

Consejos básicos para diseñar sistemas eficientes de riego¹

Haimanote K. Bayabil, Kati W. Migliaccio, Michael Dukes, Laura Vasquez, y Carlos Balerdi²

Introducción

Los recursos de agua potable están escaseando debido a aumentos en población y aumentos en la demanda de agua, comida y energía. El estado de Florida proyecta añadir 6 millones de habitantes para el 2030 (Royer and Wang 2017). Además, los eventos extremos del tiempo (p.e. inundaciones y sequías) ya son fenómeno común. Por lo tanto a medida que el agua potable escasea y las sequías son frecuentes hay más necesidad de ser eficientes en el uso de recursos hidráulicos. Ha habido importantes adelantos en tecnologías de (p.e. válvulas eléctricas, controles inteligentes, sensores de humedad de suelos, etc.) que ahorran agua (Dukes 2012). Sin embargo, la efectividad de estas tecnologías depende de varios factores como el diseño de sistemas de riego. Diseñar equipos y sistemas de eficientes no sólo ahorra dinero pero también ahorran agua.

Factores a considerar al diseñar sistemas de riego

Este documento provee un panorama básico de los factores más importantes al diseñar sistemas de riego y al elegir equipos de irrigación. La Figura 1 enseña un esquema de los principales factores que afectan el diseño de sistemas de riego.

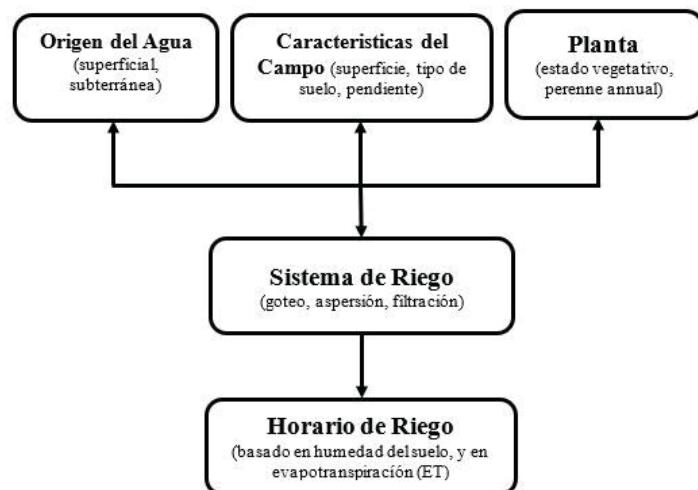


Figura 1. Esquema de los principales factores en el diseño de un sistema de riego.

Credits: Haimanote K. Bayabil, UF/IFAS

Origen del Agua

El total de agua potable usada en Florida incluyendo todos los usos es de 6,4 billones de galones por día. Casi dos tercios de esta agua es subterránea y el resto del agua es superficial (Marella 2015). Casi el 40% del agua subterránea se usa en la agricultura y el 36% es para uso público. El 24% restante se usa para generar electricidad, riego de jardines, recreación, minería comercial e industrial y el uso auto

1. Este documento, AE549, es uno de una serie de publicaciones del Department of Agricultural and Biological Engineering, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, Universidad de la Florida (UF/IFAS Extension). Fecha de primera publicación: diciembre 2020. Revisado en enero 2024. Visite nuestro sitio web EDIS en <https://edis.ifas.ufl.edu>. La versión en inglés de este documento es (AE539).
2. Haimanote K. Bayabil, profesor asistente, Department of Agricultural and Biological Engineering, UF/IFAS Tropical Research and Education Center; Kati W. Migliaccio, jefa y profesora, Department of Agricultural and Biological Engineering; Michael Dukes, profesor, Department of Agricultural and Biological Engineering y director, Center for Land Use Efficiency; Laura Vasquez, Florida Yards & Neighborhoods supervisor, UF/IFAS Extension Miami-Dade County; y Carlos Balerdi, agente emérito de cultivos de frutas tropicales, UF/IFAS Extension Miami-Dade County; UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611.

