

Estrategias de Irrigación en Mango
Una Revisión de la Literatura e Identificación de Futuras Necesidades de
Investigación

PREPARADO POR EL
DR. A.G. LEVIN*
PARA
EL NATIONAL MANGO BOARD

*Northern R&D-, Migal, Galilee Technology Center, P.O.Box 831, Kiryat' Shmona
11016, Israel.

adolfolevin@gmail.com

Noviembre 2016

Tabla de contenido

RESUMEN EJECUTIVO

A. INTRODUCCIÓN

B. ANTECEDENTES

C. OBJETIVOS

D. METODOLOGÍA

E. RIEGO EN MANGO: PRINCIPALES INVESTIGACIONES REALIZADAS ALREDEDOR DEL MUNDO

1. Principales estrategias de riego evaluadas en el cultivo del Mango en el mundo y su impacto en el desarrollo de los frutos, crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad
2. Riego Deficitario Controlado (RDI), Secado Parcial de la Rizófera (PRD) y Riego Sostenido Deficitario (SDI)
3. Respuesta de mango a RDI, PRD y SDI en diferentes etapas fenológicas
 - a. Crecimiento vegetativo de Post-cosecha
 1. Respuesta de la producción y el crecimiento vegetativo a diferentes estrategias de riego durante el periodo post-cosecha (PC).
 - b. Floración
 - c. Cuajado de frutos
 - d. Principal período de crecimiento del fruto (MFG-cuajado de frutas a endurecimiento de carozo)
 - e. Crecimiento final del fruto (FFG- endurecimiento del carozo-cosecha).
4. La calidad del agua

F. INVESTIGACIÓN SOBRE ESTRATEGIAS DE RIEGO EVALUADAS EN MANGO EN LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA

- a. Brasil
- b. Ecuador
- c. Guatemala
- d. México
- e. Perú

G. FERTILIZACIÓN EN MANGO, INVESTIGACIONES ALREDEDOR DEL MUNDO, EN GENERAL, Y EN LOS PAÍSES LATINIAMERICANOS, EN PARTICULAR

a. Fertilización convencional

b. La fertilización orgánica

H. DISCUSIÓN

I. CONCLUSIONES

J. RECOMENDACIONES

K. AGRADECIMIENTOS

L. LITERATURA CITADA

RESUMEN EJECUTIVO

Los mangos son producidos en más de 90 países de todo el mundo. Entre 1996 y 2005, la producción creció a una tasa promedio anual de 2.6%. El principal productor de mango es la India con 38.6% de la producción mundial entre los años 2003-2005%, a demás México ocupa el cuarto lugar con 5,5% y Brasil en el séptimo lugar con un 4.3% (Evans, 2008). En términos de distribución, México, Brasil, Perú, Ecuador, Haití y Guatemala suministran la mayoría de las importaciones de mango para el mercado norteamericano.

Las variedades de mango más populares exportadas a los EE.UU. son Kent, Tommy Atkins, Haden, y Keitt. Son frutas con mejillas rojizas, y de reducida o no existente fibrosidad, más firme y más adecuados para el transporte de larga distancia que otras variedades. En los últimos años, la variedad Ataulfo ha ido ganando popularidad en el mercado de los EE.UU., principalmente en el seno de la población de América Latina. El aumento de la producción, con respecto a la cantidad y la calidad, así como reducir la alternancia en la producción, promoverá una mayor estabilidad de la cadena de suministro al mercado, garantizando productos de mayor calidad y una mejor rentabilidad para los productores de mango en los principales países exportadores de mango a los EE.UU.

El autor ha intentado presentar los principales resultados de los principales estudios científicos realizados en mango en el mundo en general y en América Latina en particular. Esta información puede ser útil para la planificación de las actividades de investigación y extensión en este campo y/o a aquellos con necesidad de información sobre las necesidades de agua para la producción de mango en países exportadores de mango a los EE.UU.

Los estudios sobre el uso del agua de riego y estrategias evaluadas en mango han cubierto un importante número de regiones del mundo. Sin embargo, el número de estudios realizados en mango con relación a las necesidades de agua y fertilizante bajo condiciones de cultivo predominante en los países productores de América Latina es bastante limitada.

La cantidad de agua dulce disponible para uso agrícola está disminuyendo en todo el mundo. El cambio climático augura un futuro aumento de la aridez y en la frecuencia

de fenómenos extremos, tales como la reducción de las precipitaciones, aumentando los períodos de sequía y altas temperaturas, en muchas regiones del mundo. Además, el cambio climático global introduce incertidumbre acerca de la distribución de la precipitación espacio temporales. Esta situación lleva a una creciente demanda de agua para riego y puede causar muchos problemas socioeconómicos graves, reduciendo el rendimiento de los cultivos, limitando la sostenibilidad de los cultivos de regadío, y aumentando el costo del agua de riego. Por lo tanto, la adopción de estrategias de ahorro de agua en la agricultura es cada vez más crítica.

El mango es considerado un cultivo resistente a la sequía y exhibe algunas características adaptativas que confieren tolerancia a la sequía, como la profundidad del sistema de raíces pivotantes (longevas), hojas duras con gruesas cutículas y conductos de resina para reducir el marchitamiento prematuro. Estos mecanismos adaptativos aumentan su capacidad para sobrevivir en épocas de sequía, mientras que la irrigación es necesaria durante toda la temporada seca para asegurar la producción comercial.

Una estrategia de riego deficitario puede implementarse de varias maneras, que difieren principalmente en la distribución de tasas de riego a lo largo de la temporada. En particular, el riego deficitario sostenido (SDI), el cual se basa en una restricción de agua uniforme, dependiendo de las necesidades de agua de cultivo, que puede ser aplicado en períodos fenológicos menos sensibles con respecto a la producción. El Riego Deficitario Controlado (RDI) requiere que el estado de las aguas se mantenga dentro de un estrecho rango de tolerancia. Respuesta de cultivos a RDI depende de los plazos y la gravedad de los déficits hídricos, con diferencias significativas entre especies.

Las necesidades de riego del mango no se han investigado adecuadamente, y muy pocos estudios se han realizado sobre estrategias de RDI en diferentes etapas fenológicas. Estos estudios se han centrado principalmente en el desarrollo de estrategias de riego para todo el período de fructificación como un todo, en lugar de evaluar diferentes estrategias de agua en diferentes períodos fenológicos. Los primeros informes realizados en el siglo anterior ya demostraron la importancia de la irrigación para el mango. Los estudios más recientes sobre el riego en el mango se centraron principalmente en el desarrollo de diferentes estrategias de riego para ahorrar agua y aumentar la eficiencia del uso del agua, en lugar de la maximización de la producción de cultivos.

Las demandas de nutrientes de mango, expresado como los importes acumulados de los elementos encontrados en los distintos órganos vegetales, varían de acuerdo a factores tales como el genotipo, el suelo, el clima, la presencia de riego, calidad del agua, sanidad vegetal, etapas fenológicas y la carga esperada de cosecha. La importancia de la fertilización en mango para la producción comercial ha sido destacada por varios autores, sin embargo, no existen recomendaciones claras en la literatura científica para una estrategia de fertilizante para mango bajo las distintas condiciones de cultivo, en relación a clima, características físicas y químicas de cultivo, nivel de producción, plagas y enfermedades, etc.

Los principales objetivos de esta revisión fueron:

1. Evaluar los resultados de la literatura relacionada con las diferentes estrategias de riego que han sido evaluadas en el pasado y presente en el cultivo de mango y su impacto en la cantidad y calidad de fruta en el corto, mediano y largo plazo y sobre el impacto en la alternancia en la producción de los árboles de mango.
2. Identificar las necesidades de investigación futuras para mejorar la cantidad y calidad de la producción de frutas, reducir la alternancia en la producción y mejorar significativamente la eficiencia del uso del agua para las principales variedades importadas por EE.UU.

Según la literatura evaluada, el impacto de diferentes estrategias de riego en los principales parámetros productivos como tamaño de fruto, número de frutos por árbol, rendimiento, crecimiento vegetativo y alternancia en la producción se puede resumir de la siguiente manera:

El peso del fruto:

El impacto del riego en el peso del fruto parece ser más dramático en la etapa final del crecimiento del fruto (FFG) (expansión celular), en lugar de la primera etapa fenológica del crecimiento del fruto (MFG) (división celular).

El número de frutos:

En general, el riego aplicado durante los períodos del cuajado de fruto y MFG ha promovido una mayor retención de frutos que fue posteriormente reflejado en la cosecha.

El crecimiento vegetativo y rendimiento:

La producción de mango está mejor correlacionada con la cantidad de fruta que con el peso de los frutos. Como los mangos son un cultivo perenne, el traspaso de los efectos de las prácticas de gestión de una temporada a otra son importantes en el mediano y largo plazo y tendrán un impacto en la producción. El mango, produce su cosecha principalmente en el crecimiento vegetativo del año anterior (o temporada).

Las prácticas de riego deficitario han reducido el crecimiento vegetativo en una serie de frutales incluyendo el mango. Reportes contradictorios sobre el impacto de las diferentes estrategias de riego sobre el rendimiento de mango pueden ser encontrados en la literatura científica. Aunque algunos informes indican un impacto positivo de estrategias de riego deficitario controlado en el rendimiento, y como consecuencia de la eficiencia en el uso del agua (WUE), otros reportes indican un impacto negativo de estas estrategias sobre el rendimiento, pero no necesariamente en la WUE.

Alternancia en la producción

Alternancia en la producción (también llamado producción bienal) es la tendencia de un árbol frutal para producir una gran producción (cosecha) seguido por una producción ligera o ninguna (off-año de cosecha). Alternancia en la producción puede ser un problema importante en la producción de mango, especialmente en las regiones subtropicales. Un número de estudios han demostrado que el rendimiento en los árboles de mango se ve afectada por el régimen de riego. Sin embargo, hay pocos, si alguno, estudios a largo plazo (cinco o más temporadas) que han evaluado el impacto de diferentes regímenes de riego sobre la alternancia de la producción en mango.

Aunque un gran número de estudios se han realizados en mango con respecto a las necesidades de agua del cultivo y diferentes estrategias de ahorro de agua, no hay un claro consenso entre los investigadores sobre el tema. Con respecto a la cosecha, la amplia gama de las condiciones climáticas y de suelos en que se cultiva el mango, por ejemplo, dificulta los esfuerzos para desarrollar un protocolo de irrigación que podrían ser ampliamente aplicables. Además, el gran número de diferentes variedades

de mango en todo el mundo, con gran variación en las características genéticas y las consiguientes respuestas a las condiciones ambientales y las prácticas agrícolas, hacen esta tarea aún más difícil.

A. INTRODUCCIÓN

Los mangos son producidos en más de 90 países de todo el mundo. Asia representa aproximadamente el 77% de la producción mundial de mango, mientras que América y África representan aproximadamente el 13% y 9%, respectivamente (FAOSTAT, 2007). En 2005, la producción mundial de mango fue estimada en 28.51 millones de toneladas métricas. Entre 1996 y 2005, la producción creció a una tasa promedio anual de 2.6% (Evans, 2008). México y Brasil se encuentran entre los diez principales productores de mango durante los años 2003 - 2005 ocupando el cuarto y séptimo lugar respectivamente con 5.5% y 4.3% de la producción mundial (FAOSTAT, 2007). En términos de distribución, México, Brasil, Perú, Ecuador, Haití y Guatemala (Galán Saúco, 2004) suministran la mayor parte de las importaciones de mango para el mercado norteamericano.

Las variedades de mango más populares exportadas a los EE.UU. son Kent, Tommy Atkins, Haden, y Keitt. Son frutas con mejillas rojizas, y de reducida o no existente fibrosidad, más firme y más adecuados para el transporte de larga distancia que otros var.es (Galán Saúco, 2004). En los últimos años, la var. Ataulfo ha ido ganando popularidad en el mercado de los EE.UU. (Dr. Leonardo Ortega, NMB, comunicación personal).

Aunque la mayoría de los var.es de mango comercializados en EE.UU. han sido desarrolladas en Florida, este país no es un importante productor de mango. La producción de mango en EE.UU. se mantiene bastante estable, en poco menos de 3.000 toneladas métricas por año. Sin embargo, EE.UU. es el principal importador mundial de mangos frescos, representando el 32,7% del total de las importaciones durante los años 2003 - 2005 (FAOSTAT, 2007). Durante los últimos cinco años, Brasil, Perú y Ecuador se han convertido en importantes exportadores a EE.UU., compitiendo con México al principio y al final de la temporada.

En general, el promedio de producción de mango por hectárea en los principales países latinoamericanos que exportan a los EE.UU. no exceda de 12 t ha⁻¹, salvo en el caso de Brasil. El aumento de la producción en cuanto a cantidad y calidad, así como la reducción de la alternancia en la producción, promoverá una mayor estabilidad de la cadena de suministro de mango al mercado, garantizando un producto de mayor calidad y una mejor rentabilidad para los productores de mango en los

principales países exportadores de mango a los EE.UU. Mejor calidad y una cadena de suministro más estable significa mejores condiciones para el consumidor americano con opciones de consumo más amplio. Ambos factores pueden aumentar significativamente el consumo de mango en América del Norte. Una amplia revisión de la literatura se ha realizado para identificar las principales áreas de investigación futura que podrían ayudar en el desarrollo de estrategias de riego adecuadas en los principales países proveedores de mango a los EE.UU. Esta revisión intenta identificar a las necesidades de los productores y de sus factores limitantes (es decir, los limitados recursos de agua, la calidad del agua, tipo de suelo, etc...) con el fin de entregar productos de calidad superior en una forma sostenible para los consumidores ha sido llevada a cabo.

En esta revisión, el autor ha intentado presentar los principales resultados de los principales estudios científicos realizados en mango en todo el mundo, en general, y en América Latina, en particular. Esta información puede ser útil para la planificación de las actividades de investigación y extensión en este campo y/o a aquellos en necesidad de información sobre las necesidades de agua para la producción de mango en los países que exportan a los EE.UU. Los estudios sobre el uso del agua de riego en mango han examinado una serie de variables o factores importantes en todo el mundo, incluyendo (pero no limitado a) determinar:

- cese de riego pre-cosecha y temporada con un volumen reducido de aplicaciones en calidad de fruta.
- efectos de riego en diferentes períodos fenológicos, incluso antes de la floración, y los efectos del riego en la pre-floración floración en árboles que han recibido tratamientos de promoción o inducción floral.
- el efecto de la edad, la temporada y variedad en el uso del agua determinado por el uso de metodologías de medición del “sapflow”.
- efectos de diferentes programas de riego sobre la eficiencia del uso del agua para riego.
- los efectos de las prácticas de irrigación entre los agricultores de mango.

En contraste, el número de estudios realizados sobre las necesidades de agua y fertilizante en mango en los países de América Latina es bastante a excesivamente limitado.

B. ANTECEDENTES

La cantidad de agua dulce disponible para uso agrícola está disminuyendo en todo el mundo (Jurado y Vaux, 2005). La investigación sobre el cambio climático augura un futuro aumento de la aridez y en la frecuencia de fenómenos extremos, tales como la reducción de las precipitaciones, aumento de los períodos de sequía y altas temperaturas, en muchas regiones del mundo (IPCC, 2001). Además, el cambio climático global introduce incertidumbre sobre la distribución de la precipitación espaciotemporales (Durán Zuazo et al., 2011a). Esta situación lleva a una creciente demanda de agua para riego y puede causar muchos problemas socioeconómicos graves, reduciendo el rendimiento de los cultivos, limitando la sostenibilidad de los cultivos de regadío, y aumentando el costo del agua de riego. Por lo tanto, la adopción de estrategias de ahorro de agua en la agricultura es cada vez más crítica, especialmente en el caso de árboles frutales que requieren una cierta cantidad de irrigación para la supervivencia y donde los productores no tienen la opción de omitir una temporada cuando se prevé una escasez de agua, en contraste con los cultivos anuales. Esta situación ha estimulado el desarrollo y aplicación de diferentes tecnologías y estrategias de riego (como el riego deficitario controlado o el riego por goteo subterráneo) para ahorrar y aumentar la eficiencia del uso del agua (WUE) en cultivos bajo condiciones semiáridas, por ejemplo (Romero et al., 2004 a,b,c).

El mango es considerado un cultivo resistente a la sequía y exhibe algunas características adaptativas que confieren tolerancia a la sequía, como la profundidad de raíces pivotantes longevas, hojas duras con gruesas cutículas y conductos de resina para reducir el marchitamiento prematuro (Bally, 2006). Estos mecanismos adaptativos aumentan su capacidad para sobrevivir en épocas de sequía, mientras que la irrigación es necesaria durante toda la temporada seca para asegurar una producción comercial.

Una estrategia de riego deficitario puede implementarse de varias maneras, que difieren principalmente en la distribución de tasas de riego a lo largo de la temporada. El Déficit Sostenido de Riego (SDI) se basa en una restricción de agua uniforme, dependiendo de las necesidades de agua del cultivo, que pueden ser aplicados en períodos fenológicos menos sensibles con respecto a la producción. Este enfoque permite que el cultivo pueda adaptarse a la situación estresante.

En los últimos años, ha quedado claro que el mantenimiento de un ligero déficit de agua de la planta puede mejorar la partición de carbohidratos para las estructuras reproductivas tales como frutas y también controlar el excesivo crecimiento vegetativo (Chalmers et al., 1981), dando lugar a lo que se ha denominado por Chalmers et al. (1986) como "regulada" riego deficitario controlado (RDI). Riego deficitario controlado exitoso requiere mantener los niveles de agua dentro de un estrecho rango de tolerancia con el fin de obtener el máximo provecho de RDI por un lado y para evitar el exceso de estrés hídrico que tendrá como resultado una disminución en la producción de cultivos y/o calidad por el otro lado. La respuesta de los cultivos al RDI depende de los plazos y la gravedad de los déficits hídricos, con diferencias significativas entre especies (Fereres y Soriano, 2007). La mayoría de los estudios han demostrado que el estrés hídrico leve aplicado durante el período de lento crecimiento de la fruta podría controlar el excesivo crecimiento vegetativo y mantener o incluso aumentar el rendimiento de los cultivos. Estos incluyeron estudios sobre el melocotonero (*Prunus persica*) (Li et al., 1989; Williamson y Coston, 1990), Perales (*Pyrus communis*) (Mitchell et al. 1984; Brun et al., 1985a, 1985b; Chalmers et al., 1986; Mitchell et al., 1986, 1989), pera asiática (*Pyrus serotina*) (Caspari et al., 1994) y manzana (*Malus domestica*) (Irving y Drost, 1987). Además, el estrés hídrico aplicado después de la cosecha ha demostrado reducir el crecimiento vegetativo en durazno y nectarina de maduración precoz (Larson et al., 1988; Johnson et al., 1992; Naor et al., 2005). Por el contrario, en los cítricos, se ha demostrado que incluso un moderado estrés hídrico aplicado durante la fase I (es decir, la floración y el cuajado) normalmente compromete el rendimiento mediante el aumento de la caída de fruto durante el mes de Junio "June drop" (Doorenbos y Kassam, 1979; Ginestar y Castel, 1996; Romero et al. 2006; García-Tejero et al. 2010), mientras que las restricciones de agua aplicada durante la última fase de crecimiento del fruto y la maduración podría disminuir el rendimiento reduciendo el peso final del fruto (González-Altozano y Castel, 1999; Pérez-Pérez et al. 2009; García-Tejero et al. 2010).

Distintos niveles de producción afectan la necesidad de agua en frutales caducifolios (Naor, 2006) y en aceitunas (Naor et al., 2013). Árboles con frutas (sobre todo en años de alta producción) tienen mayor conductividad estomatal que los mismos árboles sin frutas (Hansen, 1971; Loveys and Kriedemann, 1974; Lenz, 1986; Downton et al.

1987). Naor et al., (2001) reportaron la disminución del potencial hídrico del tronco como resultado del nivel de producción (más fruto, más negativo el valor del potencial hídrico), sin embargo, otros estudios en manzana encontraron que la carga de la cosecha no afecta el potencial hídrico foliar (Erf y Proctor, 1987).

Las necesidades de riego del mango aún no han sido debidamente investigadas (Spreer et al., 2007), y se han realizado pocos estudios sobre estrategias de RDI. Estos estudios se han centrado principalmente en el desarrollo de estrategias de riego para todo el período de fructificación como un todo, en lugar de evaluar diferentes estrategias de agua en diferentes períodos fenológicos. Una de las razones principales para el relativamente pequeño número de estudios que se han realizado en relación a diferentes estrategias de riego en el mango, en comparación con otros árboles frutales, es probablemente el hecho de que la mayoría de las regiones productoras de mango de todo el mundo están en climas tropicales, donde la necesidad de riego es menor y/o principalmente de apoyo y se limita a la temporada seca.

Los primeros informes en el siglo anterior ya demostraron la importancia de la irrigación para el mango. Marloth (1947) reportó una reducción en el crecimiento vegetativo de la temporada actual, en la cual la producción del año siguiente se va a desarrollar, debido al estrés hídrico. Del mismo modo, Yan y Chen (1980) encontraron que el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis de árboles de mango en macetas disminuyó cuando el contenido de humedad del suelo había caído por debajo del 40%. Por el contrario, el desarrollo de la panícula, cuajado de frutos y el crecimiento de la fruta del mango, aumentaron con una adecuada humedad del suelo (Valmayor, 1962; Beutel, 1964; Young y Sauls, 1981). En Egipto, Azzouz y El-Nokrashyand Dahshan (1977) informó de que el número y el tamaño de la fruta del mango se incrementaron con el aumento de la frecuencia de riego. Estudios más recientes informaron tendencias similares. Schaffer et al. (1994) observó que la cantidad de fruta caída de árboles estresados hídricamente era significativamente mayor que de los árboles no estresados. Tahir et al. (2003) reportó que la sequía provocó una gran reducción en la aparición de nuevos crecimientos vegetativos en mango var. Langra durante el período de estrés. El número de hojas por rama, longitud y peso foliar, contenido de agua y crecimiento de la raíz también se redujeron debido a la sequía.

