

E-02-2023

Comunicación científico-técnica

Consideraciones sobre el coeficiente de solape para el cálculo de emisores en riego localizado

Considerations about the required number of emitters in drip irrigation due to overlapping

Martí, P.¹; González-Altozano, P.²; Gasque, M.³; Román, A.¹; Turégano-Pastor, J.V.²; Royuela, A.⁴

¹ Departament d'Enginyeria Industrial i Construcció. Universitat de les Illes Balears. Palma. pau.marti@uib.es

² Departament d'Enginyeria Rural i Agroalimentària. Universitat Politècnica de València. Valencia.

³ Departament de Física Aplicada. Universitat Politècnica de València. Valencia.

⁴ CVER. Universitat Politècnica de València. Valencia

Resumen:

Una manera relevante de contribuir a aumentar la eficiencia en el uso del agua en agricultura consiste en plantear un diseño correcto de las instalaciones de riego, así como una gestión adecuada de la explotación. El diseño de las subunidades de riego localizado consta, en general, de dos fases diferenciadas: el diseño hidráulico y el diseño agronómico. En la fase de diseño agronómico se determina, entre otros parámetros, el emisor a instalar, así como su número y posicionamiento en parcela. Diversas experiencias pusieron de manifiesto que no es necesario mojar toda la superficie de una planta para asegurar un correcto desarrollo de la misma. Por otra parte, es recomendable limitar la separación entre dos emisores contiguos para asegurar un solapamiento mínimo entre sus bulbos húmedos que impida la proliferación de sales en la zona radicular. En base a esto, un criterio de diseño agronómico ampliamente aceptado para calcular el número teórico requerido de emisores por planta consiste en dividir el área a mojar de la planta entre el área mojada por un emisor. Algunos autores consideran en este punto el área mojada neta de un emisor (A_{ne}), que tiene en cuenta la reducción de superficie mojada debido al solapamiento entre emisores y que se estima mediante el coeficiente de solape (K_p).

En la bibliografía se define K_p como la relación entre A_{ne} y el área total mojada por el emisor. Su valor es función exclusivamente del porcentaje de solapamiento. Sin embargo, no se indica



XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



cómo se debe calcular Ane. Además, llama la atención que dicho coeficiente no dependa del número de emisores considerados, ni del diámetro del bulbo húmedo, ni del número de laterales por fila de plantas. Este trabajo presenta un análisis teórico del cálculo del coeficiente de solape. Las áreas solapadas entre emisores difieren entre emisores extremos y emisores interiores. Asimismo, estas áreas solapadas vuelven a diferir entre configuraciones con un único lateral por fila de plantas y dos laterales por fila de plantas.

Los valores de K_p existentes asignan un Ane idéntico a todos los emisores del lateral. Concretamente, asignan siempre el área neta correspondiente a un emisor no extremo en un único lateral por fila de plantas. En cambio, para tener en cuenta que las áreas solapadas difieren entre emisores, sería necesario incorporar el número de emisores por planta como variable de entrada para el cálculo de K_p , así como si van dispuestos en uno o dos laterales por fila de plantas. En un lateral por fila de plantas, la definición original de K_p , al no tener en cuenta que los emisores extremos presentan una mayor Ane, sobreestima el número teórico de emisores requerido por planta. En emisores agrupados dispuestos en dos laterales por fila de plantas, al existir un solapamiento adicional entre laterales, los K_p sobreestimarían Ane en los emisores interiores y, por tanto, infraestimarían el número teórico de emisores requerido.

Palabras clave: Riego localizado, emisores por planta, solape bulbos.

Abstract:

A suitable design and management of irrigation installations can contribute to improve water use efficiency in agriculture. The design of irrigation systems includes, in general, two general stages, namely the hydraulic design and the agronomic design. Among other parameters, the emitter flowrate and their number and location in the plot are fixed in the agronomic design. Previous research highlighted that it might not be necessary to wet the complete surface of the plant to ensure its development and production. Further, it is suitable to limit the separation between two contiguous emitters to ensure a minimum overlapping between their corresponding wet bulbs, so that salt proliferation is avoided in the root zone. On this basis, a widely accepted method to calculate the required emitters per plant consists in dividing the threshold wetting area of the plant by the area that is wetted by one emitter. In some cases, the wetted area of the emitter is replaced by its net wetted area (Ane), which takes into account the reduction of wetted area due to the overlapping between emitters and which is calculated using an overlapping coefficient (Kp). Kp was defined as the ratio between Ane and the total wetted area of the emitter, exclusively, as a function of the overlapping percent. However, the definition of Ane was not clearly established. Moreover, it seems noteworthy that Kp is not a function neither of the number of emitters nor of the wet bulb diameter, nor of the number of laterals per plant row. This work presents the theoretical revision of the overlapping coefficient.