doméstico. El uso del agua potable en Florida sigue el curso de la densidad de población y de la intensidad de cosechas regadas. El uso de agua potable es mayor en el Condado Palm Beach (más de 1 billón de galones por día). Conocer el origen, calidad y disponibilidad de agua para riego es crítico. El origen del agua puede ser de agua reciclada, superficial o subterránea. Dependiendo del origen del uso, la cantidad de agua disponible y el equipo necesario para transportarla, difiere. La disponibilidad del agua para riego puede estar sujeto a ordenanzas locales, dependiendo de varios factores.

Características del campo

Las características del campo (p.e. tamaño, pendiente, tipo de suelo) pueden afectar el tipo de sistema de riego, equipos de riego necesarios (p.e. bomba) y tipos de planta.

El tamaño del campo

El tamaño del campo afecta el máximo número de plantas que pueden sembrarse y por lo tanto el total de riego requerido por la bomba y la presión original. La pérdida de presión debe considerarse en el diseño de un sistema de riego para minimizar caídas de presión y variaciones en el área regada.

Pendiente

La pendiente del terreno afecta el flujo del agua y la uniformidad de la distribución del riego. El agua fluye de alto potencial (alta elevación) a bajo potencial (baja elevación). Dependiendo del trazado del sistema de regadío, los campos con elevaciones más pequeñas pudieran recibir demasiada agua y los de altas elevaciones pudieran recibir muy poca. Se podrían necesitar bombas para conducir suficiente agua contra una pendiente. Además, la pendiente pudiera promover corrientes y erosión. En algunos casos nivelar los campos se puede considerar.

Propiedades del suelo

Las propiedades del suelo (p.e. textura, estructura, profundidad, contenido de materia orgánica) afectan las relaciones del suelo con la capacidad de retención de agua. La capacidad de retención de agua afecta la frecuencia y la cantidad de agua aplicada. Por ejemplo, los suelos arenosos tienen baja capacidad de retención y necesitan riego más frecuentemente con menos cantidad de agua (Tabla 1). Alternativamente, los suelos arcillosos tienen relativamente más capacidad para retener agua y pudieran regarse menos frecuentemente a mayores aplicaciones de agua. La profundidad del suelo también afecta la profundidad efectiva de las raíces y el lavado de agua y nutrientes por

debajo de la zona radical. Hay información general en la página web Web Soil Survey (<https://websoilsurvey.sc.egov.usda.gov/App/WebSoilSurvey.aspx>) generada por el USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS). Sin embargo, la seguridad de esa información debe verificarse con mediciones en el campo.

Tipo de planta

El tipo de planta afecta la selección del sistema de riego. Los requerimientos de riego difieren dependiendo del estado de crecimiento de la planta. Además los reportes señalan que las cosechas anuales tienen menores requerimientos de riego en comparación con las plantas perennes (Vico and Brunsell 2018), diferentes plantas tienen diferentes densidades de siembra (espaciamiento). Si el mismo sistema de riego es usado para regar diferentes plantas, éstas deben ser sembradas en zonas diferentes para que sean regadas independientemente. Los coeficientes (Kc) varían con los estados de crecimiento para diferentes plantas. Así, los valores específicos de plantas Kc deben usarse para calcular los requerimientos actuales de evapotranspiración (ETc) y riego. Los valores de mercado de las cosechas afectan la posibilidad de sistemas de riego más costosos. Las cosechas de alto valor económico pueden permitir inversiones mayores en un sistema de riego, pero esto puede que no sea posible en cosechas de menor valor.

Las siguientes publicaciones contienen información adicional sobre coeficientes de cosechas y requerimientos de riego para ellas.