Los estudios más recientes sobre el riego en el mango se centraron principalmente en el desarrollo de diferentes estrategias de riego para ahorrar agua y aumentar WUE en lugar de en la maximización de la producción de la cosecha. de Acevedo et al. (2003) propone un progresivo coeficiente de cultivo (K_c), que van desde 0.4 (floración) a 0,8 (el crecimiento de la fruta) para calcular las necesidades de agua del cultivo. En un huerto de cuatro años de edad de la var. Kent, en África del Sur, Pavel y Villiers (2004) observó un ahorro del 37 - 52% en el uso del agua en tratamientos RDI comparados con el control, con una diferencia no significativa en la productividad. Spreer et al. (2007) informó de que, al aplicar el secado parcial de la zona de raíz (PRD) bajo las condiciones de producción en el norte de Tailandia es posible aumentar sustancialmente WUE en var. de mango Chok Anan, en comparación con el riego sin estrés, y al mismo tiempo aumentar significativamente el tamaño promedio de frutos. Durán Zuazo et al. (2011a), evaluó el impacto de la SDI en el crecimiento de los árboles, nutrición mineral, rendimiento y calidad de fruta de mango en España, más de tres años. Los tratamientos experimentales fueron SDI-1 (33% de la evapotranspiración calculada [ETc]), SDI-2 (50% de la ETc) y SDI-3 (75% de la ETc), y fueron comparados con un control (C-100) de regadío al 100% de la ETc. La SDI-2 tratamiento resultó en el mayor rendimiento (18,4 t·ha⁻¹) y la mejor WUE (7.14 kg·m⁻³). Sin embargo, la fruta fue significativamente mayor (más largos y anchos) en SDI-3 y el control.

Mostert y Hoffman (1997), en su estudio, concluyen que el requisito de agua para árboles de mango maduro bajo riego en óptimas condiciones de crecimiento de Sudáfrica fue de 11,976 m³ ha⁻¹/ año-1. Resultados similares (entre 10.500 y 11.500 m³ ha⁻¹/ año-1) fueron reportados por Levin et al. (2015 b) para árboles adultos de mango var. Keith en condiciones óptimas de riego en la región semiárida de Israel.

Fotografías "a" y "b" muestran los árboles de mango regados por gravedad/riego por surcos; imágenes "c", "d" y "e", muestran los árboles de mango regados por goteo.

C. OBJETIVOS:

1. Revisar la literatura del pasado y presente y los resultados de las diferentes estrategias de riego que han sido aplicados en el cultivo de mango y su impacto en la cantidad y calidad de fruta en el corto, mediano y largo plazo y sobre la alternancia de la producción de los árboles.
2. Determinar las futuras necesidades de investigación en el cultivo del mango, para mejorar la cantidad y calidad de la producción de frutas, reducir la alternancia en la producción y mejorar significativamente el uso eficiente del agua (WUE) para los principales cultivos exportados a los EE.UU. en los países productores de Latino América.

D. METODOLOGÍA:

Como primer paso se recolectó y revisó toda la información disponible sobre las estrategias de riego evaluadas en mango en el pasado y recientemente, tanto a nivel mundial como en los principales países de exportación al mercado de los EE.UU. y en las principales variedades exportadas a este mercado. En segundo lugar, se recomiendan pasadas y/o nuevas estrategias de riego que pueden ser pertinentes para su evaluación en algunos de los principales países exportadores. Además, se sugieren a socios potenciales en los países pertinentes para evaluar esas estrategias, un paso que es crucial para el éxito del proyecto.

E. RIEGO EN MANGO: RESULTADOS DE LAS PRINCIPALES INVESTIGACIONES REALIZADAS ALREDEDOR DEL MUNDO

1. Principales estrategias de riego evaluadas en el cultivo del Mango en el mundo y su impacto en el desarrollo de los frutos, crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad.

En los últimos 20 años, una serie de estrategias se han evaluado para mejorar el uso eficiente del agua (WUE) en la agricultura en general (Anon, 2002; Oster y Wichelns, 2003; Costa et al. 2007; Geerts y Raes, 2009) y en el mango en particular (Spreer et al. 2007, da Silva et al. 2009; Spreer et al. 2009 a,b; Durán-Zuazo, et al., 2011, Levin, et al., 2015). Una de las estrategias evaluadas ha sido "déficit" de regadío (DI). Esto es descrito como el mantenimiento del nivel de humedad del suelo por debajo de lo esperado en relación con el agua necesaria para satisfacer la evapotranspiración

(Costa et al., 2007; Geerts y Raes, 2009). La estrategia de DI puede lograrse mediante dos métodos diferentes: 1. Mediante la aplicación de agua en un déficit constante durante la temporada seca, o sobre una base complementaria si la irrigación se produce sólo durante un breve período, por ejemplo, durante la temporada de lluvias. Este método se define como 'riego sostenido deficitario controlado' (SDI) y se ha utilizado en estudios de mango, por ejemplo, aplicaciones de agua de 70%, 80% o 90% de la evapotranspiración (ET_o) a lo largo de la temporada de riego para coeficientes de cultivo de 0,75 o 0,8 (da Silva et al. 2009; Spreer et al. 2009 a,b). 2. Variando el grado de DI según los distintos estados fenológicos. Esto es descrito como riego deficitario controlado (RDI) (Costa et al. 2007) o como "estrés diferenciado por etapas fenológicas" (Geerts y Raes, 2009). Un ejemplo es cuando diferentes coeficientes de cultivo, aplicando volúmenes diferentes de agua al suelo, son utilizados para diferentes etapas fenológicas. Por ejemplo, en almendras, RDI fue aplicado al 50% de ET_o durante la fase de llenado del almendro, pero 100% de ET_o durante los períodos restantes (Egea et al., 2009). Alternativamente, diferentes factores o coeficientes pueden ser utilizados para distintos períodos. Este último método, aunque fue identificado como apropiado para los árboles de mango (de Azevedo et al., 2003), no ha sido suficientemente investigado. Esta estrategia requiere un amplio conocimiento de las necesidades de agua en cada una de las etapas fenológicas (Goodwin y Boland, 2002; Costa et al. 2007). En comparación, el SDI es más fácil de implementar y requiere menos información, pero no se adapta a los requisitos cambiantes del cultivo a través del tiempo (etapas fenológicas). Otro método de aplicación es el de secado parcial de la zona radicular "rootzone" (PRD), este método consiste en dividir las aplicaciones de agua desde uno de los lados del árbol de mango al otro lado, con una alternancia de secado de la zona radicular "rootzones" por tiempos constante (ej. Cada dos semanas se riega de forma alternante uno y otro lado del sistema radicular). Los volúmenes de aplicación o programación se aplican generalmente como riego deficitario. Este método ha recibido amplia atención, por ejemplo, en las uvas, en España (de la Hera et al., 2007), Australia (Dry et al. 1996; Dry and Loveys, 1998) y China (Du et al., 2008) y en otros cultivos frutales de alto valor (Costa et al. 2007). Sin embargo, un reciente análisis comparando la RDI y PRD, en un gran número de estudios en frutales, indicó que la estrategia del PRD sólo aumentó los rendimientos en promedio de ~5%, en comparación con la RDI (Sadras, 2009). También, mientras RDI usa los sistemas de riego existentes, el PRD requiere una configuración especializada de tuberías de riego y

probablemente una mayor inversión de capital en el sistema de riego. La pequeña diferencia en el rendimiento entre los tratamientos de riego RDI y el PRD no justifica la inversión adicional requerida para el PRD (Sadras, 2009). Una comparación de RDI y PRD en producción de mango no demostraron ninguna ventaja clara (Spreer et al. 2007). En el futuro habría la necesidad de evaluar las estrategias de RDI una vez que la necesidad de agua según los distintos estados fenológicos y/o los coeficientes de cultivo estén disponibles.

Ahora vamos a considerar los principales estudios realizados sobre mango utilizando los tres diferentes métodos de riego y su impacto sobre las principales variables de producción de cultivos: rendimiento, número de frutos, tamaño del fruto y el crecimiento vegetativo. La tabla 1 resume algunos de los principales estudios evaluando diferentes estrategias de riego en mango en todo el mundo, en general, y en América Latina en particular, y se propuso el mejor tratamiento según los resultados.

2. Riego deficitario controlado (RDI), secado parcial de la zona radicular “rootzone” (PRD) y riego sostenido deficitario controlado (SDI).

Aumento en uso eficiente del agua (WUE) en mango a través del uso de riego deficitario (DI) ha sido reportada por Pavel y de Villiers (2004) y Spreer et al. (2006), entre otros. Secado parcial de la zona radicular “PRD” está pensado para reducir el consumo de agua de las plantas mediante el aumento de la concentración de ácido abscísico (ABA) en la mitad de las raíces que no reciben agua. El aumento de la concentración de ABA controla la apertura de las estomas, reduciendo por lo tanto la transpiración de las hojas (Davies et al., 2000, 2002). Por lo tanto, la mitad del sistema radicular bien regado garantiza el mantenimiento del crecimiento de la fruta, mientras que el crecimiento vegetativo es reducido (Seco et al., 1995, 2000). Por el contrario, dos Santos et al. (2003), Gu et al. (2004) y Pudney y McCartney (2004) informaron de que la RDI, es decir, estrés hídrico uniformemente distribuido a todo el sistema radicular, podría lograr el mismo efecto beneficioso sobre el consumo de agua. La tercera estrategia evaluada en mango consiste en la aplicación de agua a un déficit constante a lo largo de la estación seca, o sobre una base suplementaria si el riego ocurre durante un período corto solamente, por ejemplo, durante la estación lluviosa. Este método se define como 'irrigación por déficit sostenido' (SDI) y se ha utilizado en estudios con mango, p. Sustituyendo la evapotranspiración del 70%, 80% o 90% (ET_o) a lo largo de la

temporada de riego para coeficientes de 0,75 o 0,8 (da Silva et al 2009, Spreer et al., 2009a, b).

3. Respuesta de mango a RDI, PRD y SDI en diferentes etapas fenológicas:

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes estrategias de riego sobre diferentes parámetros de producción o crecimiento del árbol, es necesario tener una clara definición de las etapas fenológicas durante el cual se aplican los distintos tratamientos de riego. Las etapas fenológicas de mango han sido propuestas por Cull (1991). Sin embargo, para fines de riego las siguientes etapas fenológicas pueden considerarse:

- a.** Crecimiento vegetativo de post-cosecha
- b.** Floración
- c.** Cuajado de fruto
- d.** Principal período de crecimiento del fruto (MFG-cuajado de fruto-endurecimiento del carozo)
- e.** Período final del desarrollo del fruto (FFG) (FFG- endurecimiento del carozo-cosecha).

El aumento del rendimiento debido al riego se debe normalmente a una mayor carga de cosecha (número de frutos), y no a un mayor tamaño del fruto (Pavel y de Villiers, 2004; Spreer et al., 2009 b).

- a.** Crecimiento vegetativo de post-cosecha

El crecimiento vegetativo en mango nunca es continuo, pero exhibe la quiescencia periódica (Chacko, 1986). Este patrón de crecimiento cíclico es generalmente llamado flujo, cada flujo termina cuando todas las hojas nuevas están completamente expandidas (Whiley, 1993). Uno de los primeros informes sobre el impacto de las cantidades de agua sobre el crecimiento vegetativo en mango fue hecho por Marloth (1947), quien observó una reducción en el crecimiento vegetativo en la temporada actual debido al estrés hídrico, en la cual, la cosecha de la temporada siguiente es soportado. Yan y Chen (1980) encontraron que el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis de árboles de mango en macetas se redujeron cuando el contenido de humedad del suelo era inferior al 40%. Tahir et al. (2003) informó una reducción significativa en el crecimiento vegetativo en un 46% en los árboles hídricamente estresados en comparación a aquellos no estresados. Resultados similares fueron

reportados por Levin et al. (2015 a,b) donde el crecimiento vegetativo post-cosecha (PC) en mango var. Keitt bajo condiciones de cultivo de Israel fue significativamente reducido por la aplicación de riego deficitario de un 50% con respecto al control (aplicación estándar de agua del productor), principalmente después de años de baja producción. Asimismo, la aplicación de agua reducida (RDI) durante el período final del desarrollo del fruto (FFG) tuvo un impacto significativo sobre el crecimiento vegetativo de post cosecha (PC), principalmente bajo altas cargas de fruto, aún si todos los árboles recibieron la misma cantidad de agua durante el período de (PC) (Levin et al. 2015b).

a. 1. Respuesta de la producción y el crecimiento vegetativo a diferentes estrategias de riego durante el periodo post-cosecha (PC).

Voy a comenzar esta sección señalando que los efectos de los tratamientos de riego sobre el rendimiento de los cultivos en el caso de atributos de post cosecha (PC) son esperados en la temporada posterior. Los siguientes resultados fueron reportados por Levin et al., 2015a, b en mango var. Keitt regado con diferentes cantidades de agua en diferentes etapas fenológicas, en este caso durante el PC período. Se evaluaron cuatro tratamientos durante este periodo, T-1, el tratamiento con el menor nivel de riego, hasta el tratamiento T-4, con la máxima cantidad de riego. El promedio de los valores del riego en los años de alta producción "ON" varió entre 2,8 mm y 5,4 mm por día en T-1 y T4, respectivamente; los valores de los K_c oscilaron entre 0,57 en T-1 a 1,09 en T-4; el riego anual varió entre 950 mm a 1067 mm en T-1 y T-4, respectivamente.

El rendimiento del cultivo en la parcela experimental en 2010, antes del inicio de los tratamientos de PC, fue ~50 t ha⁻¹. El número de frutos por árbol en 2011 fue ligeramente inferior (8% no significativo) en T-1 que en T-4. No obstante, el peso del fruto en T-4 fue significativamente mayor (30%; $F= 5.8525$; $p= 0.0068$) que en T-1. Por consiguiente, el rendimiento en T-4 aumentó significativamente en casi 40% ($F= 8.0784$; $P= 0,0017$) en comparación con el T-1 (62,8 y 87,0 t ha⁻¹ de T-1 y T-4, respectivamente). Cabe destacar que durante el 2011 todos los tratamientos fueron sometidos al mismo régimen de riego desde el comienzo de la temporada hasta la cosecha.

Durante el período de PC, hubo un aumento significativo ($F= 7.7947$; $P= 0,0002$) en el número de nuevos brotes vegetativos con el aumento de la irrigación con relación al

2010. Sin embargo, no se observó diferencia significativa en el largo de los brotes nuevos entre los tratamientos. En el otoño de 2011, después de un año altamente productivo (alrededor de 70 t ha⁻¹) no se observó diferencia significativa entre los tratamientos en el número de brotes nuevos o en su longitud. En el otoño de 2012, después de una cosecha muy ligera (alrededor de 15 t ha⁻¹), hubo un aumento significativo en el número ($F= 13.0963$; $P < 0,0001$) de nuevos flujos vegetativos y su longitud ($F= 11.3649$; $P < 0,0001$) con el aumento de la irrigación (T-4 y T-3 significativamente superiores a T-2 y T-1). En el otoño de 2012, 2013 y 2014, se evaluó el impacto de los diferentes niveles de riego durante el segundo período fenológico (endurecimiento del carozo-cosecha) sobre el crecimiento vegetativo de post-cosecha. En 2012, bajo condiciones de baja productividad, se observó una reducción (no significativa) en la fase de crecimiento vegetativo con el aumento de las cantidades de agua. Sin embargo, en 2013 y 2014, bajo condiciones de alta producción (69 and 75 T/ha⁻¹, respectivamente) hubo una correlación positiva entre el aumento de las cantidades de agua durante el período FFG y del crecimiento vegetativo de PC (significativo en 2013). Estos resultados se lograron a pesar de que la cantidad de agua aplicada durante el período de PC en estos árboles fue la misma para todos los tratamientos y T-4 tuvo una producción significativamente más alta durante estas temporadas con respecto a T-1.

Los agricultores han practicado DI durante décadas. En el pasado, DI se limitaba al período de post-cosecha principalmente, basado en la creencia de que el estrés hídrico no presenta problemas durante las etapas fenológicas cuando las frutas de los arboles están ausentes. Sin embargo, el mayor impacto del estrés hídrico en el nivel de producción de los arboles bajo condiciones de cultivo de israel (sub-tropical) fue durante el período post-cosecha, cuando mayor fue el nivel de estrés hídrico durante el período de PC mayor fue la merma de la producción durante la temporada siguiente, aun cuando el nivel de riego durante el periodo de floración hasta la cosecha, fue exactamente el mismo en todos los árboles de los diferentes tratamiento. No se han encontrados reportes científicos sobre el efecto de diferentes niveles de riego durante el período post-cosecha sobre el rendimiento de árboles de mango bajo condiciones tropicales o subtropicales. Según los resultados anteriores, variando los niveles de riego durante el período de PC tiene un fuerte efecto (positivo con el aumento del nivel de riego) sobre el crecimiento vegetativo otoñal en la producción de la temporada

siguiente. Sin embargo, dichos efectos pueden interactuar con la actual temporada de cosecha: cuanto menor es el nivel de producción en la temporada, más fuerte es la influencia de diferentes niveles de riego sobre el crecimiento vegetativo de post-cosecha y consecuentemente sobre el nivel de producción de la temporada siguiente. Un impacto similar sobre el crecimiento vegetativo de PC fue observado cuando distintos niveles de riego fueron aplicados durante la etapa final del crecimiento del fruto (FFG) donde mayor fue la cantidad de agua aplicada, mayor fue el crecimiento vegetativo de PC aún si durante el período de PC estos árboles recibieron la misma cantidad de agua y el nivel de producción fue significativamente más alto (Levin, 2015 a, b).

Entre otros factores que afectan fuertemente el crecimiento vegetativo otoñal bajo las condiciones de cultivo de Israel son las condiciones climáticas y la época de la cosecha. Una cosecha temprana seguida por una larga temporada de otoño más caliente puede permitir que el potencial de crecimiento vegetativo post-cosecha pueda ser alcanzado. Según los resultados de este estudio, el impacto principal del aumento de los niveles de riego durante el período de PC fue el aumento del número de nuevos brotes vegetativos. El aumento de la producción de nuevos brotes vegetativos del otoño puede influir en el rendimiento en la temporada siguiente; en este caso, el efecto principal fue el peso de la fruta en lugar del número de frutos. La cantidad de hojas o follaje por fruto aparentemente fue mayor en T-4 en comparación a T-1, lo que indica que la disponibilidad de carbohidratos podría ser mayor en T-4 en comparación a T-1. Estos resultados están en concordancia con estudios previos (Chacko et al., 1982; Lechaudel et al., 2002; Reddy y Singh, 1991), los cual reportaron una relación positiva entre el crecimiento de la fruta/tamaño y el número de hojas por fruto en mango cvs. Lirfa, Dashehari, Langra, ALPConso, Totapuri, y Kalapady Neelum.

b. Floración

La floración y el cuajado son las etapas fenológicas más críticas que van a determinar el nivel de producción de los árboles de mango. En la naturaleza, los árboles de mango pueden producir grandes cantidades de flores y pequeñas cantidades de frutos. Entender la floración de mango en los trópicos y subtrópicos es esencial para la utilización eficiente de los sistemas de manejo de cultivos tales como el riego y la gestión de la fertilización, la cual puede extender tanto la floración como la temporada

de producción (Chacko, 1991; Whiley et al., 1991) y garantizar un sistema sostenible de producción. Bajo condiciones subtropicales, temperaturas de 15°C o inferior promueven la floración de mango (Lu y Chacko, 2000), mientras que temperaturas cercanas a los 20°C, promueven el crecimiento vegetativo (Davenport y Nunez-Elisea, 1997). En los trópicos, donde las temperaturas diurnas pueden estar demasiado altas para la inducción floral, las noches frescas y un periodo seco anterior a la floración pueden ser necesarias para lograr una producción comercial (Chacko, 1986). No obstante, el efecto del estrés hídrico de las plantas sobre la respuesta a la floración sigue siendo motivo de controversia (Lu y Chacko, 2000).

Singh (1960) y Bally et al., (2000) reportaron que la morfogénesis floral se inició después de que las variedades de mango fueran expuestas a un prolongado periodo de estrés de agua en los trópicos de baja latitud. Sin embargo, según Ramírez y Davenport (2010) el estrés hídrico no induce la floración. Es la edad del último flujo vegetativo influenciado por la duración del estrés hídrico quien impulsa la floración. El estrés hídrico impide la iniciación de los brotes y mantiene los árboles en reposo hasta que la acumulación de edad en las hojas tiene lugar y los árboles florecen debido a la reducción dependiente de la edad del promotor vegetativo (VP) (Ramírez y Davenport, 2010). La edad de acumulación de los tallos es mayor en los árboles con estrés hídrico que en los árboles mantenidos en condiciones de buen riego, los cuales puede vegetar más intensa y frecuentemente (Davenport, 1993; Schaffer et al., 1994).

La respuesta de los árboles de mango al estrés hídrico durante el período de pre-floración puede depender de los cultivares, principalmente en condiciones tropicales. Lu y Chacko (2000) reportaron una respuesta diferente de los cvs. Nam Dok Mai, Irwin y Kensington Pride al estrés hídrico durante el período de pre-floración. Mientras cv. Nam Dok Mai no necesitaba un fuerte estímulo floral como el promovido por el estrés hídrico, cv. Irwin parecía tener el requisito más fuerte de estrés hídrico para la floración, incluso más que cv. Kensington Pride.

Núñez y Davenport (1994) informaron sobre un experimento llevado a cabo en Homestead, Florida, para determinar si el estrés hídrico induce la morfogénesis floral en el mango durante el mes de julio (temperaturas mínimas medias alrededor de 20° C no inductivas de floración) y octubre y noviembre donde las temperaturas mínimas son alrededor de 15 ° C, floral-inductivo) en cv. Tommy Atkins crecido en potes. El estrés

hídrico durante 35 días durante octubre avanzó la ruptura del brote floral por cerca de 2 semanas en casi el 40% de los brotes. En este experimento Nuñez y Davenport (1994a) concluyeron que las bajas temperaturas favorecen la inducción floral del mango, mientras que el estrés hídrico fomenta el crecimiento de las yemas florales inducidas. Levin et al. (2015 a, b) reportaron que cuanto es el estrés hídrico severo durante el período PC, resulta en el adelanto de la floración. Los árboles bajo tratamiento de riego deficitario (principalmente T-1) florecieron antes que los árboles que recibieron irrigación más abundante (T-3 o T-4, 50 and 75% más agua respectivamente). Sin embargo, los tratamientos no afectaron la intensidad de la floración. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por Cuevas et al. (2008) para el níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl.), donde el riego deficitario tuvo un efecto menor sobre la intensidad de la floración. Por el contrario, los árboles con estrés hídrico florecieron antes de los controles (entre 10 y 27 días, dependiendo del tratamiento). Sin embargo, Levin, et al. (2015 a, b) no observó ningún efecto sobre el tiempo de floración en los árboles pertenecientes al segundo período fenológico (endurecimiento del carozo-cosecha) como consecuencia de los diferentes niveles de riego aplicados en ese momento particular de la fenología.

c. Cuajado del fruto

La productividad del mango a lo largo de los trópicos y subtrópicos es relativamente baja en comparación con su potencial, debido principalmente a la caída severa de la fruta, especialmente durante el período de crecimiento inicial de 3-4 semanas después de la anthesis (Dahsham y Habib, 1985, Searle et al. 1995). El rendimiento depende del número de frutos que progresan a través de varias etapas de crecimiento y desarrollo, desde el cuajado inicial de la fruta hasta la madurez (Singh, et al., 2005). Los rendimientos de la fruta están deprimidos por los déficits hídricos durante los períodos críticos del ciclo reproductivo (floración, crecimiento y maduración de los frutos) que afectan la retención y el tamaño de los frutos (Léaudel y Joas, 2007).

