad en el desarrollo de las flores influida por este factor. El periodo total de la floración dura 40 a 50 días en el mediterráneo español (1.600 u.c. acumuladas al año) y menos de 2 semanas en el piedemonte del Meta (4.928 u.c.). Lo anterior demuestra la influencia de las altas temperaturas del trópico bajo, sobre la disminución de la duración de floración de la mandarina y su diferencia con el comportamiento del mismo proceso en condiciones subtropicales.

Conclusiones

- Los árboles adultos de cítricos requieren 1.046 mm de agua al año, que corresponde al 77% de la evaporación anual total que es de 1.357 mm en condiciones del C.I. La Libertad en el piedemonte del departamento del Meta.
- En condiciones del piedemonte del Meta, la precipitación supera a la evapotranspiración del cultivo durante nueve meses del año, que van de marzo a noviembre, mientras que de diciembre a febrero se presenta un periodo de estrés hídrico que detiene el crecimiento de las plantas.
- La mandarina 'Arrayana' presentó la principal floración completa después de un periodo de estrés hídrico de 90 días, acumulando un déficit de 247 mm, durante este tiempo.
- La brotación y la floración principal de la mandarina 'Arrayana' se inició al hidratarse la planta después de

una precipitación de 28,7 mm y antes de que el suelo llegara a la condición de capacidad de campo de forma permanente. La floración se inicia dos semanas después de la precipitación que desencadena el proceso, en la tercera semana se presenta la antesis (apertura de las flores), y finaliza entre la tercera a cuarta semanas con la caída de pétalos y del estigma.

- Con la llegada del verano se ocasiona una disminución en el contenido de humedad del suelo de 0 a 20 cm por debajo del punto de marchitez una semana después de la última precipitación, lo que ocasiona un severo estrés hídrico al sistema radical superficial de la planta, obligándola a depender del abastecimiento de agua y de nutrientes minerales del sistema radical ubicado a mayor profundidad para sus procesos metabólicos.
- Se desconoce qué factores endógenos y su interacción están relacionados con la inducción floral ocasionada por el estrés hídrico en condiciones tropicales.
- La escala BBCH propuesta por Agustí *et al.* (1995), es apropiada para la descripción cualitativa de la floración de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte del Meta.
- Las altas temperaturas medias presentes en el piedemonte llanero influyen sobre el rápido desenvolvimiento de las yemas desde su situación de reposo a la formación de yemas vegetativas y reproductivas. La floración desde la apertura de pétalos a caída de los mismos (60 a 69 en la escala BBCH) tarda 9 días, mientras que en el Mediterráneo español las flores realizan el mismo proceso entre 17 a 35 días, dependiendo de la temperatura media de la primavera en la época de aparición de la flor.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración prestada para la realización de este trabajo de los señores Heberth Velásquez, Capitolino Ciprian, Orlando Jara y Hernán Monroy; de la misma forma, al personal directivo y administrativo del C.I. La Libertad de Corpoica.

Literatura citada

- Agustí, M. 2003. Citricultura. Editorial Mundi-Prensa, Madrid. 422 p.
- Agustí, M., S. Zaragoza, H. Bleiholder, L. Buhr, H. Hack, R. Klose y R. Stauss. 1995. Escala BBCH para la descripción de los estados fenológicos del desarrollo de los agrinos (género *Citrus*). Revista Levante Agrícola 332, 189-199.