- *Evapotranspiration: Potential or Reference?:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae256>
- *Evapotranspiration-Based Irrigation for Agriculture: Crop Coefficients of Some Commercial Crops in Florida:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae456>
- *Evapotranspiration-Based Irrigation Scheduling for Agriculture:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae457>
- *Size, Biomass, and Nitrogen Relationships with Sweet Orange Tree Growth:* <https://doi.org/10.21273/JASHS.131.1.149>
- *Principles and Practices of Irrigation Management for Vegetables:* <https://edis.ifas.ufl.edu/cv107>

Tipos de sistemas de regadío

Un sistema de riego distribuye agua de su origen hasta el campo. Identificar el mejor mecanismo de conducción para una situación específica es crítico. El tipo de planta, de suelo, características del jardín, la cantidad de agua, la

presión y el costo afectan la selección del sistema de riego. Esta sección discute los sistemas de riego más importantes (goteo, aspersores y filtración).

Sistema de Riego por Goteo

El sistema de riego por goteo es el más eficiente y es usado en cosechas sembradas en surcos. El sistema de goteo puede ser superficial o subterráneo, y comúnmente se usan mangueras de polietileno. En sistemas de goteo, al agua es aplicada directamente al sistema de raíces de la planta usando goteros. Esto reduce pérdidas de agua debido al acarreo superficial y al lavado por debajo la zona radical. La densidad de siembra guía el espaciamiento de los goteros. Los goteros se colocan en la manguera o goteros se pueden instalar perforando la manguera usando las herramientas apropiadas. Los goteros varían en la cantidad descargada (gpm). Esto hace al sistema de goteo apropiado para todos los tipos de suelo. Hay compuestos físicos (p.e. partículas de arena), biológicos (p.e. bacterias) y químicos que pueden tupir los goteros. Usando una combinación de estrategias, como instalar filtros, limpieza de mangueras abriendo los terminales, uso de desinfectantes (p.e. cloro) y/o inyección de ácidos al sistema, pueden mitigar la tupición de goteros. La Figura 2 enseña un esquema de los mayores componentes de un sistema típico de goteo.

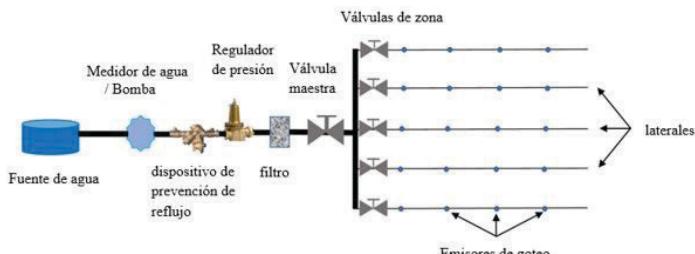


Figura 2. Esquema de un sistema de riego por goteo simplificado.
Credits: Haimanote K. Bayabil, UF/IFAS

VENTAJAS

- Aplicación localizada en o cerca de la zona de raíces
- Sistema de riego más eficiente porque reduce pérdidas de agua resultante del acarreo y percolación profunda
- Puede ayudar a suprimir malezas, especialmente si se combina con colchón plástico
- Distribuye el agua uniformemente
- El agua no contacta a las hojas (p.e. lechuga), reduciendo riesgos de enfermedad

DESVENTAJAS

- Se daña fácilmente por equipos, luz solar, roedores, animales salvajes, etc.
- Necesita ser reemplazado más frecuentemente que otros sistemas

- Propenso a tupiciones; necesita filtración
- Más costoso para grandes áreas
- Requiere mantenimiento frecuente

Sistema de riego por aspersión

En los sistemas de aspersión, el agua se distribuye usando aspersores. Dependiendo de las especificaciones, los regadores de aspersión tienen diferentes radios de aspersión, presiones de operación, y proporciones de aplicaciones. Hay diferentes tipos de sistemas de aspersión tales como aéreos, micro aspersores y rotatorios. Un sistema de aspersión aérea es a menudo de alta presión con alto volumen de aplicación, donde se aplica el agua por encima de la cosecha. Los aplicadores aéreos se usan en agricultura, viveros y en jardines urbanos. Los micro aspersores usan baja presión y volumen de mediano a bajo y se adaptan para cosechas de alto valor como los árboles frutales. Con el sistema de aspersión aérea no es posible regar por encima del follaje de árboles grandes. Los micro aspersores permiten aplicaciones de agua dirigidas al suelo, haciéndolos más eficiente que un sistema de riego de aspersión aérea.