Pongsomboon (1991) reportó que el estrés hídrico indujo una fuerte caída de fruta durante los primeros 30 días de desarrollo del fruto, pero no afectó la fotosíntesis de la fruta. De manera similar, Schaffer et al. (1994) informaron que la ausencia de frutas en los árboles aumento debido a un estrés severo por sequía. Larson et al. (1989) y Spreer et al. (2007) informaron que la caída de la fruta en el mango en una etapa temprana del

desarrollo se asoció con la baja humedad del suelo. Según Larson et al. (1989) y Spreer et al. (2007) se puede evitar una pérdida excesiva de fruta mediante un riego adecuado, particularmente durante la floración y las primeras seis semanas después de la puesta del fruto.

En un estudio realizado en la provincia de Son La en el norte de Vietnam, Roemer (2011) informó que en árboles de 10 años de cv. Hôi y cv. Tron, regada con microaspersores cada 4 días durante 2 h con una tasa de agua nominal de 120 L hora⁻¹ desde la plena floración (15 de febrero) hasta mediados de mayo al comienzo de la estación lluviosa y en árboles de control no irrigados, la caída estacional de la fruta fue significativamente afectada por el cultivar, sin embargo, el tratamiento de riego no tuvo efecto sobre el número final de frutos por inflorescencia. Levin et al. (2015 b) informó que el número de frutos por árbol aumentó (no significativamente) de 216 a 253 cuando el riego de los árboles aumentó de 2,8 a 5,4 mm / día, entre el cuajado de frutos y el endurecimiento del carozo.

d. Principal período de crecimiento del fruto (MFG-cuajado de frutas a endurecimiento del carozo)

Lakshminarayana et al. (1970) reportaron que el crecimiento del fruto del mango siguió una curva sigmoidea. La etapa de MFG se caracteriza por una rápida expansión de la fruta que se asocia principalmente con una alta tasa de división celular y expansión (Subramanyam, et al., 1975, Ram y otros, 1983, Tharanathan et al., 2006). Aproximadamente el 80% del tamaño final del fruto se logra en la etapa MFG (observaciones personales). Gran parte de la literatura publicada que evalúa el efecto de diferentes cantidades de agua en la producción de mango consideró el período de crecimiento del fruto como un evento único.

Levin et al. (2015 a, b) realizó un estudio sobre la respuesta del mango al riego deficitario en diferentes períodos fenológicos en Israel entre 2010 y 2014. La investigación se llevó a cabo en el contexto de una escasez de agua dulce para uso agrícola, muy poca lluvia durante la temporada de crecimiento y años anteriores de sequía extrema. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el efecto del riego deficitario en diferentes períodos fenológicos sobre la cantidad y calidad de la fruta de un cultivar de mango tardío, Keitt, irrigado por goteo y bajo condiciones semiáridas, para maximizar la eficiencia del uso del riego (WUE) . El objetivo

secundario fue construir una curva de respuesta de los parámetros de los árboles evaluados a diferentes niveles de aplicación de agua en diferentes etapas fenológicas. Los parámetros evaluados fueron: rendimiento total por hectárea, número de frutos por árbol, distribución del tamaño del fruto, tamaño promedio del fruto, crecimiento vegetativo post-cosecha, tiempo de floración e intensidad.

Las dos principales hipótesis del estudio fueron: 1) Los períodos fenológicos más sensibles a las condiciones de sequía son el cuajado del fruto y el primer período de crecimiento de la fruta (tasa máxima de crecimiento de los frutos por división celular). 2) El ahorro de agua, si es necesario, se debe hacer principalmente después de la cosecha, cuando no hay fruta en los árboles.

Con el fin de evaluar los objetivos e hipótesis, tres experimentos independientes se realizaron en tres etapas fenológicas. Se aplicaron niveles de riego diferencial en cada etapa fenológica, mientras que los niveles comerciales de riego se aplicaron durante el resto de la temporada.

Las etapas fenológicas estudiadas fueron:

- Crecimiento del fruto principal (MFG) - desde el cuajado del fruto hasta el endurecimiento del carozo (desde principios de mayo hasta principios de julio).
- Crecimiento final del fruto (FFG) - desde principios de julio hasta la cosecha, a principios de septiembre (~ 7 / 7-10 / 9).
- Después de la cosecha (PC) - después de la cosecha hasta la primera lluvia significativa, desde principios de septiembre hasta mediados de noviembre (~ 11 / 9-15 / 11).

Los dos primeros períodos fenológicos, relacionados con el período de fructificación, según lo descrito por Levin et al. (2015a, b), están de acuerdo con las propuestas por Rajan et al. (2011) en su escala modificada BBCH (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt y Chemische Industrie) que permite la uniformidad de las descripciones de la etapa de crecimiento y puede ser ampliamente adoptada para el mango. El periodo MFG corresponde al código 701-708 de la escala BBCH y el periodo FFG corresponde al código 708-809 de la misma escala.

Levin et al. (2015a, b) reportaron que las tasas de riego fueron similares en las temporadas "On" (2011, 2013, 2014) y fueron menores en la temporada "Off" de 2012.

Los valores promedio de riego en las temporadas "On" oscilaron entre 2,8 mm por día en T - 1 a 5,4 mm por día en T - 4; Los valores reales de Kc oscilaron entre 0,38 en T-1 a 0,80 en T-4; Las cantidades anuales de riego oscilaron entre 940 mm en T-1 y 1145 mm en T-4. Durante la temporada "Off" las cantidades de agua se redujeron al menos en un 15%.

El número de frutos por árbol aumentó (no significativamente) con el aumento del nivel de riego entre 16.8 y 19.3% entre los tratamientos T-1 y T-4 y T-3, respectivamente. El peso promedio de los frutos no se vio afectado, pero hubo un cambio en la distribución del tamaño del fruto hacia un peso menor del fruto. La proporción de frutos no comerciales (menos de 280 g) aumentó significativamente ($F = 7,4806$, $P = 0,0024$) de 2,4% en T-1 a 6,0% en T-4. La cantidad de frutos pequeños también aumentó (cerca de $F = 2,9797$, $P = 0,0627$), de 24,6% en T2 a 33,1% en T-4, y la cantidad de frutos grandes disminuyó (no significativamente) a mayores niveles de riego, de 19,1% en T-1 a 10% en T-4. A pesar de las diferentes tendencias en el número de frutos y las diferencias en la distribución del tamaño de los frutos entre T-4 y T-1, se registró un rendimiento promedio similar para los cuatro años del experimento en ambos tratamientos (68,5 y 70,6 t ha⁻¹ en T-1 y T-4, respectivamente). Estos resultados indican que un mayor riego en el período MFG puede aumentar el número final de frutos por árbol, sin embargo, el fruto puede ser ligeramente menor en este tratamiento, probablemente, por un lado, debido al mayor número de frutos por árbol, y, por otro lado, como consecuencia de que durante el siguiente período del desarrollo final del fruto "FFG", recibieron la misma cantidad de agua, lo que significa proporcionalmente menos agua por fruto con respecto a la menor cantidad de fruta en T-1.

Torrecillas et al. (2000) informaron que el riego deficitario en la primera etapa de crecimiento del fruto (crecimiento exponencial) en el albaricoque no afectó el tamaño final del fruto. Afirman que cuando se restableció el riego en la tercera etapa de crecimiento del fruto, se observó un crecimiento compensatorio que permitió que el fruto alcanzara un diámetro similar al del tratamiento control. Asumimos que procesos similares pueden ocurrir en mango donde los frutos en los tratamientos de riego bajo T-1 y T-2 durante el período MFG (primera etapa en albaricoque) pueden tener su período de recuperación del tamaño del fruto durante el período FFG (tercera etapa en el albaricoque).

Varios estudios anteriores mostraron una asociación positiva entre el nivel de irrigación y el número final de frutos. Se demostró que el nivel de irrigación durante el cuajado de frutos era importante para el número final de frutos (Bhambid et al., 1988). Singh et al. (2003) informaron que el número final de frutos también fue mayor en los árboles mantenidos a tensiones de -10 a -20 kPa, que a -20 a -30 o -50 a -60 kPa durante el periodo MFG. Similarmente, Chandel y Singh (1992) reportaron mayor retención de la fruta por árboles irrigados con un 80% o 60% de humedad disponible del suelo (ASM) que los árboles irrigados con 40% de humedad del suelo disponible durante el período de crecimiento del fruto principal. Spreer et al. (2007) también informó que el déficit hídrico en la etapa temprana del desarrollo del fruto conduce a una mayor caída de la fruta en el mango. Por lo tanto, el aumento del rendimiento debido al riego normalmente resulta de una mayor carga de la cosecha en lugar de un mayor peso de los frutos (Pavel y Villiers, 2004; Spreer et al., 2007, a, b).

- e. Período final del crecimiento del fruto (FFG- endurecimiento del carozo-cosecha).

La etapa FFG representa aproximadamente el 20% del tamaño final del fruto al momento de la cosecha (observaciones personales). El crecimiento de la fruta en esta etapa es sólo por crecimiento celular (Subramanyam et al., 1975, Tharanathan et al., 2006).

No hay muchos reportes en la literatura científica sobre el impacto de diferentes estrategias de riego durante el periodo FFG en los parámetros productivos del mango. En esta sección se presentan los resultados reportados por Levin et al. (2015a, b) para el período FFG evaluado bajo condiciones de cultivo israelíes. En la sección **"INVESTIGACIÓN SOBRE IRRIGACIÓN DE MANGO EN LOS PAÍSES LATINOAMERICANOS"** se presentan también algunos informes sobre el impacto de diferentes tratamientos de riego en diferentes etapas fenológicas, incluyendo FFG, sobre parámetros productivos del mango.

En su experimento de irrigación, Levin et al. (2015a, b) reportaron que durante el período de FFG, los valores promedio de riego en las temporadas "On" oscilaron entre 3,8 mm día⁻¹ en T-1 y 9,2 mm día⁻¹ en T-4 bajo condiciones semiáridas en Israel; Los valores reales de Kc evaluados en el experimento oscilaron entre 0,48 en T-1 y 1,17 en T4; Las cantidades anuales de riego variaron de 875 en T1 a 1133 en T-4.

El período FFG se definió como el período de endurecimiento del carozo hasta la cosecha. Según Levin et al. (2015a, b) en este período, el número promedio de frutos para el período experimental fue ligeramente superior en T-4 (8%, no significativamente) que en T-1. Sin embargo, en 2013, por ejemplo, el número de frutas aumentó en un 16% con el aumento de las cantidades de agua, de T-1 a T-4. Además, el tamaño de la fruta aumentó con el aumento de las cantidades de agua. En 2013, el tamaño de la fruta en T-4 fue significativamente mayor en un 10,3% que en T-1, incluso cuando el número de frutos en el tratamiento T-4 fue un 16% mayor que en el T-1. El tamaño promedio de los frutos para el período experimental aumentó en 53 g entre el T-1 (menos irrigado) y el T-4 (el más irrigado). El nivel de producción de fruta aumentó significativamente con el aumento de las cantidades de agua en 27,1 y 46,9 % en 2013 y 2014, respectivamente, de T-1 a T-4. Durante el período experimental (2010-2014) se observó un aparente efecto acumulativo del aumento de las cantidades de agua, aplicado en el período fenológico FFG, en el nivel de producción de fruta. A pesar del mayor número promedio de frutos en T-4, la tendencia de la distribución del tamaño de los frutos se vio sesgada (no significativamente) hacia frutos más grandes.

En este período fenológico, la cantidad de agua parece ser más relevante en los años productivos "On" (alta producción de frutos) que en los años "Off" (baja producción de frutos). En condiciones no productivas como la temporada 2012, no se encontró relación entre los parámetros de producción (número de frutos, tamaño medio de los frutos y distribución del tamaño del fruto) y el nivel de riego (datos no presentados). El impacto del aumento del riego en los años de alta producción ($> 50 \text{ t ha}^{-1}$, es decir, en la temporada 2011) en el período fenológico del FFG fue diferente al observado en el período fenológico del MFG. Si bien se observó un efecto negativo del aumento del riego sobre el peso del fruto durante el primer período fenológico MFG, se registró una tendencia positiva (no significativa) entre el nivel de riego y el peso del fruto durante el segundo período FFG.

4. Calidad del agua:

Teniendo en cuenta la escasez de fuentes de agua convencionales para uso agrícola, existe una necesidad urgente de fuentes alternativas para la agricultura para reemplazar el agua de alta calidad requerida para el consumo humano (Marecos do Monte et al., 1996, Oron et al 2001, Toze, 2006). La reutilización de aguas residuales municipales u

otras alternativas de agua como el agua salina para el riego podría ser una forma realista de reducir la escasez de este recurso, como se ha demostrado en muchos países de la región mediterránea como Israel, Chipre, Jordania y Túnez (Angelakis et al. 1999). En Israel, por ejemplo, se espera que los efluentes de aguas residuales tratadas sean la fuente principal (70%) de agua para el riego en 2040 (Haruvy et al., 1999). En muchas partes del mundo, las aguas residuales tratadas se han utilizado con éxito para el riego, y muchos investigadores han reconocido sus beneficios (Asano y Levine, 1991; Levine y Asano, 2004). En los países mediterráneos, las aguas residuales tratadas se utilizan cada vez más en zonas con escasez de agua y su aplicación en la agricultura se está convirtiendo en una importante adición al suministro de agua.

Varios estudios han demostrado las ventajas y desventajas del uso de aguas residuales para el riego de varios cultivos (Reboll et al., 2000). Sin embargo, en la preparación de este capítulo no se encontraron datos sobre el impacto de diferentes fuentes de agua y calidad (agua reciclada, agua salina, etc.) sobre los parámetros de producción de mango, excepto la investigación realizada por Durán Zuazo et al. (2004). Estos autores evaluaron el impacto de la salinidad en el rendimiento de frutos de mango cv. Osteen. El estudio se realizó durante cuatro temporadas de cultivo (1996-1999), en un huerto de mango maduro (12 años) en la Estación Experimental 'El Zahori' (Patronato de Cultivos Subtropicales de Almuñécar, SE, España). De los 24 árboles evaluados, 12 fueron injertados en el porta-injerto Gomera-1 (G1) y 12 en el porta-injerto Gomera-3 (G3). El experimento incluyó cuatro tratamientos de riego salino, utilizando agua de riego disponible en la estación experimental (representativa de la región): se utilizó agua sin NaCl añadido, pero con una cierta salinidad inicial, como control ($1,0 \text{ dS m}^{-1}$), mientras que tres incrementos de NaCl ($1,50$, $2,00$ y $2,50 \text{ dS m}^{-1}$) comprendían los otros tratamientos. El diseño experimental fue un bloque al azar con tres repeticiones. Se utilizó un sistema de riego por goteo de cuatro emisores (4 l h^{-1} cada uno) por árbol. Durante cada evento de irrigación, se añadió agua sobrante para proporcionar una fracción de lixiviación (LF) de aproximadamente 18-20%. El agua de riego aplicada en todos los tratamientos fue equivalente a la evapotranspiración del cultivo, estimada a partir de un recipiente de evaporación de clase A. De acuerdo con los resultados reportados, el efecto tóxico de la salinidad sobre el rendimiento de la fruta fue significativo en todos los árboles con sal en comparación con el control. A medida que aumentaba la salinidad, el rendimiento disminuyó en ambas combinaciones de patron-

vástago. Sin embargo, la intensidad del efecto negativo sobre el rendimiento fue ligeramente mayor en G3 que en G1, especialmente en los dos tratamientos salinos más altos (2,00 y 2,50 dS m⁻¹). El número de frutos también se redujo significativamente con el aumento de la concentración de sal.

Investigaciones anteriores de los mismos autores examinaron el efecto de los porta-injertos sobre la nutrición mineral del mango cv. Keitt, (Durán Zuazo et al., 2002), tolerancia a la sal del patrón de mango cv. Osteen (Durán Zuazo et al., 2003) y el impacto de la salinidad sobre la captación de macro y micronutrientes en el mango cv. Osteen con diferentes porta-injertos (Durán Zuazo et al., 2004).

Esta falta de información, en cuanto a la respuesta de los árboles de mango a la calidad del agua, abre un campo de investigación significativo que puede ser muy relevante para la industria del mango en un futuro próximo.

F. INVESTIGACIÓN SOBRE ESTRATEGIAS DE RIEGO EVALUADAS EN MANGO EN LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA

Los países latinoamericanos muestran un gran potencial para expandir sus áreas de regadío. El riego es importante para fortalecer las economías locales y regionales en general y para la industria del mango en particular. América Latina es relativamente abundante en agua a nivel regional, y generalmente no se considera que sea escasa en agua. Sin embargo, cuando se considera desde la perspectiva de la "escasez económica de agua", existe una necesidad notable de inversiones en el sector del agua (Drechsel et al., 2015).

Esta sección ofrece una descripción y resumen de investigaciones realizadas sobre el riego en huertos de mango en los principales países latinoamericanos que exportan mango a Estados Unidos, enfocándose en los resultados claves relacionados con las necesidades hídricas y el impacto de diferentes estrategias de riego sobre el rendimiento del mango. De acuerdo con la literatura revisada, los principales estudios sobre las necesidades de agua del mango y / o la respuesta a diferentes estrategias de riego se realizaron en Brasil y en menor medida en México.

- **Brasil:**

Brasil es el principal país productor de mango de América del Sur, con una superficie cultivada de aproximadamente 67.600 hectáreas y una producción de 970.000 toneladas métricas (Pinto et al., 2004). Los árboles de mango se encuentran creciendo ampliamente en Brasil debido a las condiciones favorables del suelo y el clima. Los principales estados productores de mango son Bahía, Pernambuco, Sao Paulo, Minas Gerais y Ceará (IBGE, 2011). En Bahía, las principales regiones productoras, donde es necesario el riego, son las regiones semiáridas de Juazeiro, Livramento de Nossa Senhora, Río Corrente, Itaberaba y Ceraíma / Estreito. Según Souza et al. (2002), sudeste y noreste de Brasil son las áreas de producción más importantes con 34.600 y 28.800 hectáreas, respectivamente. Estas regiones representan el 51,4% y el 42,6%, respectivamente, de la superficie total de mango cultivado en Brasil.

Según Gomes et al., (2002) existe una amplia gama de sistemas de riego que se utilizan en los huertos de mango del noreste. Alrededor del 41% de los huertos se riegan con sistema de micro-aspersión, el 21% con otros sistemas de riego (surcos, goteo, cuenca, etc.) y el 33% de los huertos no utilizan ningún tipo de riego.

El noreste semiárido se ha convertido en el mayor productor de mango, siendo responsable del 66,5% de la producción brasileña en 2012 - 1,175,000 toneladas métricas. Las exportaciones, principalmente del estado de Bahía, que es el segundo productor más grande, representaron el 54% de la producción nacional (IBGE, 2014), convirtiéndolo en el mayor exportador de frutas de Brasil (Anuário Brasileiro de fruticultura, 2013). Los principales cultivares de Brasil son Tommy Atkins (85%), Ataulfo (8%) y Palmer (7%) (Anónimo, 2016). La mayoría del mango cultivado en el valle de São Francisco, Brasil, es Tommy Atkins, que representa aproximadamente el 95% del cultivo de mango (Lima Neto et al., 2010).

Se han adoptado estrategias de gestión del riego relativas al uso racional del agua, incluso en regiones donde el agua no es un factor limitante para el riego. En este escenario, las técnicas de riego como RDI y PRD dominan (Santos et al., 2014) los principales estudios realizados en Brasil.

- De Acevedo et al. (2003) estudiaron las necesidades hídricas de los huertos de mango irrigado en el noreste de Brasil. Este estudio se realizó en la Estación

Experimental Bebedouro de la Organización Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa semi-árido) en la región semiárida de la parte media del valle del río San Francisco en Petrolina-PE, Brasil (latitud: 09°09'S; Longitud: 40°22'W, altitud: 365,5 m s.n.m). Las medidas de campo se realizaron durante el ciclo productivo de un huerto de 7 años de mango cv. Tommy Atkins, del 10 de junio al 19 de noviembre de 1999. Los árboles del huerto se sembraron a una distancia de 8,0 m entre filas y 5,0 m entre árboles (8,0 m × 5,0 m). El ciclo productivo de 1999 comenzó con la inducción de floración (aplicación de una solución al 4% de potasio y nitrato de calcio) y se dividió en las siguientes etapas fenológicas: floración (20 días: del 13 de julio al 2 de agosto); Caída de frutos (40 días: del 3 de agosto al 12 de septiembre); Formación de frutos (40 días: del 13 de septiembre al 22 de octubre); Maduración de la fruta (20 días: del 23 de octubre al 12 de noviembre). La evapotranspiración de los árboles de mango individuales se obtuvo mediante dos métodos: Bowen ratio-balance energético (BREB) y balance de agua del suelo (SWB). La evapotranspiración diaria de mangos de mango aumentó lentamente de 3,1 mm por día al inicio del período experimental a 4,9 mm por día en el período de crecimiento máximo del fruto, luego disminuyó a aproximadamente 4,1 mm por día a plena maduración. El consumo acumulado de agua de huerto de mango para todo el ciclo productivo fue de 551,6 mm 555,1 mm según los métodos de balance de energía y agua de suelo, respectivamente.