- Almansa, E., O. Arguello, J. Ramírez, J.E. Burgos y F. Obando. 2002. La erosión hídrica laminar en suelos de la Orinoquía colombiana. pp. 72. En: Memorias X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
- Cassin, J., J. Bourdeaut, J. Fougue, V. Furan, J.P. Galliard, J. Le-Bourdelles, G. Montagut y C. Moreuil. 1969. The influence of climate upon the blooming of citrus in tropical areas. Proc. Intl. Soc. Citricult. 1, 315-399.
- Castle, W.S. 1987. Citrus rootstocks. Pp. 361-369. En: Rom R.C., y R.C. Carlson, (eds.). Rootstocks for fruit crops. Jhon Wiley and Sons, Nueva York.
- Davenport, T.L. 1990. Citrus flowering. Hort. Rev. 12, 349-408.
- Davies, F.S. 1997. An overview of climatic effects on citrus flowering and fruit quality in various parts of the world. Pp. 1-4. En: Proceedings of Citrus flowering and fruit short course. IFAS. Citrus Research and Education Center, University of Florida.
- Davies, F.S. y L.G. Albrigo. 1994. Citrus. CAB International, Wallingford, U.K. 254 p.
- FAO. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Bol. No. 24, Roma.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Bol. No. 56, Roma.
- Guardiola, J.L. 1997. Overview of flower bud induction, flowering and fruit set. pp. 5-21. En: Proceedings of Citrus Flowering and Fruit short course. IFAS. Citrus Research and Education Center, University of Florida.
- Hilgeman, R.H. 1977. Response of citrus trees to water stress in Arizona. Proc. Intl. Soc. Citricult. 1, 70-74.
- IDEAM. 1997. Balance hídrico climático de las estaciones aeropuerto Vanguardia, Barranca de Upia, Carimagua, Lejanías y Villavicencio.
- IVIA. 2005. Registros climáticos. Valencia.
- Koo, R.C.J. 1963. Effects of frequency of irrigation on yield of orange and grapefruit. Proc. Florida State Hort. Soc. 76, 1-5.
- Mejía L. 1996. Génesis y características de los oxisoles y suelos oxicos de los Llanos Orientales de Colombia y su relación con la fertilidad. Suelos Ecuatoriales 26(1), 7-34.
- Monselise, S.P. 1985. Citrus and related species. pp. 275-294. En: Halevy, A.H. (ed.). Handbook of fruit set and flowering. Vol. II. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Monselise, S.P. y A.H. Halevy. 1964. Chemical inhibition and promotion of citrus flower bud induction. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84, 141-146.
- Orduz, J. y J. Baquero. 2003. Aspectos básicos para el cultivo de los cítricos en el piedemonte llanero. Revista Achagua 7(9), 7-19.
- Orduz, J., S. Caicedo, A. Rincón y H. Velásquez. 2003. Uso y manejo del maní forrajero como cobertura viva en plantaciones de cítricos. Revista Achagua 7(9), 33-37.
- Orduz, J. 2007. Estudios ecofisiológicos y caracterización morfológica y molecular de la mandarina 'Arrayana' (*Citrus reticulata* Blanco) en el piedemonte llanero de Colombia. Tesis doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Roman, C. y E. Owen. 1991. Zonificación de los principales frutales en el piedemonte del departamento del Meta. Revista Siall 8(1), 16-21.
- Reuther, W. 1973. Climate and citrus behavior. pp. 281-337. En: Reuther W., L.D. Batchelor y H.J. Webber (eds.). Citrus industry. Vol. 3. University of California, Div. Agr. Sci., California.
- Reuther, W. y D. Ríos-Castaño. 1969. Comparison of growth, maturation and composition of citrus fruit in subtropical California and tropical Colombia. Proc. First Intl. Citrus Symp. 3, 277-300.
- Salinas, J. y C. Valencia. 1993. Oxisoles y Ultisoles en América tropical. I. Distribución, Importancia y propiedades físicas. Guía de estudio. CIAT, Cali.
- Sánchez, L.F. y F. González. 1989. Una aproximación sobre el presente y el futuro de la Orinoquía colombiana. Revista Siall 6(2), 39-49.
- Southwick, S.M. y T.L. Davenport. 1986. Characterization of water stress and low temperature effects on floral induction in citrus. Plant. Physiol. 8, 26-29.
- Syvertsen, J.P. y J.J. Lloyd. 1994. Citrus. Pp. 65-99. En: Schaffer, B. y P.C. Andersen. (eds.). Environmental physiology of fruit crops. Vol. II. Subtropical and tropical crops. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Van Bavel, C.H., M. Newman y R.H. Hilgeman. 1967. Climate and estimated water use by and orange orchard. Agric. Meteorol. 4, 27-37.
- Wolf, J.M. 1975. Soil water relationships in oxisoles of Puerto Rico and Brasil. pp. 145-153. En: Bornemiza E. y A. Alvarado. (eds.). Soil Management in tropical Latin America. N.C. State University at Raleigh.
- Zaragoza, S., A. Medina, J. Pina y L. Navarro. 2001. Descripción y comportamiento agronómico de las variedades Orogrande y Clemenules en el banco de germoplasma del IVIA. Revista Levante Agrícola 355, 359-367.