VENTAJAS

- Duran más que el sistema de goteo
- Se usan en agricultura, patios, jardines y en riego de viveros
- Los aspersores aéreos usan alta presión, y mediano a alto volumen
- Tiene diferentes diseños y ángulos de descarga
- Pueden usarse para protección contra heladas

DESVENTAJAS

- Menos eficientes que el sistema de goteo
- Riega espacios abiertos entre surcos
- Más susceptible al acarreo por viento que el goteo
- Más potencial de acarreo y erosión que el goteo
- Riesgo de enfermedades porque moja el follaje

Sistema de riego por penetración

En el sistema de riego por penetración, el agua se dirige a las raíces de las plantas. Este tipo de riego altera el nivel del manto freático. Este sistema es sólo aplicable en campos llanos con la presencia de una capa impermeable por debajo de la zona de raíces que permite ajustar el nivel del manto freático. Este sistema es común en Florida donde al manto freático y los suelos arenosos están por encima de una capa impermeable (Rogers et al. 2018; Zotarelli

et. al 2019). El sistema por infiltración es uno de los más inefficientes debido al alto volumen de agua necesitado para elevar el nivel del manto freático hasta la zona de raíces de la cosecha (Zotarelli et al. 2019). Zotarelli et al. (2019) y Rogers et al. (2018) dan información adicional sobre este sistema en Florida.

VENTAJAS

- Se implementa fácilmente
- Relativamente bajos costos de operación y mantenimiento
- Menos enfermedades porque el agua no moja al follaje
- No hay problemas de tupiciones; no necesita filtración

DESVENTAJAS

- El sistema menos efectivo
- Sólo se usa en campos llanos con una capa impermeable debajo de la zona de raíces que permite ajustes del agua a través del manto freático
- Requiere agua adicional para elevar el manto freático hasta la zona de raíces
- Pudiera causar condiciones de saturación de agua si se maneja mal

Hidráulica básica de riego

El diseño de sistemas de riegos eficientes requiere un entendimiento de hidráulica de riego, que trata con el flujo de agua a través de un sistema de riego. Varios factores afectan el flujo de agua en un sistema de riego, como la presión, el tamaño de las tuberías, las válvulas, los medidores, y los regadores o aspersores. Esta sección discute algunos de los factores más importantes que afectan el flujo de agua en un sistema de tuberías.

Presión

El principio general en riego es que el agua fluye a través de un sistema de riego (p.e. tuberías, válvulas, medidores, etc.) debido a energía como la presión. La presión puede ser expresada en diferentes formas, como pies, libras por pulgada cuadrada (psi), bar y pascal. La presión de una columna de agua puede calcularse como sigue: una columna de agua de 1 pie de largo, 1 pie de ancho y 1 pie de alto (Volumen = 1 pie³; Figura 3) pesa 62,43 lb. Lo que significa que una columna de agua de 1 pie³ dividida entre las 144 pulgadas² de la base tiene un peso de 0,43 lb por cada pulgada² (psi) (Tabla 2), una presión de 0,43 lb por pulg².