- Coelho Filho y Coelho (2005) reportaron el impacto de la estrategia de riego RDI (déficit hídrico regulado) sobre mangos de 4 años cv. Tommy Atkins, irrigado por microaspersión, en tres etapas de crecimiento del fruto, utilizando el 50%, 70% y 85% de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los tratamientos se aplicaron durante cada uno de los tres estadios fenológicos de la producción de frutos. La Fase I, el tiempo desde el inicio de la floración (BB) hasta el cuajado de las frutas, generalmente alrededor de 65 días después del BB. La fase II corresponde al período de expansión del fruto, generalmente hasta 95 días después del BB, y la Fase III comprende el desaseleramiento del crecimiento y la maduración fisiológica del fruto, que se produce alrededor de 120 días después del BB. No se encontraron diferencias significativas en la productividad, número de frutos por planta o peso promedio de los frutos entre los tratamientos.

- Da Silva et al. (2009) evaluaron la eficiencia del uso del agua y la evapotranspiración de un huerto de mango, durante dos años consecutivos de producción agrícola, cultivado en el noreste de Brasil. Los experimentos de campo se realizaron en un campo de cv Tommy Atkins de 12 años de edad plantado con un espaciamiento de 10 m × 5 m, resultando en una densidad de 200 árboles ha⁻¹. Se utilizó un sistema de riego por aspersión con un rociador por planta y una tasa de descarga de agua de 60 l h⁻¹. Da Silva et al. (2009) encontraron una reducción significativa del rendimiento cuando se regó al 100% de la evapotranspiración de referencia - ETo comparado con el 70%, 80% y 90%. También encontraron que la WUE estaba influenciada por el contenido de agua en el suelo y se mejoró programando el riego con ETo al 90%.

- Coelho Filho et al. (2009), evaluaron el manejo del riego con riego PRD en un huerto de mango cv. Kent bajo condiciones semiáridas. El estudio se realizó en la Fazenda Boa Vista (Iaçu Agropastoril Ltda) en un huerto de 6 años de mango cv. Kent, con un espaciamiento de 8 m × 5 m. El huerto fue irrigado por goteo, con dos líneas laterales por hilera de planta, y diez goteros de flujo a 3,75 l h⁻¹ por gotero. El diseño experimental se realizó en bloques al azar con cinco repeticiones, en las que cada repetición comprendía tres plantas. Para cada tratamiento se evaluaron los parámetros de producción, incluyendo el peso de la fruta, el número de frutos y la productividad. Los cinco tratamientos representaron tres tipos diferentes de riego: Tratamiento sin déficit (T1), es decir, riego basado en las cantidades de agua aplicadas en la finca, (507 mm), con riego realizado utilizando dos líneas de goteo que funcionan simultáneamente (T1) hasta llevar a capacidad de campo utilizando medidores de humedad de suelo (TDR) a 10 y 30 cm de profundidad; Agua con un 50% de T1 como riego PRD, con cinco emisores trabajando cada uno de ellos en un lado de la planta (T2) y un déficit (IP) aplicado alternativamente, con IP-7 alternando cada 7 días (T3) IP-14 alternando cada 14 días (T4), e IP-21, alternando cada 21 días (T5). Los tratamientos se aplicaron al inicio de la floración (julio de 2007) y se extendieron hasta la cosecha (octubre de 2007). La productividad (T ha⁻¹) sin déficit (T1) fue significativamente mayor que en IP (tratamiento PRD) pero no hubo diferencia significativa entre los tratamientos IP-7, IP-14 e IP-21; La misma tendencia se observó para el número de frutas. No hubo diferencias entre IP-7, IP-14 e IP-21 para el rendimiento, el número de frutos o el peso de los frutos.

Cotrim et al. (2011) evaluaron el efecto de la RDI en cv. Tommy Atkins bajo micro-aspersión en la región semiárida de Brasil. El estudio se realizó en un huerto de mango de 9 años de edad cv. Tommy Atkins, con un espaciamiento de 8 m × 8 m en el perímetro de riego de Ceraíma, ciudad de Guanambi, en el suroeste de Bahía, a latitud 14°13'30 "S y longitud 42°46'53" W, y a una altitud de 525 m.s.n.m. . El clima característico de la región es semiárido con una precipitación media anual de 664 mm. El experimento se realizó durante dos ciclos consecutivos de producción de cultivos, en los que se estableció el experimento 1 en 2006 y el experimento 2 en 2007. En ambos casos, los tratamientos se aplicaron en las fases I (inicio de la floración a la fijación del fruto), II (expansión del fruto) y III (fin de crecimiento y maduración del fruto) del desarrollo del mango, después del período de inducción floral, para una floración uniforme de aproximadamente el 80% de las ramas. Este campo experimental fue irrigado usando micro-aspersores, con una tasa de emisión de 56 l h⁻¹ por planta. Se aplicaron tratamientos de riego que comprendían combinaciones de 30%, 40%, 60%, 80% y 100% de ETc variando el tiempo de riego de los diferentes tratamientos. El nivel de riego para un período específico se determinó sobre la base de coeficientes de cultivo (Kc) que van de 0,45 a 0,87, desde la floración hasta la maduración del fruto, según Coelho et al. (2002).

Durante el primer ciclo productivo (2006) el diseño experimental fue completamente al azar, con diez tratamientos y tres repeticiones en parcelas que incluían una sola planta de mango. Los autores no registraron diferencias significativas en la producción de los distintos tratamientos en ambos años evaluados 2006 y 2007.

- Santos y Martínez (2013) evaluaron la distribución de agua del suelo y la extracción de agua de árboles de mango var. Tommy Atkins bajo diferentes regímenes de riego. El estudio se realizó en el campo experimental de la “Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba” (Sociedad para el desarrollo de Sao Francisco y Parnaíba CODEVASF - Cuencas), ubicado en el perímetro de regadío, en Guanambi Ceraíma, Sudoeste de Bahia, en Brasil (latitud: 14°17'27" S, longitud: 42°46'53" W, altitud: 537m s.n.m., la precipitación media anual: 680 mm, temperatura media anual: 25,6 °C). Se evaluaron tres regímenes de riego: el riego RDI, completa y sin riego, y su influencia sobre la distribución del agua en el suelo y la extracción de agua en la var. Tommy Atkins desde floración hasta la maduración de la fruta. El huerto fue de 11-12 años; los árboles fueron plantados en un espaciamiento

de 8 m × 8 m. Las plantas fueron regadas con micro aspersores, uno por planta, y cada planta recibió 50 l h⁻¹ de agua a 200 kPa. Los tratamientos fueron: T1 - riego con suministro de 100% de la ETc desde floración hasta la cosecha de fruta; T2 : 50% de la ETc desde el comienzo de la floración hasta el comienzo de la expansión de fruta seguido por 100% de la ETc a la madurez fisiológica; T3 - 100% de la ETc desde el comienzo de la floración hasta el comienzo del crecimiento de la fruta, 50% de la ETc desde el principio de la ampliación al comienzo de la maduración fisiológica y 100% durante la maduración fisiológica del fruto; T4 - 100% de la ETc desde el comienzo de la floración para expansión de fruta y 50% de ETc durante la maduración fisiológica; T5 -- sin riego. Los diferentes regímenes de riego causaron diferentes perfiles de distribución y extracción de agua por el árbol de mango. Sin embargo, la extracción del agua por parte del sistema radicular, independientemente del tratamiento, la planta lo realiza principalmente en un radio inferior a 1,50 m de la ubicación de la planta, y a una profundidad de 0,50 m.

- Santos et al. (2014) evaluaron el impacto de los tratamientos de RDI en diferentes etapas fenológicas. El estudio se realizó en un área experimental de CODEVASF, ubicada en el perímetro de riego de Ceraíma, en Guanambi, Suroeste de Bahía (latitud: 14 ° 17'27 "S, longitud: 42 ° 46'53" W, y altitud: 537 m s.n.m). Se utilizó RDI en mango cv. Tommy Atkins desde la floración hasta la maduración de los frutos durante dos ciclos productivos, 2010 y 2011. Los tratamientos de RDI se aplicaron durante tres fases de desarrollo según Cotrim et al. (2011): Fase I - desde la floración temprana (EF) hasta el cuajado de frutos (FS), 65 días; Fase II - (expansión del fruto) de FS 95 días después de EF y fase III (crecimiento tardío y maduración fisiológica de los frutos) desde el final de la fase II hasta casi 120 días después de EF. Cinco tratamientos de riego con seis repeticiones se aplicaron en las fases I, II y III después del período de inducción de floración, de la siguiente manera: 1) 100% ETc desde la floración hasta la cosecha de la fruta; 2) 50% de ETc desde la floración temprana hasta la expansión temprana de la fruta, seguido por 100% ETc hasta la cosecha; 3) 100% ETc desde la floración temprana hasta la expansión temprana de la fruta, seguida de 50% ETc a maduración fisiológica temprana y luego 100% ETc durante la maduración fisiológica de la fruta; 4) 100% de ETc desde la floración temprana hasta la expansión tardía de la fruta y 50% de ETc durante la maduración fisiológica; 5) sin riego. WUE para cv. Tommy Atkins en este estudio fue influenciado por el uso de RDI. El mejor

WUE para el cultivo fue cuando RDI al 50% ETc se adoptó en la tercera fase de producción de árboles correspondiente al crecimiento final del fruto (FFG). Estos resultados contrastan con los de Levin et al. (2015a, b), que informaron que el rendimiento final aumentó significativamente al aumentar las cantidades de agua durante el mismo período fenológico. El uso de RDI a 50% ETc en la fase de cuajado de frutas provocó una reducción del rendimiento y, como consecuencia, reducciones en el WUE.

- Santos et al. (2015) estudiaron el rendimiento, el WUE y las características fisiológicas del mango cv. Tommy Atkins bajo un sistema PRD. El estudio se basó en el uso del PRD en un huerto de 12 años de mango cv. Tommy Atkins, desde la floración en agosto de 2011 a la maduración de la fruta en diciembre de 2011. Se realizó en un huerto ubicado en Ceraíma, en Guanambi, Sudoeste de Bahía, Brasil, con plantas a un espaciamiento de 8 m × 4 m. Las plantas fueron regadas por riego por goteo con seis emisores por planta, donde cada emisor tenía un caudal de 8 l/h⁻¹. Se aplicaron cinco tratamientos desde el inicio de la floración hasta la recolección de mango, utilizando riego por goteo: 1) riego completo, 100% ETc; 2) 100% ETc, alternancia del lado de riego (FA) cada 15 días; 3) 80% ETc con FA de 15 días; 4) 60% ETc con FA de 15 días y 5) 40% ETc con FA de 15 días. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con seis repeticiones, y cada planta representó una parcela experimental. Los tratamientos se aplicaron variando el tiempo de riego a través de válvulas de control, donde cada válvula se refería a un tratamiento diferente. La cantidad de agua para el riego se basó en la evapotranspiración de referencia (ET_o) que se determinó diariamente por el método de Penman-Monteith, método estándar de la FAO (Allen et al., 1988). Ellos encontraron que el uso del PRD no causó una reducción significativa en la producción (número de frutos por hectárea y rendimiento) de mango cv. Tommy Atkins en comparación con el riego completo. El estudio demostró que el PRD con ETc al 40% y la alternancia del lado irrigado cada 15 días aumentó el WUE (P < 0,05 por la prueba de Tukey), sin causar una reducción significativa en la productividad.

- Faria et al. (2016) evaluaron los efectos de la gestión del riego en la inducción floral del mango cv. Tommy Atkins en la región semiárida de Bahía. El experimento se realizó durante las temporadas 2012 y 2013 en un huerto de 16 años de mango cv. Tommy Atkins, cultivado con un espaciamiento de 8 m x 8 m sobre un suelo eutrófico

flúvico (Entisol). El sitio experimental se ubicó en el área experimental de CODEVASF, ubicada en el perímetro de riego de Ceraíma, en Guanambi, Suroeste de Bahía (latitud: 14 ° 17'26 "S, longitud: 42 ° 42'50" W, altitud: 530 m s.n.m). Estrategias de manejo de riego que adoptan el estrés hídrico controlado en la inducción floral y retorno del 100% en el período de fructificación, durante dos ciclos de producción, 2012 y 2013 fueron evaluadas. El riego se llevó a cabo a través de un sistema localizado, utilizando un micro rociador por planta con un caudal de 48 l h⁻¹ y una presión de 150 KPa. Los tratamientos consistieron en cinco niveles de riego basados en la evapotranspiración del cultivo (ETc): T1 - 0% ETc sin riego en el período de inducción de flores (FI) y 100% ETc en la fase de fructificación (FII), T2 - ETc en FII, T3 - 50% ETc en FI y 100% ETc en FII, T4 - 75% ETc en FI y 100% ETc en FII y T5 - 100% ETc en FI y FII. Se dispusieron en un diseño de bloques al azar con seis repeticiones y una planta útil por parcela experimental. La reducción del nivel de agua se obtuvo mediante alteraciones en el tiempo de riego controlando una válvula insertada en cada línea de goteo de tratamiento. Estos niveles se obtuvieron a partir de los datos de evaporación de referencia (ET0), coeficiente de cultivo (Kc) y coeficiente de paisaje (KI). Los resultados reportados mostraron que no hubo interacción ($p > 0.05$) entre los diferentes niveles de reducción de riego basados en ETc, o entre los ciclos de producción evaluados en mango cv. Características de la producción de Tommy Atkins. El número promedio de frutos por árbol fue significativamente mayor en 2012 que en 2013 (197 y 59 frutos por árbol en 2012 y 2013, respectivamente). Así mismo, el rendimiento por planta fue de 106 y 26,5 kg, en 2012 y 2013 respectivamente. Sólo los ciclos 2012 y 2013 ($p < 0,05$) influyeron en las características productivas, independientemente de las estrategias de riego utilizadas para la inducción floral. En estos árboles se observó una alternancia en la producción.

- Santos et al. (2016) evaluaron el efecto de las estrategias de déficit de riego en los parámetros fisiológicos y productivos del mango. Se realizaron dos experimentos, uno con PRD y el otro con RDI. Los experimentos se realizaron en un huerto de 18 años de mango cv. Tommy Atkins, con un espaciamiento de 10 m x 8 m, ubicado en el perímetro de Irrigación de Ceraíma, en Guanambi, Suroeste de Bahía, Brasil (latitud: 14 ° 17'03 "S, longitud: 42 ° 43'57" W y altitud: 530 m s.n.m).

El diseño experimental fue de bloques al azar, con siete tratamientos de RDI bajo micro-aspersores y cinco tratamientos PRD bajo riego por goteo. Los tratamientos de RDI consistieron en aplicaciones de 100, 75 y 50% de ETc en cada una de las tres etapas:

S1 - inicio de la floración hasta el cuajado de frutos, S2 - desarrollo de frutos hasta maduración fisiológica y S3 - maduración fisiológica de los frutos hasta cosecha. Los tratamientos PRD consistieron en aplicaciones de 100, 80, 60 y 40% ETc, durante las mismas tres etapas, alternando el riego cada 15 días. PRD de riego al 80%, 60% y 40% ETc provocó una reducción en la producción de mango cv. Tommy Atkins comparado con el riego completo (FI), y el PRD al 80% ETc condujo a una menor WUE. Hubo efectos de déficit con PRD a 50% ETc y 75% ETc, aplicados en diferentes etapas de producción, sin embargo, no hubo efecto sobre el WUE. La aplicación de RDI a 50% ETc en el cuajado del fruto y en las etapas de desarrollo causó una caída en la producción, mientras que la RDI a 75% ETc causó una reducción en la producción cuando se aplicó sólo en la etapa de cuajado de las frutas. Los rendimientos en este estudio tendieron a ser mayores cuando el déficit se aplicó en la maduración y menor cuando se aplicó en la etapa del cuajado de la fruta, incluso sin diferencia entre los rendimientos cuando se consideraba sólo el nivel de RDI.

- de Souza et al. (2016) evaluó la estimación de requerimientos de agua para el período reproductivo de huertos de mango en el noreste del estado de Pará. El objetivo de este estudio fue estimar el consumo de agua de un huerto de mango durante cada etapa fenológica. Para ello se instaló una torre micrometeorológica equipada en un huerto de 22 años de mango cv. Tommy Atkins, con datos recogidos durante los cultivos de 2010/2011 y 2011/2012. La evapotranspiración real del cultivo se estimó a partir del balance energético usando la técnica de la relación de Bowen. El estudio se realizó en un huerto de mango ubicado en el rancho experimental de Cuiarana de la Universidad Federal Rural de Amazonia (FRUA), ciudad de Salinópolis, Pará, Brasil (latitud: 00 ° 39'50,50 "S, longitud: 47 ° 17 4.10 "W, altitud: 17 m s.n.m). Los árboles fueron plantados a una distancia de 10 m x 10 m (100 plantas ha-1). Los estadios fenológicos se controlaron de acuerdo con Rodrigues et al. (NTT) (COSTA et al., 2009), donde cada índice NTT representaba una fase fenológica desde, floración (NTT = 0), Inicio de la caída de frutos (NTT = 1), formación de frutos (NTT = 2), maduración de los frutos (NTT = 3) y cosecha (NTT = 4). A partir de los resultados obtenidos, se calculó la evapotranspiración real durante su período reproductivo entre 402,9 y 420 mm con un consumo medio diario de agua de 3,8 mm en la floración, 4,25 mm en la etapa principal de caída de fruta, 3,56 mm en el crecimiento de la fruta, 3,0 mm en la maduración de la fruta y 3,73 mm para todo el período.

- ***Ecuador:***

Ecuador tiene cerca de 5.300 ha de tierra productora de mango para exportación, irrigada predominantemente por microaspersión (Sr. Johnny Jara Arteaga, Director Ejecutivo Fundación Mango del Ecuador, comunicación personal). En general, la temporada ecuatoriana empieza en septiembre y se extiende hasta enero. Los principales cultivares de Ecuador son Tommy Atkins (65%), Kent (18%) y Ataulfo (15%) (Anónimo 2016). Desafortunadamente, en la literatura científica relevante no se encontraron investigaciones sobre las necesidades de agua de mango en las condiciones de crecimiento de Ecuador.

- ***Guatemala:***

La industria del mango en Guatemala ha crecido drásticamente desde 1990, cuando el Ministerio de Agricultura comenzó a apoyar a la industria frutícola en Guatemala y desarrolló un programa único diseñado para promover nuevos cultivos frutícolas. Desde entonces el área productiva ha aumentado de 900 ha a 7.000 ha (Granados-Friely y Escobar, 2000). Según el señor Eddy Martínez (Gerente de Operaciones, Agrotropics, comunicación personal) actualmente se cultivan 5.000 hectáreas de mango para exportación en Guatemala, de las cuales un 40% son regadas, principalmente por microaspersores. Aproximadamente 100 hectáreas son irrigadas por goteo; Las hectáreas restantes no están bajo ningún sistema de riego (alimentadas por las lluvias). Los principales cultivares son: Tommy Atkins (4,000 ha), Ataulfo (500 ha), Kent (300 ha) y Keitt (200 ha). En los últimos cinco años las exportaciones han sido cercanas a 5 millones de cajas, el 90% va al mercado de Estados Unidos y el 10% al mercado europeo. Desafortunadamente, no se encontraron investigaciones sobre las necesidades de agua de mango o las respuestas a diferentes estrategias de riego bajo las condiciones de crecimiento guatemaltecas en la literatura científica pertinente.

- ***México:***

México ha sido uno de los principales productores y consumidores de mango y uno de los principales exportadores mundiales (Hanemann et al., 2008, USAID, microrreport). México es globalmente el principal exportador y tercero en el ranking como productor y es el principal proveedor para el mercado norteamericano seguido por Perú, Ecuador,

Brasil, Guatemala y Haití (Hanemann et al 2008, Galán Saúco, 2004). Las principales variedades de México son Tommy Atkins (38%), Ataulfo (26%), Kent (20%), Haden (7%), Keitt (8%) y otros (1%) (Anónimo 2016). Las principales áreas productoras de mango se ubican en las regiones del Pacífico y la producción se va moviendo hacia el norte, en la costa, durante el transcurso de la temporada, que se extiende de enero a septiembre, alcanzando su punto culminante durante junio y julio (Hanemann et al., 2008). El riego está disponible en poco menos del 30% de los huertos de mango Ataulfo en la región del Soconusco. Sin embargo, el método de riego más frecuente es la inundación, que conduce a la erosión del suelo, la distribución deficiente de agua y la pérdida de agua por evaporación (Magallanes-Cedeño, 2004). El presidente del Consejo del Sistema de Productores de Mango de Oaxaca, Roberto Nivon Velasquez, dijo que los productores de las regiones de San Pedro Tapanatepec, Santo Domingo Zanatepec, Reforma de Pineda, San Francisco Ixhuatán, San Francisco del Mar y Chahuities experimentaron grandes pérdidas en el cultivo actual debido a la falta de lluvias el año 2015 (Fuente: elsoldelitsmo.com.mx, Fecha de publicación: 17/05/2016. [Http://www.freshplaza.com/article/157797/Mexico-Mango-producción-en-l-Istmo](http://www.freshplaza.com/article/157797/Mexico-Mango-producción-en-l-Istmo) (Debido a la sequía). También señaló que, a pesar de haberse exportado 56.400 toneladas de cultivares de mango Tommy Atkins, Ataulfo y Oro a Estados Unidos, Canadá y Europa, la sequía había causado una disminución del 40% en la producción (Fuente: elsoldelitsmo.com.mx, Fecha de publicación: 5/17/2016. [Http://www.freshplaza.com/article/157797/Mexico-Mango-producción-en-el-Istmo-debajo-de-edición](http://www.freshplaza.com/article/157797/Mexico-Mango-producción-en-el-Istmo-debajo-de-edición)). También, señaló que, aproximadamente el 80% de los huertos se basan en una agricultura de secano porque no tienen sistemas de riego. Por lo tanto, esos huertos, principalmente los adultos, se están muriendo por causa del cambio climático. (Fuente: elsoldelitsmo.com.mx, Fecha de publicación: 17/05/2016. [Http://www.freshplaza.com/article/157797/Mexico-Mango-production-in-the-Isthmus-down-due-to-sequía](http://www.freshplaza.com/article/157797/Mexico-Mango-production-in-the-Isthmus-down-due-to-sequía)).

Los hechos presentados por el señor Velásquez representan la situación actual de la industria del mango en México en general y en el estado de Oaxaca en particular, donde la gran mayoría de los cultivadores de mango no tienen un sistema de riego adecuado (Medina-Urrutia et al. 2011), o riegan por gravedad (, en la región de Sinaloa), en el mejor de los casos (observaciones personales). Desafortunadamente, no se encontraron investigaciones sobre las necesidades de agua de mango o las respuestas a diferentes

estrategias de riego bajo las condiciones de crecimiento de México en la literatura científica pertinente.