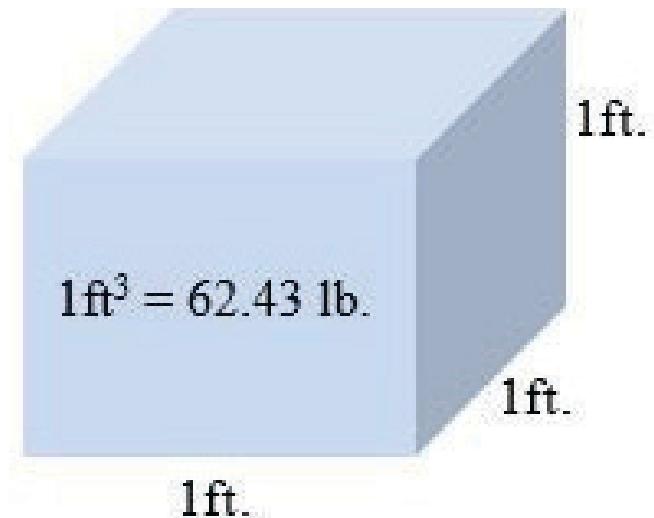


Figura 3. Ilustración de un volumen de 1 pie³ de agua.
Credits: Haimanote K. Bayabil, UF/IFAS

Pérdidas por fricción

Al moverse el agua por el sistema de riego (p.e. tubería, accesorios y válvulas, etc.) ésta pierde energía debido a la fricción del agua y del sistema. A medida que la pérdida por fricción se hace más grande, la presión en el sistema de riego disminuye y parte del campo recibe menos agua por debajo de la tasa de riego objetivo. Generalmente, tuberías de pequeño diámetro y más largas tienen más pérdidas por fricción comparado con tuberías de más diámetro y más cortas. Las pérdidas por fricción se tienen que considerar al diseñar los sistemas de riego para lograr una distribución uniforme y la aplicación deseada de agua. Factores como el diámetro de las tuberías, tipo de material, y la forma, afectan las pérdidas por fricción. Las tablas de pérdidas por fricción se pueden usar para estimar pérdidas de presión en sistemas de riego. Por ejemplo, la Tabla 3 muestra las pérdidas por fricción para tuberías de goteo. Por ejemplo, en la Tabla 3 una tubería de goteo con un diámetro interno de 0,62 pulgadas y una descarga de 2 gpm tiene una pérdida por fricción de 1,76 psi por cada 100 pies de largo. La instalación de metros de presión puede ayudar a monitorear las pérdidas de presión de los sistemas de riego. Multiples medidores de presión se pueden instalar en diferentes puntos del sistema para medir presiones diferentes.

Caudal y tamaño de tubería

El caudal en sistemas de riego depende del tamaño de la tubería y la presión. La cantidad de agua corriendo por la tubería está basada en qué cantidad de agua es descargada por los aspersores a lo largo de esa sección de tubería, capacidad de la bomba y la presión. La velocidad es el caudal dividido por el área de la tubería. Los tamaños de tubería son mayores cerca del origen del agua y disminuyen

hacia el final del regadío. El cálculo del tamaño correcto de la tubería asegurará la aplicación correcta del agua del riego. La Tabla 4 da el promedio de los caudales que distintos tamaños de tuberías pueden acomodar.

La Figura 4 enseña un sistema de aspersión con 5 aspersores; cada uno tiene un caudal de 4 gpm (equivalente a 20 gpm para todo el sistema). Note la diferencia en los tamaños de las tuberías basada en el total de agua corriendo en cada sección del sistema de riego (Tabla 4). Este ejemplo no considera pérdidas por fricción causadas por las características de la tubería (p.e. tipo, diámetro, longitud, accesorios, medidor, etc.).

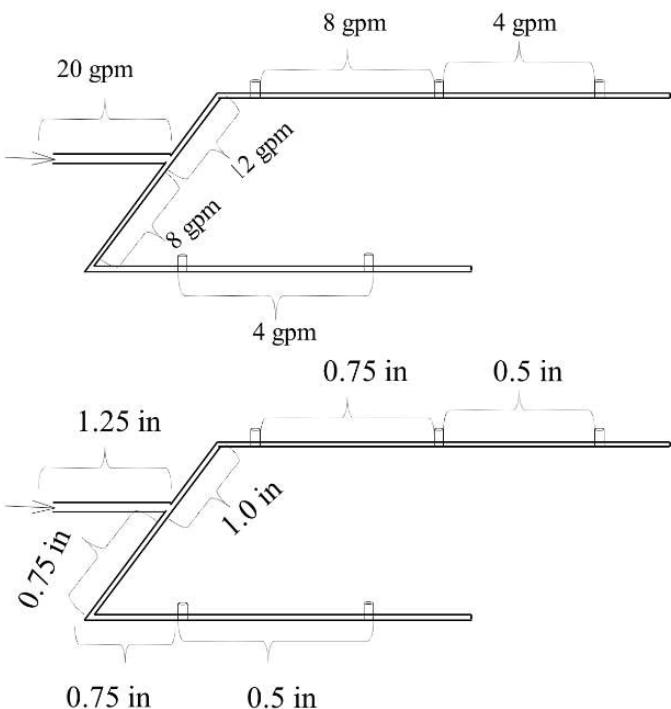


Figura 4. Esquema del diseño de riego por aspersión con caudales y tamaños de tuberías.

Credits: Haimanote K. Bayabil, UF/IFAS

Bombas de regadío

Las bombas se necesitan cuando el origen del agua está lejos del campo, y el riego es necesario de puntos de elevación de más bajos a más altos. La bomba se usa para crear flujo, elevar una presión que lleva a la adecuada corriente de agua en un regadío (Hanan 2017). La corriente requerida (gpm) y la presión del sistema de riego hay que considerarlas para seleccionar la bomba. Las bombas de riego pueden ser costosas. Considere el uso de su sistema de riego al seleccionar una bomba y, si es necesario, consulte a un profesional. Hanan (2017) y Hanan and Zazueta (2017) dan información adicional sobre tipos de bombas y medidas de eficiencia.

Horario de riego

Las prácticas de riego principalmente suplementan los requerimientos de agua de las cosechas que no son satisfechas por la lluvia (Migliaccio and Li 2018). Los horarios de riego se refieren a cuándo y cuánto riego es necesario (Davis and Dukes 2010; Kiesekka et al. 2019). Los horarios de riego se pueden determinar usando medidas basadas en humedad del suelo, evapotranspiración y requerimiento de la cosecha. El diseño de sistemas de riego eficientes no garantiza el uso eficiente del agua a no ser que el apropiado horario de riego esté hecho. Información adicional sobre técnicas para horarios de riego se encuentra en los siguientes documentos en EDIS.

- *Smart Irrigation Controllers: Operation of Evapotranspiration-Based Controllers:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae446>
- *Smart Irrigation Controllers: Programming Guidelines for Evapotranspiration-Based Irrigation Controllers:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae445>
- *Evapotranspiration-Based Irrigation for Agriculture: Sources of Evapotranspiration Data for Irrigation Scheduling in Florida:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae455>
- *Evapotranspiration-Based Irrigation for Agriculture: Crop Coefficients of Some Commercial Crops in Florida:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae456>
- *Evapotranspiration-Based Irrigation Scheduling for Agriculture:* <https://edis.ifas.ufl.edu/ae457>

Resumen

Este documento provee información básica de los mayores factores que afectan el diseño de un sistema de riego. Varios factores incluyendo la selección de equipos apropiados y el diseño del sistema, influyen en la efectividad de un sistema de riego. El diseño de eficientes sistemas de riego es crítico no sólo para conservar agua potable sino tambien para ahorrar dinero. Adicionalmente los sistemas eficientes de regadio deben tener horarios de riego apropiados para obtener los resultados deseados.