- **Perú:**

La superficie total plantada en el Perú es de 27.000 hectáreas, de las cuales el 95% está regadas por inundación o gravedad. En Perú, el riego por micro-aspersión es al riego por goteo cada vez que se instala un sistema de riego en una granja de mango (Sr. Juan Carlos Rivera, Gerente Asociación Peruana de Productores y Exportadores de Mango - APEM, comunicación personal y observación personal). La producción de mango en Perú ha aumentado drásticamente en los últimos diez años, con cifras de producción casi triplicando los volúmenes del año 2000. Hoy Perú produce alrededor de 300.000 toneladas anuales. Debido a la crisis económica, la producción cayó de forma significativa en 2009, para recuperarse casi totalmente en los primeros cinco meses de 2010. Debido a sus condiciones climáticas adecuadas, la región septentrional de Piura es la principal región productora de mango (Anon. 2011). El cultivar de mango más común exportado por Perú es Kent, representando el 82% de todos los mangos cultivados y el 88% de todos los mangos exportados en las regiones de Piura y Lambayeque. Otros cultivares de mango exportados por Perú son Haden, Tommy Atkins y Keitt (Anon., 2011). Desafortunadamente, no se encontró en la literatura científica relevante ninguna investigación sobre las necesidades de agua de mango o las respuestas a diferentes estrategias de riego bajo condiciones de cultivo peruanas.

G. FERTILIZACIÓN EN MANGO, INVESTIGACIONES ALREDEDOR DEL MUNDO, EN GENERAL, Y EN LOS PAÍSES LATINOAMERICANOS, EN PARTICULAR

Aunque esta revisión se centra en las estrategias de riego que se han evaluado en el mango, presentaré ahora una breve revisión de algunas de las estrategias de fertilizantes evaluadas en el mango en todo el mundo en general y en los países productores de mango en América Latina en particular. El tema de los síntomas de deficiencia de macronutrientes y micronutrientes en el mango no se presentará aquí, sin embargo, la información sobre los síntomas específicos de deficiencia en el mango se destacará cuando sea necesario. Para los síntomas característicos de deficiencia mineral del

mango, se recomienda consultar el capítulo "Producción de Cultivos: Nutrición Mineral" de Bally (2009) en "El mango: botánica, producción y usos" y Prado et al. (Día inédito) Macronutrientes y síntomas de deficiencia de micronutrientes en el mango.

La demanda de nutrientes del mango, expresada como la cantidad acumulada de los elementos encontrados en diferentes órganos vegetales, varía según factores como genotipo, suelo, clima, uso del riego, calidad del agua, estado fitosanitario, etc. La comprensión y visualización de los síntomas de deficiencia de nutrientes permitiría mejorar los programas de fertilización y aumentar el rendimiento. En el mango, el examen visual de las plantas, así como el análisis de suelos y hojas, son herramientas adicionales importantes, ya que permiten hacer modificaciones al programa de fertilización durante el mismo año de cultivo (Prado, 2004). Así, es posible intervenir en una situación de trastornos nutricionales en un corto período de tiempo y, como consecuencia, garantizar más frutos con mejor calidad (Prado, 2004). Los síntomas exhibidos por una planta tienen una relación directa con las funciones que desempeña el mineral en el metabolismo de las plantas (Bally, 2009). Así, después de la aparición de los eventos biológicos, los síntomas estarán relacionados con el elemento mineral que causa el trastorno nutricional y esto está vinculado a sus funciones y movilidad en la planta (Prado, 2004).

La importancia de la fertilización del mango para la producción comercial fue enfatizada previamente por Young y Koo (1974), quienes reportaron un aumento significativo del rendimiento en cvs. Parvin y Kent cultivados en los suelos arenosos de Lakewood, Florida, EE.UU., cuando la fertilización con nitrógeno (N) se incrementó tres veces en promedio durante los cuatro años de estudio. El incremento de la fertilización con potasio (K) triplicó el rendimiento de Parvin significativamente en el segundo y cuarto año, y en el promedio de cuatro años. Durante los tres años inmediatamente anteriores al experimento, los árboles de Parvin fueron fertilizados con mezclas que suministraron aproximadamente 0.6 libras de N y 0.8 libras de K₂O por árbol por año y 0.9 libras de N y 1.2 libras de K₂O por árbol por año a los árboles de Kent. Los mayores rendimientos en Parvin se obtuvieron con altas tasas de fertilización con N y K. Las tasas de potasio no tuvieron un efecto significativo en el rendimiento de Kent. Los mismos autores también informaron una buena correlación entre el tratamiento y la concentración foliar de N y K. Observaron que una cosecha pesada tendía a disminuir el nivel de N y K en las hojas.

Por ejemplo, las recomendaciones para el suministro de N indican que se necesitan 400 g de N por árbol por año para obtener rendimientos comerciales aceptables (Chia et al., 1988, WanitpraPCa et al., 1991, Xiuchong et al., 2001). Crane y Campbell (1994) sugirieron que las cantidades de N podrían aumentarse según el tamaño del árbol y las condiciones del sitio. En suelos arenosos, las prácticas de fertilización pueden plantear preocupaciones ambientales sobre la lixiviación rápida de N a las aguas subterráneas. Los niveles recomendados de fertilizantes (N: P: K) en Brasil para el cultivo de mango varían según la productividad esperada (de <10 a> 50 t fruto ha⁻¹), el contenido de nutrientes de la hoja, el elemento en sí y si los árboles son irrigados o no (Pinto et al., 2007). El tiempo y las frecuencias de la aplicación anual total también varían de acuerdo con si el cultivo es de secano o de riego. Raij et al. (1996) recomendaron un aporte máximo de nutrientes de hasta 50 kg N ha⁻¹, 80 kg P ha⁻¹ y 80 kg K ha⁻¹, para un cultivo de secano con un rendimiento esperado alto (> 20 t-ha⁻¹) y baja concentración de mineral foliar y / o baja disponibilidad de nutrientes del suelo (principalmente NPK). Para un cultivo irrigado estas cifras se incrementan a 120 kg N ha⁻¹, 150 kg P ha⁻¹ y 250 kg K ha⁻¹ (Silva et al., 2002). La fertirrigación aumenta considerablemente su eficiencia con goteo o micro-aspersores. En Brasil, los rendimientos de hasta 40 t ha⁻¹ son posibles con riego, pero los rendimientos promedio en condiciones de secano están en el rango de 8-12 t ha⁻¹ (Carr, 2014).

Ooshuyse (1997) informó un aumento en el cuajado y retención de frutos en cv. Tommy Atkins debido a una sola pulverización de KNO₃ al 4% durante el período de floración bajo las condiciones del cultivo en Sudáfrica. En el caso de cv. Heidi, dos aplicaciones al 4% fueron necesarias para obtener resultados similares mientras que en cv. Kent dos aplicaciones al 2% fueron suficientes. El rendimiento de los árboles aumentó para ambos cultivares. En contraste, Nguyen et al. (2004) evaluaron el efecto del nitrógeno sobre el color de la piel y otros atributos de calidad del fruto maduro del mango cv. Kensington Pride. El efecto de la aplicación N sobre el color de la piel y otros atributos de calidad se investigó en tres huertos, uno con un alto problema de piel verde (HG) y dos con bajo problema de piel verde (LG). El N fue aplicado en la pre-floración y en la emergencia de la panícula a razón de 0, 75; 150; 300 g por árbol (aplicado al suelo) o 50 g por árbol como N foliar para el huerto HG, y 0; 150; 300; 450 G por árbol (aplicado al suelo) o 50 g por árbol (foliar) para los huertos LG. En todos los huertos, la proporción de color verde en la fruta madura fue significativamente (P <0,05) mayor con aplicaciones en el suelo de 150 g N o más por árbol. Las aspersiones foliares dieron

como resultado una mayor proporción de color verde que el tratamiento de suelo más alto en el huerto HG, pero no en los huertos LG. La gravedad de la enfermedad de la antracnosis fue significativamente mayor ($P < 0.05$) con 300 g de N por árbol o tratamiento foliar en el huerto HG, en comparación con la ausencia de N. Los autores concluyeron que N puede reducir la calidad del mango al aumentar el color verde y la antracnosis en fruta madura.

Morales y Rivas (2004) evaluaron el uso eficiente de la fertilización y sus efectos en el rendimiento de mango en el municipio de Mara, en el estado de Zulia, Venezuela. El experimento se realizó en árboles de cuatro años de cv. Haden. Los tratamientos fueron distribuidos dentro de un arreglo factorial al azar 3×3 , cinco árboles por tratamiento y tres repeticiones. La fertilización se aplicó utilizando tres dosis combinadas (D): D1 - 13.043 g de urea + 869,5 g de fosfato de amonio + 500 g de clorato de potasio por planta; D2 - 50% de D1; y D3 - 50% de D2 y tres frecuencias de aplicación (E): E0 - 100% antes de la floración, E1 - 50% + 50% a los seis meses y E2 - 30% + 70% cada tres meses durante el resto de la temporada. El análisis de varianza reveló efectos significativos para los tratamientos de dosis y frecuencia de aplicación, así como la interacción entre ellos. Los rendimientos del experimento variaron entre 54,18 kg. arb⁻¹ y 29,05 kg. arb⁻¹ (cuadro 2), evidenciando la dosis 1 (D1) aplicada 30% antes de floración y 70% cada 3 meses (E2) un mayor potencial de rendimiento.

Los suelos tropicales, característicos de muchas áreas de producción de mango en todo el mundo, suelen ser altamente ácidos y esto puede impedir la adecuada nutrición del mango y, como consecuencia, la producción comercial. De Almeida et al. (2012) informaron sobre la respuesta del mango a la cal aplicada durante la fase de producción. El experimento se realizó desde mayo de 2005 hasta febrero de 2008 en un huerto de mango cv. Haden, injertado en la porta injerto de cv. Co-quinho. El suelo era un Suelo químicamente pobre (Oxisol Rojo distrófico), de textura arcillosa, ubicado en la antigua finca experimental del campus Selviria de la Universidad del Estado de São Paulo (UNESP), a la latitud 20 ° 14 'S, longitud 51 ° 10' O y una altitud de 335 m s.n.m. La cantidad de cal aplicada se calculó para conseguir una saturación de base del 80%. Los tratamientos de cal se determinaron con respecto a la dosis de cal de referencia calculada requerida para lograr una saturación de base del 80% a una profundidad de 0 - 20 cm. La dosis de referencia fue de 3,1 t · ha⁻¹ y los tratamientos fueron los siguientes: T1: sin cal, T2: la mitad de la dosis de referencia, T3: la dosis de referencia, T4: 1,5 veces la dosis de referencia, T5: el doble de la dosis de referencia, calculado como 0;

1,55; 3,10; 4,65 y 6,20 t de cal por hectárea. El encalado del suelo mejoró la reacción química del suelo, conduciendo a un pH más alto, y H y Al más bajos. Las concentraciones de Ca y Mg también aumentaron, dando lugar a aumentos tanto en la suma de bases como en la saturación de bases. El procedimiento de encalado no afectó el número de frutos ($F = 0,37$, ns) o la producción ($F = 0,54$, ns) en el primer año del estudio. Sin embargo, en el segundo año, el encalado del suelo promovió un incremento en el número de frutos y el nivel de producción de los árboles. Si bien la respuesta de producción de los árboles pudo ser descrita como una respuesta lineal, el rendimiento de fruta más alto se logró con una dosis de cal de $4,6 \text{ t ha}^{-1}$, en cuyo punto la saturación de la base del suelo fue del 72%. Prakash et al. (2015) evaluaron el efecto de los regímenes de riego por goteo y los niveles de fertirrigación sobre el rendimiento y la calidad del mango cv. Alphonso bajo plantación de alta densidad. El estudio se llevó a cabo durante 2009-2010 en JISL Farm, Elayamuthur, Udumalpet. Los árboles fueron plantados con un espaciamiento de $3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. Hubieron tres regímenes de riego en las parcelas principales: I1 ($16 \text{ L día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$), I2 ($20 \text{ L día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$) e I3 ($24 \text{ L día}^{-1} \text{ planta}^{-1}$) y cuatro niveles de fertirrigación en sub parcelas, F1 (50% del fertilizante de dosificación recomendado (RDF) - $60,0 / 37,5 / 50,0 \text{ g de NPK}$), F2 (75% RDF - $90,0 / 56,5 / 75,0 \text{ g de NPK}$), F3 (100% RDF - $120,0 / 75,0 / 100,0 \text{ g NPK}$) Y F4 (125% de RDF - $150,0 / 93,75 / 125,0 \text{ g de NPK}$), se replicaron tres veces en un diseño de parcela dividida. En las parcelas principales se aplicaron tratamientos de riego diariamente y en subparcelas se aplicaron tratamientos de fertirrigación a intervalos semanales. Así, hubo doce combinaciones de tratamiento con riego y fertirrigación. Los regímenes de riego se aplicaron a través de un sistema de riego por goteo según el programa de tratamiento a intervalos diarios, excluyendo el mes de diciembre para inducir el estrés para la floración. La fertirrigación se aplicó inmediatamente después de la cosecha (julio, agosto y septiembre), pre-floreCIMIENTO (octubre, noviembre y diciembre), floración en fruto (enero, febrero y marzo) y desarrollo frutal (abril y mayo) a intervalos semanales según los tratamientos de fertirrigación mencionados anteriormente. En el presente estudio, la aplicación de 24 l de agua por día por planta produjo un porcentaje de fruta significativamente mayor, un mayor peso de la fruta y un mayor número de frutos por árbol. La aplicación de 100% de RDF aumentó significativamente el porcentaje de fruta establecida, el número de frutos y el rendimiento de la fruta. La interacción entre los regímenes de agua y el nivel de nutrientes reveló que I3 F3 es decir, la aplicación de 24 L día^{-1} por planta a través de un goteo y el suministro de 100%

de RDF se requiere para obtener el mayor rendimiento. Respecto a la calidad de los frutos Prakash et al. (2015) informaron que se registraron los contenidos más altos de TSS, azúcares totales, carotenoides y ácido ascórbico para la aplicación de 24 l de agua por día por planta (I3), mientras que los niveles más bajos de estos rasgos se registraron en el tratamiento proporcionando 16 l de agua Por día por planta (I1). Salazar-García et al. (2016) estudiaron la influencia de los tratamientos de fertilización en presencia de frutos partenocárpico en mango cv. Ataulfo, en México. El estudio se realizó en Nayarit, México, en cv. Ataulfo, en el que se ha observado una alta producción de frutos partenocárpico. Uno de los objetivos de su estudio fue evaluar la influencia de la fertilización del suelo sobre la presencia de frutos partenocárpico. La investigación se realizó en dos huertos comerciales de cv. Ataulfo ubicado en un clima cálido y húmedo en la costa de Nayarit. Se evaluaron dos niveles de fertilizantes balanceados (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B), basados en las necesidades nutricionales del árbol, fertilidad del suelo y eficiencia de fertilización. Los árboles de control no recibieron fertilizantes. Los tratamientos de fertilización no afectaron la proporción de mangos partenocárpico que alcanzaron la madurez a la cosecha.

a. La fertilización orgánica:

La agricultura orgánica (OA) se ha definido recientemente como un sistema de producción que sostiene la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Según la Federación Internacional de Movimientos Agropecuarios Orgánicos (IFOAM), se basa en procesos ecológicos, biodiversidad y ciclos adaptados a las condiciones locales más que en el uso de insumos artificiales con efectos adversos sobre el medio ambiente y potencialmente sobre la salud humana (IFOAM, 2009). Un 8 % del área total de mangos plantados en México está en proceso de conversión de sistemas convencionales a orgánicos, principalmente en la Costa del Pacífico bajo condiciones tropicales secas y húmedas (Medina-Urrutia et al. (2011)). Los cultivares de mango en sistemas orgánicos son Tommy Atkins, Kent, Ataulfo, y son demandados por el mercado para su temporada de cosecha temprana o tardía (Medina-Urrutia et al., 2011). Según Medina-Urrutia et al. (2011) cultivares de mango para la producción orgánica en México se seleccionan de acuerdo con una serie de características:

- 1) temporada de cosecha (temprana o tardía);
- 2) adaptabilidad al medio ambiente;

- 3) los requerimientos de agua;
- 4) tamaño del árbol (enano a semi enano);
- 5) mejor tolerancia de los árboles y frutos a plagas y enfermedades;
- 6) calidad y comercialización de los frutos;
- 7) proximidad a los mercados.

Los estudios de fertilización realizados en México para determinar la dosificación óptima de nutrientes en mangos maduros no mostraron diferencias de rendimiento entre los árboles tratados y de control (Ireta-Ojeda, comuna, Medina-Urrutia et al., 2011). Por el contrario, Avilan (1983) informó un aumento en el rendimiento y crecimiento vegetativo como consecuencia de la aplicación de fertilizantes orgánicos. También, Das et al. (2009) reportaron una mejor floración y rendimiento cuando se combinó fertilizante químico con fertilizante orgánico. Hasta la fecha, el uso de fertilizantes en mangos mexicanos se basa en informes técnicos adaptados de estudios en países externos (Vázquez-Valdivia et al., 2006; Ireta-Ojeda y Estrada-Guzman, 2002). La diversidad de condiciones físicas y químicas del suelo, los porta injertos y la disponibilidad de agua son los factores más importantes que interactúan con la nutrición de los árboles. En estas condiciones, la nutrición orgánica se elige según una diversidad de formulaciones locales preparadas por los productores que utilizan recursos locales como resultado de su propia experiencia acumulada (Medina-Urrutia et al., 2011).

Silva et al. evaluaron tres diferentes compostas (A, B y C) y tres dosis (0, 5 y 10 t ha⁻¹), las características químicas del suelo, el contenido de nutrientes en hojas y el nivel de producción de los cultivos de mango orgánico bajo las condiciones semiáridas del noreste de Brasil. El experimento se realizó en un diseño de bloques al azar de 3 x 3 factorial (3 compostas x 3 niveles), con tres repeticiones. Las compostas orgánicas se prepararon a partir de residuos animales y vegetales, enriquecidos con ricino, MB4® y termo fosfato. El enriquecimiento fue eficiente para aumentar el contenido de nutrientes de las compostas. Las compostas orgánicas aumentaron los niveles de materia orgánica del suelo (MOS), especialmente el compuesto C, cuyo análisis del suelo mostró mayores niveles de P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn y Zn totales. La MOS aumentó linealmente con el aumento de los niveles de compostas. La producción y el número de frutos por planta fueron mayores cuando se utilizaron compostas B y C, que mostraron mayores contenidos de nutrientes totales. El contenido de N en las hojas aumentó linealmente

con el nivel de composta. La producción de fruta (kg ha^{-1}) y el número de frutos por planta mostraron un incremento cuadrático con la concentración de composta, sin alcanzar un máximo.

Peralta-Antonio et al. (2014) evaluaron las respuestas a la fertilización orgánica en los cultivares de mango: Manila, Tommy Atkins y Ataulfo. La investigación se realizó durante cuatro años consecutivos (2009-2012) en el Campo Experimental de Cotaxtla (INIFAP) ($18^{\circ} 56'13'' \text{N}$; $96^{\circ} 11'38'' \text{W}$), Veracruz, México. El suelo en el lugar experimental es un vertisol, con textura de arcilla (30%) con una profundidad de 1 m y pH ligeramente ácido (6.5). Se utilizaron tres fertilizantes orgánicos: vermicompost (V), bokashi (B) y estiércol de pollo (CM), a dosis de 5 y 10 t ha^{-1} (equivalente a 7,5 y 15 kg árbol^{-1}). Estos fertilizantes orgánicos se compararon con dos dosis recomendadas por Mosqueda et al. (1996): 230-0-300 y 230-0-0 g de NPK árbol^{-1} , y un control; Se aplicaron en septiembre de 2009. Durante ese año, las aplicaciones se realizaron al suelo en la periferia de la copa, para lo cual se excavaron zanjas, de aproximadamente 20 cm de ancho por 10 cm de profundidad, donde se colocaron y cubrieron los fertilizantes. A partir de 2010, los fertilizantes se distribuyeron uniformemente por toda el área bajo el dosel, a una profundidad de 10 cm y cubiertos con tierra. Durante la estación seca (diciembre a mayo), se aplicaron láminas de riego de 54 mm cada 20 días. El diseño fue completamente aleatorio para las variables del suelo. Para las variables de crecimiento, floración y rendimiento de frutos se utilizó un diseño de parcelas subdivididas completamente al azar, donde el mango es la parcela grande, y la fuente de fertilizante es la parcela dividida, con tres repeticiones, considerando un árbol como unidad experimental. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de fertilizantes para el pH del suelo y la materia orgánica del suelo a 0-20 y 20-40 cm de profundidad. En cuanto a los macronutrientes, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) sólo para el contenido de N, K y Ca, en los primeros 20 cm de profundidad. Se observaron diferencias en el diámetro del tronco entre los cultivares. La floración difirió significativamente entre los cultivares y los fertilizantes. En cuanto al rendimiento en 2010, sólo se cosecharon las frutas de Tommy Atkins, mostrando diferencias entre los fertilizantes y el control. En 2011 hubo diferencias entre los cultivares y fertilizantes, donde el estiércol de pollo y fertilizantes minerales superaron al control. En 2012, Tommy Atkins superó a Ataulfo. Se concluyó que el estiércol de pollo a 10 t ha^{-1} , tuvo un efecto similar a las dosis

minerales en los contenidos de N, K, Cu y Zn; El fertilizante no afectó el diámetro del tronco; Bokashi y el estiércol de pollo a 10 t ha⁻¹ tuvieron un efecto similar a las dosis de mineral en la floración y el rendimiento.

H. DISCUSIÓN

El objetivo de esta sección es resumir y destacar los principales resultados encontrados en esta revisión con respecto a las diferentes estrategias de riego y fertilización evaluadas u otra información relevante encontrada en la literatura científica que proporcione información para apoyar el desarrollo e investigación en estrategias de riego para el mejoramiento de WUE, en la cadena de producción de fruta de mango, para los productores de mango que actualmente exportan mango a los Estados Unidos o pueden hacerlo en el futuro. Esta sección se enfocará principalmente en la influencia de las diferentes estrategias de riego en los siguientes parámetros productivos: peso del fruto, número de frutos por árbol, rendimiento, crecimiento vegetativo y rotación alterna.