Referencias

- Cahn, M. D., and L. F. Johnson. 2017. "New Approaches to Irrigation Scheduling of Vegetables." *Horticulturae* 3:28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020028>
- Davis, S. L., and M. D. Dukes. 2010. "Irrigation Scheduling Performance by Evapotranspiration-Based Controllers." *Agricultural Water Management* 98:19–28. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.006>

- Dukes, M. D. 2012. "Water Conservation Potential of Landscape Irrigation Smart Controllers." *Transactions of the ASABE* 55:563–569. <https://doi.org/10.13031/2013.41391>
- Haman, D. Z. 2017. *Pumps for Florida Irrigation and Drainage Systems*. CIR832. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/wi001>
- Haman, D. Z., and F. S. Zazueta. 2017. *Measuring Pump Capacity for Irrigation System Design*. CIR1133. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/ae067>
- Irrigation Association. 2008. "Friction Loss Charts." <https://irrigation.tamu.edu/files/2020/12/Class-200-Sch-40-Friction-Loss-Charts.pdf>
- Kisekka, I., K. W. Migliaccio, M. D. Dukes, B. Schaffer, J. H. Crane, H. K. Bayabil, and S. M. Guzman. 2019. *Evapotranspiration-Based Irrigation Scheduling for Agriculture*. AE457. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/ae457>
- Marella, R. 2013. "Water Use in Florida, 2005 and Trends 1950–2005." *U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey*. <https://doi.org/10.3133/fs20083080>
- Marella, R. L. 2015. "Water Withdrawals in Florida, 2012: Open-File Report 2015-1156." <https://doi.org/10.3133/ofr20151156>
- Melby, P. 1988. *Simplified Irrigation Design*. PDA Publishers.
- Migliaccio, K. W., and Y. C. Li. 2018. *Irrigation Scheduling for Tropical Fruit Groves in South Florida*. TR001. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/tr001>
- Rayer, S., and Y. Wang. 2017. "Projections of Florida Population by County, 2020–2045, with Estimates for 2016." *Bureau of Economic and Business Research* 50.
- Rogers, J., T. Borisova, J. Ullman, K. T. Morgan, L. Zotarelli, and K. Gorgan. 2018. *Factors Affecting the Choice of Irrigation Systems for Florida Tomato Production*. FE960. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/fe960>
- Vico, G., and N. A. Brunsell. 2018. "Tradeoffs between Water Requirements and Yield Stability in Annual vs. Perennial Crops." *Advances in Water Resources* 112:189–202. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.12.014>
- Zotarelli, L., L. Rens, C. Barrett, D. J. Cantliffe, M. D. Dukes, M. Clark, and S. Lands. 2019. *Subsurface Drip Irrigation (SDI) for Enhanced Water Distribution: SDI—Seepage Hybrid System*. HS1217. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/hs1217>

Tabla 1. Capacidad de retención de agua (pulgadas de agua por pie de profundidad de suelo) para varios tipos de suelos conunes en el sur de Florida (Migliaccio y Li 2018).

Soil	Capacidad Retención de Agua (CRA)	
	Rango (pulg/ft)	Promedio (pulg/ft)
Pedregoso-limoso	1,0–1,4	1,2
Organo arcilloso	1,2–2,4	1,8
Turba	2,0–3,0	2,5
Arena y arena fina	0,4–1,0	0,75

Tabla 2. Conversión de unidades de presión.

	atm	in	bar	kPa	psi (lb/in ²)
atm	1,0	406,79	1,013	101,32	14,69
in	0,002456	1,0	0,00249	0,249	0,03613
bar	0,9872	401,47	1,0	100	14,50
kPa	0,00987	4,018	0,01	1,0	0,145
psi (lb/in ²)	0,068	27,71	0,0689	0,00689	1,0

Tabla 3. Gráfico de pérdida de fricción de la Asociación de Riego (2008) para tubos de goteo. (Fuente: Asociación de Riego, 2008)