Peso de la fruta:

El impacto del riego sobre el peso del fruto parece ser más dramático durante el período fenológico del crecimiento final del fruto (FFG) (expansión celular) que durante el período de crecimiento del fruto principal (MFG) (división celular). Diczbalis et al. (1993) reportaron un impacto significativo en el peso del fruto cuando el riego cesó dos a tres semanas antes de la cosecha, con un peso medio individual de los frutos (alrededor de los 320g) fue reducido en 45 g en un sitio con suelo arenoso en el Territorio del Norte, Australia. En un estudio similar, en un suelo franco-arenoso, el impacto fue menor, el cese del riego cuatro semanas antes de la cosecha redujo el peso del fruto en 22 y 27 g, respectivamente, comparado con el fruto de los árboles irrigados hasta dos semanas o una semana antes de la cosecha (Diczbalis 1994a). Levin et al. (2015 a, b) reportaron una reducción en el porcentaje de frutos grandes (tamaño 4-6) del 19,4% al 9,4% y en el peso final del fruto 34,5 g, cuando se impuso restricción de agua durante el período FFG (riego 3,8 mm / Día frente a 9,2 mm / día). Además, Kuppelwiesser (1990) informó de una reducción del peso de los frutos de 52 a 69 g en los árboles donde se dejó de regar cinco semanas antes de la cosecha. Simmons et al. (1998) reportaron resultados similares en árboles del cv. Kensington Pride en Bowen, Australia. El peso de la fruta de los árboles donde el riego cesó 71/2 semanas antes de

la cosecha (350 g) se redujo significativamente en comparación con el peso del fruto de los árboles irrigados hasta 11/2 semanas antes de la cosecha o irrigado hasta la cosecha (479 y 513 g, respectivamente).

En contraste, Spreer et al. (2007, 2009 a, b) informaron que tanto el PRD como el RDI tuvieron una mejor distribución del tamaño de la fruta que el control totalmente irrigado con casi el 60% de las frutas de más de 250 g. Los autores explicaron los resultados como una consecuencia de la interacción entre el tamaño del fruto y la carga de la cosecha (se recogió menos fruta del tratamiento con PRD y RDI con respecto al tratamiento de control). Además, estudios recientes indican que el cese del riego una a dos semanas antes de la cosecha puede no reducir el peso del fruto (Bithell et al., 2010). Simmons et al. (1995) observaron que, si el riego cesaba entre la floración y la primera mitad del período de crecimiento de las frutas, se producía (crecimiento por división celular) el estrés hídrico y este afectó la tasa de crecimiento del fruto y el tamaño final del fruto. Sin embargo, no se observó ningún efecto en el tamaño del fruto para una escasez de agua cercana a la cosecha (por ejemplo, 1,5 semanas antes de la cosecha). Simmons et al. (1995) también informaron que cuando el agua fue retenida durante el segundo mes de desarrollo del fruto, el tamaño (kg) final del fruto fue 34% menor que el de los árboles no estresados.

La interacción entre la cantidad y calidad del agua, y las condiciones ambientales y del suelo, pueden acentuar los efectos de la cesación del riego en el peso del fruto. Los suelos arenosos ligeros, presentes en muchas de las áreas productoras de mango en todo el mundo, pueden verse afectados más rápidamente y más profundamente por el cese del riego durante el período crecimiento final y maduración de la fruta (FFG) (Diczbalis y Bowman, 1991; Diczbalis et al., 1995b). Además, el cese temprano del riego hasta un mes antes de la cosecha, dependiendo de la fecha de floración del cultivo, puede ocurrir durante meses cuando los valores de evaporación efectiva (evaporación del Tanque Clase "A") están en su punto máximo (Bithell et al., 2010). Por lo tanto, las demandas ambientales en épocas particulares combinadas con suelos ligeros, por ejemplo, pueden contribuir a reducir el relleno de los frutos y por lo tanto a reducir los pesos de los frutos.

Por el contrario, las restricciones de agua durante el período de máximo crecimiento del fruto (MFG) pueden no afectar el tamaño final del fruto, especialmente si se restaura

el riego durante el período de FFG. Torrecillas et al. (2000) informaron que cuando el riego por déficit se aplicó en la primera etapa de crecimiento del fruto (crecimiento exponencial) en el albaricoque (similar al período MFG en el mango) el tamaño final del fruto no fue afectado. En su estudio, cuando se restableció el riego en la tercera etapa de crecimiento del fruto (similar al período FFG en el mango), se observó un crecimiento compensatorio que permitió que el fruto alcanzara un diámetro similar al del tratamiento de control.

La cantidad de agua puede afectar directamente al tamaño final del fruto, tal como se ha presentado anteriormente, o tener un impacto indirecto a través de la mejora de la proporción hoja/fruta, por ejemplo. Léchaudel et al. (2005) informaron que el aumento de la relación hoja/fruta aumentó fuertemente el peso fresco en los árboles de mango en cv. Lirfa en las islas La Reunión. Resultados similares fueron también reportados por Simmons et al. (1998) en North Queensland, Australia en el cv. Kensington Pride donde el tamaño de la fruta aumentó con el número de hojas por fruta. Levin et al. (2015b) informaron un aumento en el número de nuevos brotes vegetativos con aumento de la cantidad de agua durante el período posterior a la cosecha (PC). El rendimiento de la siguiente temporada de árboles se correlacionó bien con el número de nuevos flujos de crecimiento vegetativo de la temporada de PC anterior (es decir, la proporción hoja: fruta mejoró), aunque los árboles fueron regados uniformemente durante el período de desarrollo del fruto.

El número de frutos:

En general, se ha informado que el riego en el cuajado de frutas y durante el período de FFG promueve un mayor número de frutos en la cosecha. Pavel y de Villiers (2004) informaron una reducción (no significativa) en el rendimiento debido a la aplicación de los tratamientos de RDI y PRD en comparación con el tratamiento con riego completo. Las diferencias de rendimiento entre los tratamientos aparentemente estaban relacionadas principalmente con el número de frutos, lo que indica que los tratamientos de riego reducidos podrían haber afectado las condiciones de crecimiento antes de la floración o durante las primeras etapas de crecimiento de las frutas en lugar de crecimiento más tarde en la temporada. Spreer et al. (2007, 2009 a, b) reportaron el mayor rendimiento y la cantidad promedio de fruta por árbol en el tratamiento de control (completamente irrigado) en comparación con los tratamientos de RDI y PRD,

posiblemente causados por la ausencia de caída de fruta en la etapa temprana de desarrollo del fruto. Irving y Drost (1987), Sánchez-Blanco et al. (1987) reportaron resultados similares sobre el efecto del aumento de la cantidad de agua en el número final de frutos por árbol en la cosecha. (1989) y Mitchell et al. (1989) en varios cultivos frutales. Levin et al. (2015a, b) reportaron que las diferencias registradas (no significativas) en el rendimiento entre los tratamientos durante el período de MFG (fruto cuajado hasta el endurecimiento del carozo) se basaron principalmente en el número de frutos y no en el tamaño del fruto (la misma tendencia en todos los años de alta producción). Por el contrario, Durán-Zuazo et al. (2011 a) informaron que SDI (50% ETC) consistentemente dio lugar a un mayor número de frutos que otros tratamientos, incluyendo el más irrigado (control). En un estudio de cobertura (mulching) y de riego, Kumar et al. (2008) informaron que la cobertura orgánica combinada con un programa de riego por goteo de 50% de evaporación mejoró significativamente el número final de frutos en árboles de mango en 130 y 40 frutos / árbol respectivamente, comparado con la cobertura orgánica combinado con un programa de riego por goteo del 75% y del 25% de la evaporación. En un estudio hecho en Brasil, los árboles que recibieron reemplazo potencial de evapotranspiración al 100% produjeron de 2 a 3 t ha⁻¹ menos que los árboles irrigados al reemplazar la evapotranspiración potencial al 70%, 80% o 90% (da Silva et al., 2009).

La sincronización de riego puede afectar el cuajado de frutas y el número de frutos por árbol y el crecimiento vegetativo de post-cosecha, (Levin et al. (2015a, b). En un estudio realizado en el Territorio del Norte, Australia, la proporción de frutas cuajadas se redujo de forma significativa cuando el riego previo a la floración a tasas bajas y altas (por ejemplo, 13 y 50 mm / semana) en árboles que no fueron tratados con paclobutrazol (Diczbalis y Wicks, 1996).

El crecimiento vegetativo y rendimiento:

El rendimiento en el mango se correlaciona mejor con el número de frutos en lugar del peso de los frutos (Spreer et al., 2009 a). Como los mangos son un cultivo perenne, los efectos de traspaso de las prácticas de gestión de una estación a otra son importantes a medio y largo plazo y tendrán un impacto en la producción. La producción de fruta de mango se produce principalmente sobre el crecimiento vegetativo del año anterior (o temporada) (Marloth, 1947).

Las prácticas de riego por déficit han reducido el crecimiento vegetativo en una serie de cultivos arbóreos (Romero et al., 2004, Coy et al 2009, Iniesta et al., 2009). Estos efectos se pueden ver positivamente en cultivos como la pera, donde el déficit hídrico severo y moderado durante el desarrollo de las yemas hasta la aparición de las hojas, o desde la floración hasta el cuajado de las frutas, disminuyó la intensidad del brote vegetativo, el diámetro de los nuevos brotes y la longitud de la panícula (Cui et al. 2009). Estos niveles de déficit hídrico durante estos períodos también redujeron el índice de área foliar (IAF) y la poda, sin embargo, aumentaron la eficiencia del uso del agua en un nivel de rendimiento de 17,3-41,4%. En contraste, Romero et al. (2004c) reportaron un impacto negativo del déficit post-cosecha (50% de las ETP) en un ambiente árido que condujo a almendros más pequeños y redujo los rendimientos durante cuatro años.

Los resultados de varios estudios realizados bajo condiciones tropicales indican que el impacto primario del estrés hídrico sobre el mango fue prevenir el crecimiento vegetativo durante el período de tensión antes de la floración (Tahir et al., 2003) para promover una floración intensiva y homogénea. Levin et al. (2015b) reportaron un impacto significativo del aumento de la cantidad de agua durante el período de crecimiento final del fruto (FFG) en cv. Keith sobre el crecimiento vegetativo de post-cosecha, en condiciones semiáridas, aún si bien estos árboles recibieron la misma cantidad de agua durante el período de post-cosecha (PC). Además, los árboles más irrigados durante el período FFG produjeron cosechas significativamente mayores en la misma estación. Sin embargo, en los árboles del mismo tratamiento de alto riego, bajo condiciones de baja producción (menos de 15 t ha^{-1}) el mismo tratamiento causó un impacto negativo en el crecimiento vegetativo del PC. En este mismo experimento de cuatro años, Levin et al. (2015b) también informaron que la diferencia en el rendimiento entre el tratamiento menos y más irrigado aumento a cada año, obteniéndose una diferencia de 46% en el rendimiento entre el primer año experimental (2010) y el último año (2014). Estos resultados ponen de relieve el efecto acumulativo del agua en un período fenológico crítico en el que la demanda fisiológica de agua puede ser alta durante el período FFG bajo condiciones de cultivo de carga pesada y significativamente menor bajo la producción de cultivos de carga ligera. En el mismo experimento, Levin et al. (2015b) reportaron un aumento significativo en el crecimiento vegetativo del PC con el aumento de la cantidad de agua durante el período PC. Durante

tres de cuatro temporadas (dos de ellas significativas) el rendimiento aumentó en 19,3 - 38,3%, aunque estos árboles recibieron la misma cantidad de agua durante el período de fructificación.

Spreer et al. (2007) reportaron una reducción en la producción en árboles regados con el tratamiento PRD con respecto a los árboles del tratamiento de control, completamente irrigado, casi duplicando la eficiencia en el uso del agua (WUE), aunque las diferencias no fueron significativas. Pavel y de Villiers (2004) reportaron una reducción significativa en el crecimiento vegetativo cuando se redujo progresivamente la irrigación (PRI-1 [20%], PRI-2 [35%], RDI [agua durante cuatro semanas cada uno durante mayo / junio de 2000 y durante diciembre de 2000 /]) con respecto al crecimiento vegetativo del control de la finca (FC). Las diferencias en el rendimiento entre tratamientos no fueron significativas, aunque los árboles en el tratamiento de control (85% de FC) mostraron el mayor rendimiento entre todos los tratamientos, seguido por el tratamiento de RDI y el control de la finca. Se han citado respuestas negativas de la producción de frutos al sobre riego para una serie de cultivos (Geerts y Raes 2009).

Alternancia en la producción:

Alternancia en la producción (también llamado producción irregular o bienal) es la tendencia de un árbol frutal de producir una gran cosecha (ON) seguido por una cosecha ligera o cosecha nula (off-año de cosecha) (Verreynne y Lovatt, 2009). El fenómeno es generalizado, ocurriendo en árboles caducifolios y de hoja perenne (Monselise y Goldschmidt, 1982). La alternancia de producción puede ocurrir en toda una región o bloque de árboles, en un árbol individual, parte de un árbol o incluso en una rama (Monselise y Goldschmidt, 1982). La alternancia de producción es iniciada por un desencadenante ambiental que es favorable o desfavorable a la producción de cultivos, resultando en un conjunto excesivo de frutas o un adelgazamiento extremo de las estructuras reproductivas, respectivamente (Hield y Hilgeman, 1969). La alternancia de producción puede ser un problema importante en la producción de mango, principalmente en áreas subtropicales.

Varios estudios han demostrado que el rendimiento de los árboles de mango se ve afectado por el régimen de riego. Sin embargo, hay pocos estudios, si es que hay alguno, a largo plazo (cinco o más temporadas) necesarios para evaluar el impacto de diferentes

regímenes de riego en el porte alterno del mango. Spreer et al. (2009 a) informaron que el rendimiento de la fruta varió considerablemente entre años. Entre el 38 y el 75% de los árboles demostraron tener rendimientos alternos, lo que significa que una alta carga de cultivos en un año afectó negativamente a la floración y al fruto al año siguiente. A pesar de que el fenómeno de la alternancia de producción se pudo observar en todo el huerto, no fue posible identificar un efecto directo de los tratamientos o de los rendimientos en las temporadas anteriores sobre la carga actual del cultivo. El rendimiento alternativo impone una fuerte limitación en el rendimiento de la fruta. No se observó ningún efecto del tratamiento de riego sobre la floración en la estación subsiguiente, ni los efectos a largo plazo de no riego y riego deficitario. Similarmente, Levin et al. (2015b) evaluaron el impacto de cuatro diferentes tratamientos de riego aplicados en tres etapas fenológicas diferentes (12 tratamientos) sobre la alternancia en la producción en cv. Keitt bajo condiciones semiáridas israelíes durante cuatro temporadas consecutivas (2011 a 2014). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en los tres estadios fenológicos diferentes. Los valores de los índices de alternancia en la producción para el experimento de cuatro años oscilaron entre 0,44 y 0,53 sin ninguna relación con tratamientos y / o estadios fenológicos.

I. CONCLUSIONES

Aunque se ha realizado un número significativo de estudios sobre el mango con respecto a las necesidades de agua de los cultivos y las estrategias de ahorro de agua, no existe un consenso claro entre los investigadores sobre el tema. En cuanto al cultivo, la amplia gama de condiciones climáticas y de suelo en las que se cultiva el mango, por ejemplo, dificulta el desarrollo de un protocolo de riego ampliamente aplicable. Además, el gran número de diferentes cultivares de mango de todo el mundo, con gran variación en las características genéticas y las consecuentes respuestas a las condiciones ambientales y prácticas agrícolas, dificultan aún más esta tarea.

Una de las principales limitaciones destacadas por los estudios considerados para esta revisión es el hecho de que la gran mayoría de estos estudios se realizaron sólo durante dos temporadas. Con el fin de evaluar el impacto de diferentes estrategias de riego, especialmente si el objetivo es desarrollar un protocolo de riego y / o fertilizante, se requiere un mínimo de cuatro a cinco temporadas de producción. Los efectos

secundarios de algunos de los tratamientos de riego, principalmente el riego por déficit, pueden haber sido pasados por alto en un período de tiempo tan corto, especialmente en estudios que se llevaron a cabo en suelos pesados.

Otro punto cuestionable encontrado en muchos de estos estudios es el hecho de que el período de fructificación se consideró como un evento único, suponiendo que la respuesta del fruto a diferentes estrategias de riego se distribuye uniformemente a lo largo de los períodos de maduración y desarrollo del fruto. Ram et al. (1983) informaron que la curva de crecimiento del fruto del mango es un tipo sigmoide típico donde se pueden distinguir claramente dos periodos de cultivo de frutas: 1) crecimiento exponencial por rápida división celular y agrandamiento celular; y 2) crecimiento lento por ampliación celular solamente. Los pocos estudios hallados para esta revisión, en los que el período de fructificación se separó en dos períodos fenológicos diferentes, crecimiento del fruto y maduración del fruto, demostraron que esta suposición de considerar la fructificación como un evento fenológico único era incorrecta. Además, el objetivo principal de muchos estudios sobre posibles estrategias de riego para el mango se relacionó con el ahorro de agua, en lugar de los requerimientos de agua de los cultivos para maximizar la producción de frutas, en cuanto a cantidad y calidad, a corto, mediano y largo plazo. Finalmente, el número de publicaciones en la literatura científica internacional pertinente, de estudios de riego realizados sobre mango en países latinoamericanos, con excepción de Brasil, es insignificante.

J. RECOMENDACIONES

Las áreas de investigación recomendadas se refieren principalmente a los países productores de mango de América Latina. Esta revisión de la investigación realizada sobre las estrategias de riego pasadas y presentes en el mango demuestra la necesidad de seguir trabajando en una serie de campos, para determinar:

1. Evaluación de requisitos de agua del mango a través del uso de lisímetros. (Investigación cuantitativa).
2. Impacto de las diferentes cargas (producción) de los cultivos en las necesidades de agua en condiciones de lysimeter. (Investigación cuantitativa).
3. Consumo mineral de mango bajo diferentes cargas (producción) de cultivos bajo condiciones de lysimeter. (Investigación cuantitativa).

4. Impacto de las diferentes cargas (nivel de producción) de cultivos sobre los requerimientos de agua de mango bajo condiciones de cultivo particulares. (Investigación cualitativa).

5. Requerimientos de agua de mango para maximizar la producción a corto, mediano y largo plazo, con respecto a cantidad y calidad, bajo diferentes condiciones climáticas y de suelo. (Investigación cualitativa y cuantitativa).

6. Respuesta a largo plazo del mango (por lo menos cuatro ciclos) a diferentes cantidades de agua, incluyendo el riego deficitario, sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento asociado en cada etapa fenológica en un ambiente sin precipitación efectiva durante la temporada de producción y su impacto en el comportamiento de post-cosecha de la fruta, principalmente en los cultivares exportados a los Estados Unidos. (Investigación cualitativa).

7. Prácticas de riego necesarias para apoyar el número óptimo de frutos después del uso de reguladores de crecimiento u

otros tratamientos de floración para los principales cultivares de mango exportados a los Estados Unidos en diferentes condiciones del suelo. (Investigación cualitativa)

8. Impacto del riego con diferentes calidades de agua sobre parámetros de producción como número de frutos, distribución de tamaño de fruta, calidad de fruta (producto químico), rendimiento total, crecimiento vegetativo, comportamiento de post-cosecha alternancia en la producción bajo diferentes condiciones de suelo y clima. (Investigación cualitativa)

9. Impacto de la frecuencia de riego, en comparación con las cantidades de agua, bajo condiciones de suelo diferentes, sobre la producción y el comportamiento post cosecha de frutas de diferentes cultivares. (Investigación cualitativa).

10. Impacto a corto, mediano y largo plazo de diferentes métodos de riego (gravedad, aspersión y riego por goteo) en diferentes condiciones del suelo sobre la producción y el comportamiento post cosecha de diferentes cultivares. (Investigación cualitativa).

11. Efecto de diferentes estrategias de riego en comparación con un sistema totalmente automatizado (es decir, riego basado en crecimiento o GBI, basado en sensores de plantas, suelo y clima).

12. Utilidad de diferentes estrategias de fertilización foliar, con énfasis en los productores de mango de tamaño pequeño y mediano sin sistemas de riego adecuados, como alternativa o complementaria a la fertilización manual del suelo. (Investigación cualitativa).

Se recomienda realizar los estudios propuestos anteriormente durante un mínimo de tres a cinco temporadas de producción con el fin de evaluar adecuadamente el impacto de diferentes estrategias de riego y / o fertilización sobre las variables de producción relevantes (incluyendo el rodamiento alternativo) pertinentes para los cultivadores de mango. Asimismo, se recomienda llevar a cabo estas evaluaciones o parte de ellas en las fincas de los productores que estén interesados en participar en dichos proyectos. Esto puede facilitar la difusión posterior de la información entre los productores de mango, local e internacionalmente, de una manera más efectiva.

K. AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a la Sra. Carly Golodes para la edición de este examen y a la National Mango Board por su apoyo y confianza, especialmente al Dr. Leonardo Ortega.

L. LITERATURA CITADA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., (1988). 'Crop evapotranspiration'. (guidelines for computing crop water requirements), *FAO Irrigation and Drainage*, Pap. N° 56, FAO, Rome, Italy.
- Angelakis, A.N., Marecos do Monte, M.H.F., Bontoux, L. and Asano, T., (1999). 'The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines'. *Water Res.*, 10: 2201–2217.
- Anon., (2002). 'Deficit irrigation practices'. Water report 22. Rome, Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 101 p.
- Anon., (2011). 'Technical report of research by SOMO for Agribusiness Action Initiatives'. Socio-economic Issues in the Peruvian Mango Supply Chain of EU Supermarkets. <https://www.somo.nl/wp-content/uploads/2011/03/Socio-economic-Issues-in-the-Peruvian-Mango-Supply-Chain-of-EU-Supermarkets.pdf>.
- Anon. (2016). The National Mango Board (2016). Mango Crop Report, updated 8 of October, 2016. http://mango.org/Mangos/media/Media/Documents/Industry-Market%20Information/Mango_Crop_Forecast.pdf.
- Asano, T., and Levine, D., (1991). 'Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future'. Second International Symposium on Water Quality, Wastewater reclamation and Reuse, Iraklio, Greece, pp. 5–17.
- Avilan, R.L., (1983). 'La fertilización del mango *Mangifera indica* L en Venezuela'. *Fruits*, 38:183-188.
- Azzouz, S. and El-Nokrashyand Dahshan, I.M., (1977). 'Effect of frequency of irrigation on tree production and fruit quality of mango'. *Agric. Research Review*, 55 (3): 59-66.
- Bally, I.S.E., Harris, M. and Whiley, A.W., (2000). 'Effect of water stress on flowering and yield of Kensington Pride mango (*Mangifera indica* L.)'. *ActaHortic.*, 509:277–282.
- Bally, I.S.E., (2006). '*Mangifera indica* (mango), in Species Profiles for Pacific Island' *Agroforestry*, ver.3.1, pp. 25. <http://www.traditionaltree.org>.
- Bally, I.S.E., (2009). 'Crop production: mineral nutrition'. In: Litz, R.E. The mango: botany, production and uses. 2.ed. CAB International, p. 404-431.
- Berman, M.E, and DeJong, T.M., (1996). 'Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*)'. *Tree PCysiology*, 16: 859-864.
- Beutel, J.A., (1964). 'Soil moisture, weather and fruit growth'. *Calif. Citrog.*, 49:372.
- Bhambid, R.B., Gunjate, R.T., Lab, B.L. and Salvi, M.J., (1988). 'Effects of irrigation on fruit drop in AIPConso mango. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 13(3): 339-340.

- Bithell, S. L., Diczbalis, Y. and Moore, C. (2010). 'Review of Mango Irrigation Research in the Northern Territory'. Northern Territory Government, Australia. *Technical Bulletin No. 334*.
- Brun, C., Raese, J.T. and Stahly, E.A. (1985a). 'Seasonal responses of `Anjou' pear trees to different irrigation regimes. I. Soil moisture, water relations, tree and fruit growth'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 110: 830-834.
- Brun, C., Raese, J.T. and Stahly, E.A. (1985b). 'Seasonal responses of `Anjou' pear trees to different irrigation regimes. I. Mineral composition of fruit and leaves, fruit disorders and fruit set'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 110: 835-840.
- Carr, M.K.V., (2014). 'The water relations and irrigation requirements of mango (*Mangifera indica* L.): A review. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v.50, n.1, p.1-23.
- Caspari, H.W., Behboudian M.H. and Chalmers, D.J., (1994). 'Water use, growth and fruit yield of `Hosui' Asian pears under deficit irrigation'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 119: 383-388.
- Chacko, E. K., Reddy, Y.T.N. and Ananthanarayanan, T.V., (1982). 'Studies on the relationship between leaf number and area development in mango (*Mangifera indica* L.)'. *Journal of Horticultural Science*, 57 (4): 483-492.
- Chacko, E.K., (1986). 'PCysiology of vegetative and reproductive growth in mango (*Mangifera indica* L.) trees'. Proc. 1st Australian Mango Wksp. 54-70.
- Chacko, E.K., (1991). 'Mango flowering- still an enigma!' *Acta Hort.*, 291: 12-21.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. and van Heek, L., (1981). 'Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 106: 307-12.
- Chalmers, D.J., Burge, G., Jerie, P.H. and Mitchell, P.D., (1986). 'The mechanism of regulation of `Bartlett' pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 111: 904-907.
- Chandel, J.S. and Singh, R., (1992). 'Effect of different irrigation levels on growth, cropping and mineral composition of mango (*Mangifera indica* L.)'. *Acta Horticulturae*, 321: 561-565.
- Chen, H., Huang, M., Chen, H.B. and Huang, M.Y., (1995). 'Fruit growth and abscission of the mango (*Mangifera indica* L.) Zihua'. *J. South China Agr. Univ.*, 16:73-77.
- Chia, C.L., Hamilton, R.A., and Evans, D.O., (1988). 'Mango. Commodity Fact Sheet MAN-3(A)'. Hawaii Coop. Ext. Ser., Univ. of Hawaii Press, pp:4.
- Coelho, E.F., Oliveira, A.S., Neto, A.O.A., Teixeira, A.E.C., Araújo, E.C.E., Bassoi, L.H., (2002). 'Irrigação'. In: Genu, P.J.C; Pinto, A.C.Q. (Ed.). 'A cultura da mangueira'. cap. 9, Brasilia, 2002. p.167-189.
- Coelho Filho, M.A. and Coelho, E.F., (2005). 'Uso da regulação do déficit de irrigação e produtividade de mangueira Tommy Atkins em condições semi-

- áridas'. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005, Teresina. Anais. Teresina: ABID, 2005. CD-ROM.
- Coelho, E.F., Alves, A.A.C., Oliveira, V.V.M. and Velame, L.M., (2009). 'Manejo de irrigação com déficit (PRD) em pomar de manga „Kent“ no semi-árido baiano'. In: JORNADA CIENTÍFICA, 3., 2009, Cruz das Almas. Anais... Cruz das Almas: EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. 2009. 1 CD-ROM.
- Costa, J.M., Ortuno, M.F. and Chaves, M.M., (2007). 'Deficit irrigation as a strategy to save water: PCysiology and potential application to horticulture'. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(10): 1421-1434.
- Cotrim, C.E., Coelho Filho, M.A., Coelho, E.F., Ramos, M.M. and Cecon, P.R. (2011). 'Regulated deficit irrigation and Tommy Atkins' mango orchard productivity under microsprinkling in Brazilian semiarid'. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 31 (6): 1052-1053.
- Crane, J.H. and Campbell, C.W., (1994). 'The mango'. IFAS Fact Sheet HS-2. Florida Coop. Ext. Serv., IFAS, Univ. of Florida, pp: 4.
- Cuevas, J., Hueso, J.J., Rodríguez, M.C., (2008). In: Sorensen, M.L. (Ed.), 'Deficit Irrigation as a Tool for Manipulating Flowering Date in Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.)' Nova Science Publisher: *Agricultural Water Management*, Research Trends, New York, pp. 237–253.
- Cui, N.B., Du, T.S., Li, F.S., Tong, L. Kang, S.Z., Wang, M.X., Liu, X.Z. and Li, Z.J., (2009). 'Response of vegetative growth and fruit development to regulated deficit irrigation at different growth stages of pear-jujube tree'. *Agricultural Water Management*, 96 (8): 1237-1246.
- Cull, B.W., (1991). 'Mango crop management'. *Acta Hort.* 291: 154-173.
- da Silva, V.D.R., Campos, J. and de Azevedo, P.V., (2009). 'Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil'. *Scientia Horticulturae*, 120(4): 467-472.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2008.12.005>
- Dahsham, D.I. and Habib, S., (1985). 'Seasonal changes in endogenous auxin like substances in relation to fruit drop in mango'. *Suez Canal Univ., Ismailevah* 2:769-780.
- Das, A., Mandal, K.K., Hasan, M.A., Bhattacharya, B., Majumder, D. and Bandopadhyay, B., (2009). 'Effect of organic and inorganic nutrients on improving flowering'. *Acta Hort.*, 820:371-380.
- Davenport, T.L., (1993). 'Floral manipulation in mangos'. In: Chia, L.E., Evans, D.O. (Eds.), *Proceedings of the Conference on Mango in Hawaii*. Cooperative Extension Service, University of Hawaii, Honolulu. U. S. A., pp. 54–60.
- Davenport, T.L. and Nunez-Elisea R., (1997). 'Reproductive PCysiology'. In: Litz RE, ed. 'The mango: botany, production and uses'. Wallingford: CAB International, 69–146.
- Davies, W.J., Bacon, M.A., Thompson, D.S., Sobeih, W. and Rodriguez, L.G., (2000). 'Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants' chemical signalling system and hydraulic

- architecture to increase the efficiency of water use in agriculture'. *Journal of Experimental Botany*, 51: 1617–1626.
- Davies, W.J., Wilkinson, S. and Loveys, B.R., (2002). 'Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture'. *New Phytologist*, 153: 449-460.
- de Almeida, E.V., Fernandes, F.M., de Mello Prado, R. Boliari, A.C. and de Souza Corrêa, L., (2012). 'Mango Tree Response to lime applied during the production PCase'. *Open Journal of Soil Science*, 2012 (2): 155-161. <http://dx.doi.org/10.4236/ojss.2012.22021>. Published Online June 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/ojss>)
- de Azevedo, P.V., da Silva B.B. and da Silva, V.P.R., (2003). 'Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. Agric'. *Water Manage.* 58: 241-254.
- De la Hera, M.L., Romero, P., Gómez-Plaza, E. and Martinez, A., (2007). 'Is partial rootzone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field-grown wine grapes under semiarid conditions?' *Agricultural Water Management*, 87: 261–274.
- de Souza, P.J.O.P., Rodrigues, J.C., de Sousa, A.M.L., de Lima, R.T., da Rocha, E.J.P. and Ortega-Farias, S., (2016). 'Water requirement estimate for the reproductive period of mango orchards in Northeast of the state of Pará, Brazil'. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452016311> *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 38 (3) : e-311 1/12.
- Diczbalis, Y. and Bowman, L., (1991). 'Monitoring soil moisture status in a commercial mango orchard'. Horticulture Branch Technical Annual Report 1990-1991. *Technical Bulletin No. 192*, Northern Territory of Australia, Department of Primary Industry and Fisheries. 81-83 p.
- Diczbalis, Y., Kulkarni, V. and Toohill, B., (1993). 'Mango irrigation and fruit dry matter accumulation'. Horticulture Branch Technical Annual Report 1992-1993. *Technical Bulletin No. 207*, Northern Territory of Australia, Department of Primary Industry and Fisheries. 103-110 p.
- Diczbalis, Y., (1994). 'Mango irrigation and fruit dry matter accumulation'. Technical Annual Report 1993-1994. *Technical Bulletin No. 224*, Northern Territory of Australia, Department of Primary Industry and Fisheries. 65- 66 p. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.820.41 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.820.41>.
- Diczbalis, Y., Wicks, C. and McMahon, G. (1995). 'Mango irrigation research'. Horticulture Division Technical Annual Report 1994-1995. *Technical Bulletin No. 242*, Northern Territory of Australia, Department of Primary Industry and Fisheries. 23-26 p.
- Diczbalis, Y. and Wicks, C., (1996). 'Effect of pre-flowering soil moisture and cultivar on flowering, fruit set and yield of Kensington Pride Mangoes'. Horticulture Division Technical Annual Report 1995-1996. *Technical Bulletin No. 257*, Northern Territory of Australia, Department of Primary Industry and Fisheries. 20-22 p.

- Doorenbos, J., Kassam, A.H., (1979). 'Yield response to water'. FAO *Irrigation and Drainage Paper* N833, Rome.
- dos Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., de Souza, C.R., Maroco, J.P., Pereira, J.S., Silva, J.R. and. Chavez, M.M. (2003). 'Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grape vines (*Vitis vinifera*)'. *Functional Plant Biol.*, 30:663-671.
- Downton, W.J.S., Grant, W.J.G. and Loveys, B.R., (1987). 'Diurnal changes in the PCotosynthesis of field-grown grape vines'. *New PCytol.*, 105:71–80.
- Drechsel, P., Heffer, P., Magen, H., Mikkelsen, R. and Wichelns, D. (2015). 'Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification'. http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/managing_water_and_fertilizer_for_sustainable_agricultural_intensification.pdf. Accessed 05.06.2016.
- Dry, P.R, Botting, D.G., Loveys, B.R. and Johnstone, A. (1995). 'Root pruning as a potential method for vigour control-some preliminary results'. *Austral. Grape Grower and Winemaker*, p. 15– 16, Adelaide.
- Dry, P.R., Loveys B.R., Düring, H. and Botting, D.G., (1996). 'Effects of partial rootzone drying on grapevine vigour, yield composition of fruit and use of water'. In: C. S. STOCKLEY, A. N. SAS, R. S. JOHNSTONE, T. H. LEE (Eds.): Proc. 9th Aust. Wine Ind. Techn. Conf., 128-131. Adelaide, Australia. (Winetitles: Adelaide).
- Dry, P.R. and Loveys, B.R., (1998). 'Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying'. *Aust. J. Grape Wine Res*, 4: 140-148.
- Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F. and Yan, B., (2008). 'Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation'. *Agricultural Water Management*, 95: 659-668.
- Durán Zuazo, V.H., Martínez, R.A., and Aguilar, R.J., (2002). 'Effect of rootstocks on mineral nutrition of mango trees (*Mangifera indica* L. var. 'Keitt')'. Proc. of the VII Congress of the European Society for Agronomy' (Villalobos, F.J., Testi, L. ed). Cordoba, Spain, July 15-18, pp. 357-358.
- Durán Zuazo, V.H., Martínez, R.A., and Aguilar, R.J., (2003). 'Salt tolerance of mango rootstock (*Mangifera indica* L. var. Osteen)'. *Span J Agric Res.*, 1(1): 67-78.
- Durán Zuazo, V.H., Martínez, R.A., and Aguilar, R.J., (2004a). Impact of salinity on the fruit yield of mango (*Mangifera indica* L. var. Osteen). *Eur J Agron*. Available in: www.sciencedirect.com [16 February 2004].
- Durán Zuazo, V.H., Martínez R.A., Aguilar R.J. and Franco T.D., (2004b). 'Impact of salinity on macro- and micronutrient uptake in mango (*Mangifera indica* L. var. Osteen) with different rootstocks'. *Span. J. Agric. Res.*, 2: 121–133.
- Durán Zuazo, V.H., Rodriguez, P.C.R. and Tarifa, D.F., (2011a). 'Impact of sustained-deficit irrigation on tree growth, mineral nutrition, fruit yield and quality of mango in Spain'. *Fruits (Paris)*, 66: 257–268.

- Durán Zuazo, V.H., Rodríguez P.C.R. and Tarifa D.F., (2011b). 'Monitoring the pollution risk and water use in orchard terraces with mango and cherimoya trees by drainage lysimeters'. *Irrig. Drain. Syst.*, 25:61-79.
- Egea, G., Gonzalez-Real, M.M., Baille, A., Nortés, P.A., Sanchez-Bel, P. and Domingo, R., (2009). 'The effects of contrasted deficit irrigation strategies on the fruit growth and kernel quality of mature almond trees'. *Agricultural Water Management*, 96(11): 1605-1614.
- Erf, J.A. and Proctor, J.T.A., (1987). 'Changes in apple leaf water status and vegetative growth as influenced by crop load'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 112:617–620.
- Evans, E. A., (2008). 'Recent trends in world and U.S. mango production, trade and consumption'. University of Florida, Gainesville. IFAS Extension, Document FE718. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- FAOSTAT. (2007). FAO Statistics, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://faostat.fao.org/>.
- Faria, L.N., Soares, A.A., Donato, S.L.R., Dos Santos, M.R. and Castro, L.G., (2016). 'The effects of irrigation management on floral induction of ‘Tommy Atkins’ mango in Bahia semiarid'. *Eng.Agric.*, vol.36 no.3 Jaboticabal May./June 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p387-398/2016>
- Fereres, E. and Soriano, A., (2007). 'Deficit irrigation for reducing agricultural water use'. *J. Exp. Bot.*, 58: 147–159.
- Galán Saúco, V., (2004). 'Mango Production and World Market: Current Situation and Future Prospect'. Proc. VIIth IS on Mango Eds. A.C.Q. Pinto et al. Acta Hort 645, ISHS 2004.
- García-Tejero, I., Romero-Vicente, R., Jiménez-Bocanegra, J.A., Martínez-García, G., Durán-Zuazo, V.H. and Muriel-Fernández, J.L., (2010). 'Response of citrus trees to deficit irrigation during different PCenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity'. *Agric Water Manag.*, 97:689–699.
- Geerts, S. and Raes, D. (2009). 'Deficit Irrigation as an On-Farm Strategy to Maximize Crop Water Productivity in Dry Areas'. *Agricultural Water Management*, 96: 1275-1284. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
- Ginestar, C. and Castel, J.R., (1996). 'Response of young ‘Clementine’ citrus trees to water stress during different PCenological periods'. *J Hortic Sci.*, 71:551–559.
- Gomes, U., Tozetto, L.J. and Pinto, A.C. de Q., (2002). 'Manga'. CODEVASF, Brasilia. 6 p. (Technical Bulletin).
- González-Altozano, P. and Castel, J.R., (1999). 'Regulated deficit irrigation in ‘Clementina de Nules’ citrus trees. I: yield and fruit quality effects'. *J Hortic Sci Biotechnol.*, 74:706–713.
- Goodwin, I. and Boland, A.M., (2002). 'Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency'. In: Anon (ed.) Deficit irrigation practices. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 67-78.

- Granados-Friely, J.C. and Escobar, J., (2000). 'Production and marketing of mango in Guatemala'. *Acta Hortic.*, 509: 113-116.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.509.9>
- Gu, S.L., Du G.Q., Zoldoske, D., Hakim, A., Cochran, R., Fugelsang, K. and Jorgensen, G., (2004). 'Effects of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines under partial root zone drying and conventional irrigation in the San Joaquin Valley of California, USA'. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79: 26–33.
- Hanemann, P., Bourns, N. and Fertziger, I., (2008). 'Ataulfo mango in Chiapas, a value chain analysis'. USAID microreport # 109.
http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadm332.pdf
- Hansen, P., (1971). 'The effect of fruiting upon transpiration rate and stomatal opening in apple leaves'. *PCysiol. Plant.*, 25:181–183.
- Haruvy, N., Offer, R., Hadas, A. and Ravina, I., (1999). 'Wastewater irrigation-economic concerns regarding beneficiary and hazardous effects of nutrients'. *Water Resour. Manage.*, 13: 303–314.
- Hield, H.Z. and Hilgeman, R.H., (1969). 'Alternate bearing and chemical fruit thinning of certain citrus varieties'. *Proc. Intl. Citrus Symp.* 3:1145–1153.
- IBGE (2011) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Sistema IBGE de recuperação automática. <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. 21 Mar. 2011.
- IBGE (2014) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.PCp?sigla=baandtema=lavourapermanente>>.
- IFOAM. (2009). *The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2009*. International Federation of Organic Agriculture Movements-Research Institute of Organic Agriculture (IFOAM- FiBL).
- Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F. and Villalobos, F.J., (2009). 'The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees'. *European Journal of Agronomy*, 30(4): 258-265.
- IPCC, (2001). 'Climate change 2001: the scientific basis'. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, Pj., Xiaosu, D. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ireta-Ojeda, A. and Guzmán-Estrada, C., (2002). 'Guía técnica para la producción de mango en Sinaloa'. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle de Culiacán. Folleto Técnico # 22.
- Irving, D.E. and Drost, J.H., (1987). 'Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox's Orange Pippin apple'. *J. Hort. Sci.*, 62:427-432.
- Johnson, R.S., Handley, D.F. and DeJong, T.M., (1992). 'Long-term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 117: 881-886.

- Jury, W.A. and Vaux Jr, H., (2005). 'The role of science in solving the world's emerging water problems'. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 102: 15715-15720.
- Kumar, D., Pandey, V. and Nath, V., (2008). 'Effect of organic mulching and irrigation schedule through drip on growth and yield of 'Lat Sundari' mango (*Mangifera indica*) in eastern region of India'. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 78(5): 385-388.
- Kuppelwiesser, W., (1990). 'Irrigation of mango trees'. Horticulture Branch Technical Annual Report 1990-1991. *Technical Bulletin No. 175*, Northern Territory of Australia, Department of Primary Industry and Fisheries. 82-85 p.
- Labanauskas, C.K., Stolzy, L.H. and Zentmyer, G.A., (1978). 'Rootstock, soil oxygen, and soil moisture effects on growth and concentration of nutrients in avocado plants'. *Calif. Avo. Soc. Yrbk.*, 62:118-125.
- Lakshminarayana, S., Subhadra, N.V. and Subramanyam, H., (1970). 'Some aspects of developmental PCysiology of mango fruit'. *J. Hortic. Sci.*, 45: 133–142.
- Larson, K.D., DeJong, T.M. and Johnson, R.S. (1988). 'PCysiological and growth responses of mature peach trees to postharvest water stress'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 113: 296-300.
- Larson, K.D., Schaffer, B., Davies, F.S., (1989). 'Effect of irrigation on leaf water potential, growth and yield of mango trees'. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 102: 226-228.
- Léchaudel, M., Génard, M., Lescourret, F., Urban, L. and Jannoyer, M., (2002). 'Leaf-to-fruit ratio affects water and dry matter content of mango fruit'. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 77:773-777.
- Léchaudel, M., Joas, J., Caro, Y., Genard, M. and Jannoyer, M., (2005). 'Leaf:fruit ratio and irrigation supply affect seasonal changes in minerals, organic acids and sugars of mango fruit'. *J. Sci. Food Agric.*, 85: 251–260.
- Léchaudel, M. and Joas, J. (2007). 'An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behavior'. *Braz. J. Plant PCysiol.*, 19 (4):287-298.
- Lenz, F., (1986). 'Fruit effects on transpiration and dry matter production in apples'. p. 101–104. In: A.N. Lakso and F. Lenz (eds.). Regulation of PCotosynthesis in fruit trees. N.Y. State Agr. Expt. Sta., Geneva, Symp. Proc. Publ.
- Levin, A.G., Naor, A., Noy, M., Love, C., Gal, Y. and Peres, M., (2015a). 'Mango response to deficit irrigation at different PCenological periods'. *Acta Horticulturae*, 1075: 103-113.
- Levin, A.G., Naor, A., Noy, M., Love, C., Gal, Y., Peres, M. and Bernstein, N. (2015b). 'The response of field-grown Mango (cv Keitt) trees to regulated deficit irrigation at different PCenological stages'. XI International Mango Symposium. Darwin, Northern Territory (Australia). September 28- October 2, 2015.