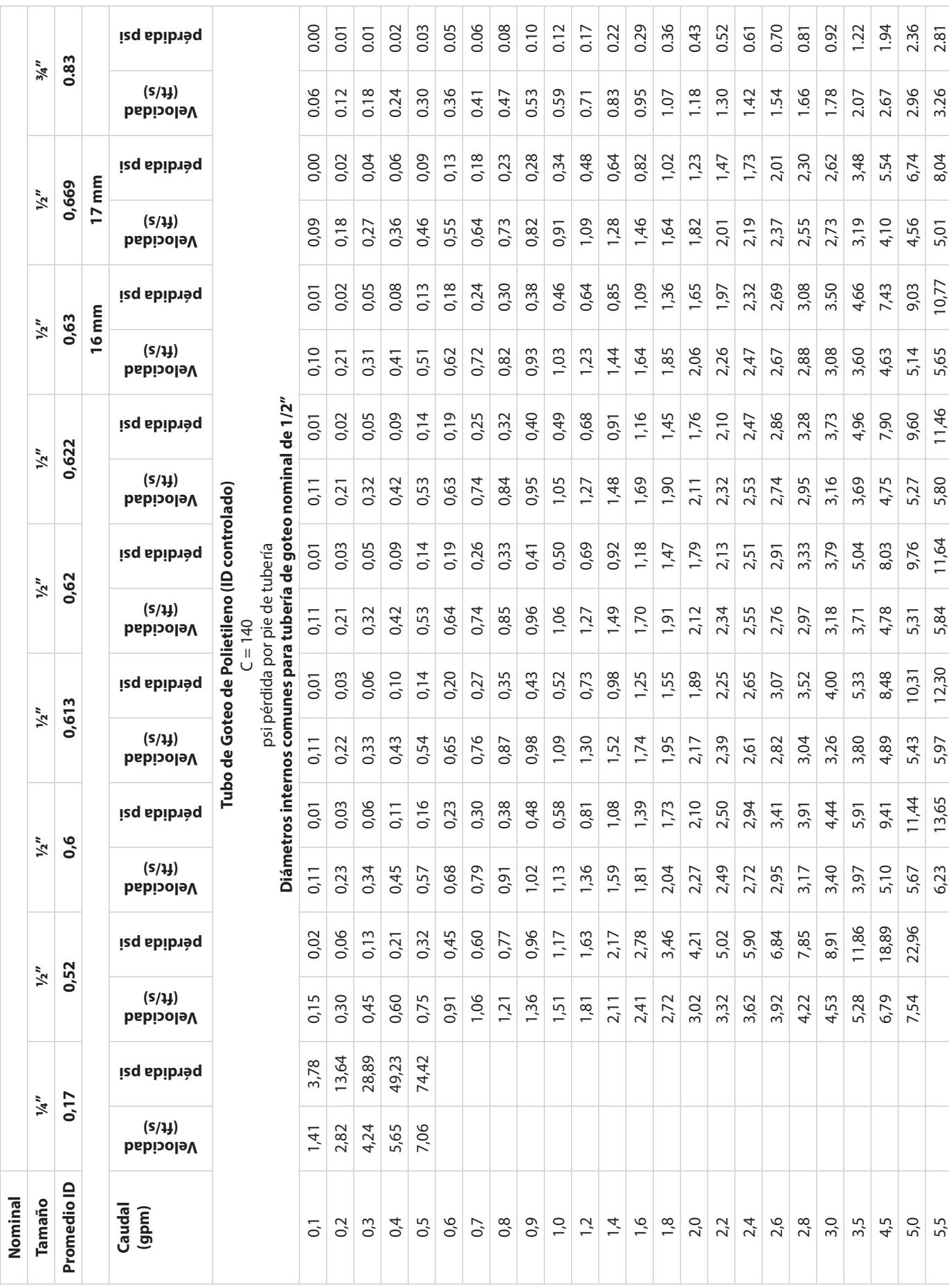


Tabla 4. Caudales ideales para tuberías de distintos tamaños (Origen: Melby, 1988).

Tamaño de tubería (in)	Caudal (gpm)
0,5	1–6
0,75	7–10
1,0	11–16
1,25	17–26
1,5	27–35
2,0	36–55