- Levine, A. and Asano, T. (2004). 'Recovering sustainable water from wastewater'. *J. Environ. Sci. Technol.*, 1: 201A–208A.
- Li, S.H., Huguet, J.G., Schoch, P.G. and Orlando, P., (1989). 'Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development'. *Journal of Horticultural Science*, 64: 541–552.
- Lima Neto, F.P., Santos, C.A.F. and Costa, J.G. (2010). 'Cultivo da mangueira: Var.esñ. Embrapa Semiárido Sistemas de Produção, 2 - 2ª edição. Versão Eletrônica.
- Loveys, B.R. and Kriedemann, P.E., (1974). 'Internal control of stomatal physiology and photosynthesis. I. Stomatal regulation and associated changes in endogenous levels of abscisic and salicylic acids'. *Austral. J. Plant Physiol.*, 1:407–415.
- Lu, P. and Chacko, E.K. (2000). 'Effect of water stress on mango flowering in low latitude tropics of Northern Australia'. *Acta Hort.*, 509: 283-289.
- Magallanes-Cedeño, R., (2004). 'Area-wide assessment of the 'Ataulfo' mango cultivation in the Soconusco Region of Chapas, Mexico'. *Acta Hort.*, 645:361-363.
- Marecos do Monte, M.H.F., Angelakis, A.N. and Asano, T., (1996). 'Necessity and basis for establishment of European guidelines for reclaimed wastewater in the Mediterranean region'. *Water Sci. Technol.*, 33, 303–316.
- Marloth, R.H., (1947). 'The mango in South Africa'. *Farming in South Africa*, 22 (25): 457-463.
- Medina-Urrutia, V.M., Vázquez-García, M. and Virgen-Calleros, G., (2011). 'Organic Mango Production in Mexico: Status of Orchard Management'. Proc. Ist IS on Trop. Hort. Ed.: N. Benkeblia *Acta Hort.* 894, ISHS 2011.
- Mitchell, P.D., Jerie, P.H. and Chalmers, D.J., (1984). 'The effect of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 109: 15-19.
- Mitchell, P.D., Chalmers, D.J., Jerie, P.H. and Burge, G., (1986). 'The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 111: 858-861.
- Mitchell, P.D., van den Ende, B., Jerie, P.H. and Chalmers, D.J., (1989). 'Responses of 'Bartlett' pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation, and tree spacing'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 114: 15-19.
- Monselise, S.P. and Goldschmidt, E.E., (1982). 'Alternate bearing in fruit trees'. *Hort. Rev. (Amer. Soc. Hort. Sci.)*, 4:128–173.
- Morales, D.V., and Rivas, J.S., (2004). 'Uso eficiente de la fertilización y su efecto sobre el rendimiento del mango, (*Mangifera indica* L.) en el municipio Mara del estado Zulia'. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, Supl. 1: 237-243.
- Mosqueda, V.R., De los Santos, de la R.F., Becerra, L. E.N., Cabrera M. H., Ortega Z.D.A. and del Angel P.A.L., (1996). 'Manual para var. mango en la planicie costera del Golfo de México'. Folleto Num. 15. INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Cotaxtla, 130 p.

- Mostert, P.G. and Hoffman, J.E., (1997). 'Water requirements and irrigation of mature mango trees'. V International Mango Symposium. *Acta Horticulturae*, 455: 331-337.
- Naor, A., Hupert, H., Greenblat, Y., Peres, M. and Kaufman, A., (2001). 'Response of nectarine fruit size and midday stem water potential to irrigation level in stage III of fruit growth and crop load'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 126(1):140–143.
- Naor, A., Stem, R., Peres, M., Greenblat, Y., Gal, Y. and Flaishman, M., (2005). 'Timing and Severity of Post-harvest Water Stress Affect Following-year Productivity and Fruit Quality of Field-grown 'Snow Queen' Nectarine'. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 130: 806-812.
- Naor, A., (2006). 'Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards'. *Hortic Rev.*, 32:111–166.
- Naor, A., Schneider, D., Ben-Gal, A., Zipori, I., Dag, A., Kerem, Z., Birger, R., Peres, M. and Gal, Y., (2013). 'The effects of crop load and irrigation rate in the oil accumulation stage on oil yield and water relations of Koroneiki' olives'. *Irrig Sci.*, 31: 781–791.
- Nguyen, H., Hofman, P., Holmes, R., Bally, I., Stubbings, B. and Mcconchie, R., (2004). 'Effect of nitrogen on the skin colour and other quality attributes of ripe 'Kensington Pride' mango (*Mangifera indica* L.) fruit'. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79 (2): 204–210.
<http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2004.11511749>
- Núñez-Eliséa, R. and Davenport, T.L., (1994). 'Flowering of mango trees in containers as influenced by seasonal temperature and water stress'. *Sci.Hortic.*, 58: 57–66.
- Oosthuysen, S.A. (1997). 'Effect of KNO₃ sprays to flowering mango trees on fruit retention, fruit size, tree yield, and fruit quality'. *Acta Horticulturae* 455: 359–366.
- Oron, G., Armon, R., Mandelbaum, R., Manor, Y., Campos, C., Gillerman, L., Salgot, M., Gerba, C., Klein, I. and Enriquez, C., (2001). 'Secondary wastewater disposal for crop irrigation with minimal risks'. *Water Sci. Technol.* 10: 139–146.
- Oster, J.D., and Wichelns, D., (2003). 'Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation'. *Irrig. Sci.*, 22:107-120.
- Pavel, E.W. and Villiers, A.J.D., (2004). 'Responses of mango trees to reduced irrigation regimes'. *Acta Hort.*, 646: 63–68.
- Peralta-Antonio, N., Rebolledo-Martínez, A., Becerril-Román, A. E., Jaén-Contreras, D. and del Angel-Pérez, A. L., (2014). 'Response to organic fertilization in mango var.s: Manila, Tommy Atkins and Ataulfo'. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 14: 688–700.
- Pérez-Pérez, J.G., Robles, J.M. and Botía, P., (2009). 'Influence of deficit irrigation in PCase III of fruit growth on fruit quality in 'Lane Late' sweet orange'. *Agric Water Manag.*, 96:969–974.

- Pinto, A.C.Q., Andrade, S.R.M., Amaro, A.A. and Gomes, U., (2004). 'Mango Industry in Brazil'. *Acta Hort.*, 645, 37-50
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.645.1>.
- Pinto, A.C. de Q., Silva, D.J. and Pinto, P.A. da C. (2007). 'Mango'. In: Fertilizing for High Yield and Quality: Tropical Fruits of the Tropics, IPI Bulletin 18, 123–141 (Ed A. E. Johnston). Horgen, Switzerland: International Potash Institute.
- Pongsomboon, W., (1991). 'Effects of temperature and water stress on tree growth, flowering, fruit growth and retention of mango (*Mangifera indica* L.)'. PC.D. Thesis, Kasetsart Univ., Bangkok, Thailand.
- Prado, R.M., (2004). 'Nutrição e desordens fisiológicas na cultura da manga'. In: Rozane, D.E., Darezzo, R.J., Aguiar, R.L., Aguilera, G.H.A., Zambolim, L. (Ed.). Manga: produção integrada, industrialização e comercialização. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p.199-232.
- Prado, R.M., Caione, G., and Silva, D.J. (unpublished day). 'Macronutrients and micronutrients deficiency symptoms in mango'.
<http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/culturas/Macronutrients%20and%20micronutrients%20deficiency%20symptoms%20in%20mango.pdf>
- Prakash, K., Vijayakumar, R.M., Balamohan, T.N. and Sundhar Singh, S.D., (2015). 'Effect of drip irrigation regimes and fertigation levels on yield and quality of mango var. 'AIPConso' under ultra high density planting'. *Acta Hort.*, 1066: 147-150.
- Pudney, S., McCarthy, M.G., (2004). 'Water use efficiency of field grown Chardonnay grapevines subjected to partial rootzone drying and deficit irrigation'. *Acta Horticulturae*, 664: 567–573.
- Raij, B. van, Cantarella, H., Quaggio, J.A. and Furlani, A.M.C., (1996). 'Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo'. Instituto Agronômico de Campinas. *Boletim Técnico*, 100.
- Rajan, S., Tiwari, D., Singh, V.K., Saxena, P., Singh, S., Reddy, Y.T.N., Upreti, K.K., Burondkar, M.M., Bhagwan, A. and Kennedy, R., (2011). 'Application of extended BBCH scale for PCenological studies in mango (*Mangifera indica* L.)'. *Journal of Applied Horticulture*, 13: 108–114.
- Ram, S., Sirohi, S.C. and Rathore, V.S., (1983). 'Naturally occurring Cytokinins in mango (*Mangifera indica* L.) fruits'. *Aust. J. Plant PCysiol.*, 10: 65-73.
- Ramírez, F. and Davenport, T.L., (2010). 'Mango (*Mangifera indica* L.) flowering PCysiology (Review)'. *Scientia Horticulturae*, 126: 65–72.
- Reboll, V., Cerezo, M., Roig, A., Flors, V., Lapeña, L. and García-Agustín, P., (2000). 'Influence of wastewater vs groundwater on young citrus trees'. *J. Sci. Food Agric.*, 80: 1441–1446.
- Reddy, Y.T.N. and Singh, G., (1991). 'Further studies on the relationship between leaf number and area fruit development in mango (*Mangifera Indica* L.)'. *J. Hort. Sci.*, 66:471-478.

- Rodrigues, J.C., Souza, P.J.O.P. and Lima, R.T., (2013). 'Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueira no nordeste do estado do Pará'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 35 (1): 143-150.
- Roemer, M.G., (2011). 'Premature Fruit Drop in Mango (*Mangifera indica* L.) in Northern Vietnam'. University Hohenheim (PC.D. thesis) http://opus.ub.uni-hohenheim.de/volltexte/2011/657/pdf/Roemer_2011.
- Romero, P., Navarro, J.M., García, F. and Botía, P., (2004a). 'Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield on mature almond trees'. *Tree PCysiol.*, 24: 303–312.
- Romero, P., Botía, P. and García, F., (2004b). 'Effects of regulated déficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations in mature almond trees'. *Plant Soil*, 260: 155–168.
- Romero, P., Botía, P. and García, F., (2004c). 'Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield in mature almond trees'. *Plant Soil*, 260: 169–181.
- Romero, P., Navarro, J.M., Pérez-Pérez, J.G., García-Sánchez, F., Gómez- Gómez, A., Porras, I., Martínez, V. and Botía, P., (2006). 'Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of *Clemenules mandarin*'. *Tree PCysiol* 26:1537–1548.
- Sadras, V.O., (2009). 'Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A metaanalysis'. *Irrigation Science*, 27: 183-190.
- Salazar-García, S., Álvarez-Bravo, A., Ibarra-Estrada, M.I., González-Valdivia, J. and Medina-Torres, R., (2016). 'Presence of parthenocarpic fruit in 'Ataulfo' mango and its relation with environmental temperature and fertilization treatments'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Pub. Esp. Núm. 13: 2615-2626.
- Sanchez-Blanco, M.J., Torrecillas, A., Leon, A. and Del Amor, F., (1989). 'The effect of different irrigation treatments on yield and quality of Verna lemon'. *Plant and Soil*, 120:299-302.
- Santos, M.R. and Martinez, M.A. (2013). 'Soil Water Distribution and Extraction by "Tommy Atkins" Mango (*Mangifera indica* L.). Trees under Different Irrigation Regimes'. *Idesia*, 31, 7-16. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000300002>.
- Santos, M.R., Martinez, M.A, Donato, S.L.R and Coelho, E.F., (2014). 'Fruit yield and root system distribution of 'Tommy Atkins' mango under different irrigation regimes'. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18 : 362-369.
- Santos, M.R., Neves, B.R., da Silva, D.L. and Rodrigues Donato, S.L., (2015). 'Yield, water use efficiency and PCysiological characteristic of "Tommy Atkins" mango under partial rootzone drying irrigation system'. *Journal of Water Resource and Protection*, 7: 1029-1037. Published Online September

- 2015 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/jwarp>.
<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2015.713084>.
- Santos, M.R., Rodrigues Donato, S.L., Coelho, E.F., Cotrim Jr., P.R.F. and de Castro, I.N., (2016). 'Irrigation deficit strategies on physiological and productive parameters of Tommy Atkins mango'. *Rev. Caatinga, Mossoró*, 29 (1): 173 – 182.
- Schaffer, B., Whiley, A.W. and Crane, J.H., (1994). 'Mango'. In: Schaffer B, Andersen PC (eds), *CRC Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops, Subtropical and Tropical Crops*, pp.165-197. CRC Press, Boca Raton.
- Schaffer, B., Urban, L., Lu, P. and Whiley, A.W. (2009). 'EcoPhysiology'. In: *The Mango – Botany, Production and Uses*, 2nd edn., 170–209 (Ed R. E. Litz). Wallingford, UK: CABI.
- Searle, C., Whiley, A.W., Simpson, D.R. and Saranah, J.B. (1995). 'A preliminary physiological model for 'Kensington' mango in subtropical Australia'. p.127-135. *Mango 2000 - Marketing Seminar and Production Workshop*.
- Silva, D.J., Quaggio, J.A., da C. Pinto, P.A., de Q. Pinto, A.C. and de J. Magalhães, A.F., (2002). 'Nutrição e Adubação'. p. 192-221. In: P.J. de C. Genu, and A.C. de Q. Pinto. *A Cultura da Mangueira*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Silva, D.J., do Carmo Mouco, M.A., Tuão Gava, C.A., Giongo, V. and Pinto, J.M., (2013). 'Organic compost on mango trees (*Mangifera indica* L.) cultivated in the semi-arid of northeast region of Brazil'. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP. 35 (3): 875-882.
- Simmons, S.L., Hofman, P.J. and Hetherington, S.E., (1995). 'The effects of water stress on mango fruit quality'. In: *Proceedings of Mango 2000 marketing seminar and production workshop*. Brisbane, Australia, pp.191-197.
- Simmons, S.L., Hofman, P.J., Whiley, A.W. and Hetherington, S.E., (1998). 'Effects of leaf to fruit ratios on fruit growth, mineral concentration and quality of mango (*Mangifera indica* L cv Kensington Pride)'. *J Hort Sci Biotechnol*, 73:367–374.
- Singh, L.B., (1960). *The Mango: Botany, Cultivation and Utilization*. Leonard Hill, London.
- Singh, P.K., Singh, K.K. and Shukla, K.N., (2003). 'Scheduling drip irrigation of young mango crop by tensiometer'. In: Kang SZ, Davies B, Shan S, Cai H (eds.) *Water saving agriculture and sustainable use of water and land resources*. Yangling, China. Pp. 33-34.
- Singh, Z., Malik, A.U. and Davenport, T.L., (2005). 'Fruit drop in mango'. *Hortic. Rev.*, 31: 111-153.
- Slowick, K., Labanauskas, C.K., Stolzy, L.H. and Zentmyer, G.A., (1979). 'Influence of rootstock on, soil oxygen and soil water on the uptake and translocation of nutrients in young avocado plants'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 104:172-175.
- Souza, J. da S., Almeida, C.O., Araújo, J.L.P. and Cardoso, C.E.L., (2002). 'Aspectos Socioeconômicos'. Cap 1, p. 20-29. In: Genu, P.J.C. and Pinto, A.C.

- de Q. (eds.), *A Cultura da Mangueira*, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília.
- Spreer, W., Nagle, M., Neidhart, S., Carle, R., Ongprasert, S. and Müller, J., (2007). 'Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., var. 'Chok Anan')'. *Agricultural water management*, 88: 173–180.
- Spreer, W., Hegele, M., Müller, J. and Ongprasert, S., (2009a). 'Effect of deficit irrigation on fruit growth and yield of mango (*Mangifera indica* L.) in Northern Thailand'. In: Proceedings of the 8th International Mango Symposium. *Acta Hortic.*, 820, 357-364.
- Spreer, W., Ongprasert, S., Hegele, M., Wünsche, J.N., Müller, J., (2009b). 'Yield and fruit development in mango (*Mangifera indica* L. var. Chok Anan) under different irrigation regimes'. *Agric. Water Manag.*, 96:574–584.
- Subramanyam, H., Krishnamurthy, S. and Parpia, H.A.B., (1975). 'PCysiology and biochemistry of mango fruit'. *Adv. Food Res.*, 21: 223–305.
- Tahir, F.M., Ibrahim, M. and Kamran, H., (2003). 'Effect of drought stress on vegetative and reproductive growth behavior of mango (*Mangifera indica* L.)'. *Asian Journal of Plant Science* 2 (1): 116-118.
- Tharanathan, R.N., Yashoda, H.M. and Prabha, T.N., (2006). 'Mango (*Mangifera indica* L.), "The King of Fruits"—An Overview'. *Food Reviews International*, 22:2, 95-123, DOI: 10.1080/87559120600574493.
- Torrecillas, A., Domingo, R., Galego, R. and Ruiz-Sánchez, M.C., (2000). 'Apricot tree response to withholding irrigation at different PCenological periods'. *Scientia Horticulturae*, 85: 201-215.
- Toze, S., (2006). 'Reuse of effluent water-benefits and risks'. *Agric. Water Manage.*, 80: 147–159.
- Valmayor, R.V., (1962). 'The mango'. Univ. of the PCilippines, Laguna PCilippines.
- Vázquez-Valdivia, V., Pérez-Barraza, M.H. and Salazar-García, S., (2006). 'Control del crecimiento de árboles de mango'. p.51-86. In: V. Vázquez-Valdivia and M.H. Pérez-Barraza (eds.), *El cultivo del mango: principios y tecnología de producción*. Libro Técnico # 1. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Santiago Ixcuintla, México.
- Verreynne, J.S. and Lovatt, C.J., (2009). 'The effect of crop load on bud break influences return bloom in alternate bearing 'Pixie' mandarin'. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134: 299–307.
- WanitpraPCA, K., Yokoyama, K.M., Nakamoto, S.T. and Chia, C.L., (1991). 'Mango Economic Fact Sheet No. 16'. University of Hawaii Press, pp: 4.
- Whiley, A.W., Rasmussen, T.S., Wolstenholme, B.N., Saranah, J.B. and Cull, B.W., (1991). 'Interpretation of growth responses of some mango var.s grown under controlled temperatures'. *Acta Hort*: 291: 22-31.
- Whiley, A.W., (1993). 'Environmental effects on PCenology and PCysiology of mango-a review'. *Acta Horticulturae*, 341: 168-176. Mango IV.

- Williamson, J.G. and Coston, D.C., (1990). 'Planting method and irrigation rate influence vegetative and reproductive growth of peach planted at high density'. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 115: 207-212.
- Xiuchong, Z., Guojian, L., Jianwu, Y., Shaoying, A. and Lixian, Y., (2001). 'Balanced fertilization on mango in Southern China'. *Better Crops Int.*, 15: 16-20.
- Yan, S.S. and Chen, C., (1980). 'The effect of soil moisture on the PCotosynthesis, stomatal aperture and growth of mango (*Mangifere indica* L.)'. *Journal of Sci. and Eng.*, (Nat. Chung Hsing Univ., Taiwan) 17: 275-284.
- Young, T. and Koo, R., (1974). 'Increasing yield of 'Parvin' and 'Kent' mangoes on Lakewood sandy by increased nitrogen and potassium fertilizer'. *Proceeding Florida State Horticultural Society*, 87: 380-384.
- Young, T.W., Sauls, J.W., (1981). 'The mango Industry in Florida'. Fla Coop. Ext. Ser. Univ. of Florida/IFAS, Gainesville.

Tabla 1. Algunas de las evaluaciones de estrategias de riego en mango en el mundo en general y en América Latina en particular en y propuesta del mejor tratamiento según los resultados.

N°	Author	year	Evaluated technique*				number of treatments	Evaluated years	Cultivar	Orchard Place	Outstanding treatment	Evaluated phenological period**				
			SDI	RDI	PRD	Other						F-FS	MFG	FFG	EFPP	(PH)
1	Chandel and Singh	1992	X				4	1	Dashehari	Himachal Pradesh India	20% available soil moisture (ASM)	-	-	-	X	-
2	Pavel and de Villiers	2004		X			5	1	Kent	Hoedspruit, S. Africa	Co (85% from farm control)	-	-	-	X	-
3	Durán Zuazo et al.	2004				Salinity	4	4	Osteen	El Zahori-Spain	Control= dSm-1	-	-	-	X	-
4	Spreer and et al.	2006	X		X		4-5	2	Chok Anan	Chiang Mai, Thailand	D1-75% and PRD 50% of Etc	-	-	-	X	-
5	Spreer et al.	2007		X	X		4	2	Chok Anan	Chiang Mai, Thailand	partial root zone drying (PRD = 50% of ETC, applied to alternating sides of the root zone)	-	-	-	X	-
6	da Silva et al.	2009		X			4	2	Tommy Atkins	Semi-Arid Brazil	T3 = 90% of reference evapotranspiration - Eto	-	-	-	X	-
7	Spreer and et al.	2009		X	X		4	2	Chok Anan	Chiang Mai, Thailand	c) PRD with 50% of ETC (PRD)	-	-	-	X	-
8	Coelho Filho, et al.	2009			X		5	1	Kent	Fazenda Boa Vista-Brazil	T-1= Treatment without deficit	-	-	-	X	-
9	Cotrim et al.	2011		X			10 and 8	2	Tommy Atkins	Semi-Arid Brazil	T1 -full irrigation (100% ETC) in phases II and III and 40% of ETC in Phase I (NS)	X	X	X	-	-
10	Durán Zuazo, et al.	2011	X				4	3	Osteen	El Zahori-Spain	SDI-2=50% of Etc	-	-	-	X	-
11	Santos et al.	2014		X			5	2	Tommy Atkins	Semi-Arid Brazil	T4=100% of ETC from early flowering to late fruit expansion and 50% of ETC during physiologic ripening	x	x	x	-	-
12	Levin et al. a,b	2015		X			12	4	Keitt	Israel	T-4 in FFG and PH= 9.2 and 5.4 mm/day, respectively.	-	x	x	-	x
13	Santos et al.	2015			X		5	1	Tommy Atkins	Ceraíma, Bahia, Brazil	T-5 40% of ETC with alt. irrig. side of 15 days	-	-	-	X	-
14	Faria et al.	2016		X			5	2	Tommy Atkins	Vales do São Francisco-Brazil	T1 (0% of ETC without irrigation in flowering induction period (FI) and 100% in fruiting phase (FII)), T2 (25% of ETC in FI and 100% in FII)	X	-	-	X	-
15	Santos et al.	2016		x	x		12	2	Tommy Atkins	Ceraíma, Bahia, Brazil	RDI50S3 - full irrigation, 100% of ETC in stages I and II and 50% of ETC in stage III- (RDI at fruit maturation only)	X	X	X	-	-

*SDI= déficit sostenido; riego RDI= riego deficitario controlado; PRD= rootzone secado parcial.

**F-FS= floración-cuajado; Fab= principales el crecimiento de la fruta; FFG= final del fruto; crecimiento EFPP= todo el período de producción de fruta; PC= post-cosecha.

Fotografías "a" y "b": árboles de mango irrigadas por gravedad/riego por surcos.
Imágenes "c", "d" y "e", los árboles de mango regado por goteo.