The overlapping areas seem to differ within extreme and interior emitters, as well as within configurations with one lateral per plant row and two laterals per plant row. The existing Kp values assign the same Ane to all the emitters in the lateral, specifically the Ane corresponding to an interior emitter. However, if the distinction between interior and extreme emitters and between one wants to be incorporated the number of emitters per group should be considered as input for calculating Kp if the distinction between interior and extreme emitters wants to be incorporated. On the other hand, to take into account that the overlapping areas differ between emitters, it would be necessary to incorporate the number of emitters per plant as an input variable for the calculation of Kp, as well as whether they are arranged on one or two laterals per plant row. In one lateral per plant row, the original definition of Kp overestimates the theoretical number of emitters required per plant because it does not take into account that the extreme emitters have a higher Ane. In grouped emitters arranged in two laterals per plant row the original Kp would overestimate Ane at the inner emitters, because there is actually an additional overlap between laterals, and would therefore underestimate the theoretical number of required emitters.

Keywords: Drip irrigation, emitters per plant, overlapping, wet bulbs.

1. Introducción

Las subunidades de riego distribuyen agua a porciones limitadas de superficie de la explotación en base a una sectorización de caudal predefinida. Una subunidad está constituida por un conjunto de laterales o tuberías portaemisores y la tubería que las alimenta, con un dispositivo regulador de presión en su cabecera. Por otro lado, la red de distribución alimenta a las subunidades. El diseño de cada subunidad consta, en general, de dos fases diferenciadas: el diseño hidráulico y el diseño agronómico. En el primero se determinan, entre otros parámetros, los diámetros de las tuberías y las presiones requeridas en cabecera de las subunidades. Los criterios para determinar estos parámetros persiguen fundamentalmente asegurar un reparto uniforme de caudales entre emisores, así como que el caudal emitido por éstos sea próximo al nominal.

Para realizar el diseño hidráulico de la subunidad es preciso haber definido previamente qué emisor se va a instalar (ecuación característica), así como el posicionamiento de éstos en la parcela, i.e. número de emisores por planta, separaciones entre emisores dentro del lateral y separaciones entre laterales, parámetros que se determinan en la fase previa de diseño agronómico. La ecuación característica, concretamente el exponente del emisor o el rango de compensación en emisores compensantes, permite cuantificar la variación de presión admisible para no sobrepasar una variación de caudales objetivo. Conocido el caudal nominal, se pueden determinar los caudales por tramo. El posicionamiento de los emisores permite determinar las longitudes de las tuberías, variable requerida para cuantificar las pérdidas de carga en éstas y, eventualmente, los desniveles entre emisores si se conocen las pendientes de la parcela. A través de las fórmulas de pérdidas de carga se puede calcular el diámetro requerido en las tuberías de la subunidad. Plantear el diseño de una instalación de riego por subunidades, independientemente de que pueda estar impuesto por restricciones de caudal disponible, permite cumplir el criterio de variación máxima de presión con menores diámetros, pues se reducen caudales y longitudes.

Frente a los métodos de diseño hidráulico de subunidades, podría considerarse que existe una mayor complejidad para modelizar de forma suficientemente generalizable el movimiento de agua en el suelo y la respuesta fisiológica de la planta frente a diferentes configuraciones de suministro de agua. Ello explicaría el margen de mejora y concreción existente en los criterios existentes de diseño agronómico. Por otra parte, frente a las recomendaciones basadas en estudios experimentales concretos y los complejos modelos que requieren herramientas informáticas para su uso, el diseñador puede tender a preferir criterios más simples para la toma de decisiones.

Relativamente pocos estudios han abordado el efecto de la separación entre emisores en sistemas de riego localizado sobre el rendimiento de los cultivos. Plaut et al. [1] no encontraron ninguna tendencia en el rendimiento del algodón para diferentes ratios espaciado de laterales vs. hilera de plantas, considerando una separación entre emisores de 0.4 m y un

caudal nominal de 1.4 l/h. Ayars et al. [2] consideraron separaciones entre laterales de 1.5 m y 2.5 m para algodón en un suelo franco arcilloso, con una separación entre emisores de 1 m y un caudal nominal de 2 l/h, y no encontraron diferencias en el rendimiento. Separaciones entre emisores de 0.5 m y caudales nominales de 2 l/h a 4 l/h, respectivamente, condujeron a resultados similares, e.g. [3-4]. Ningún estudio ha abordado el efecto de la distancia entre emisores en el rendimiento de cultivos en hileras regados con tuberías emisoras de pared fina.

Los agricultores y diseñadores se suelen basar en su experiencia para determinar la separación entre emisores más adecuada a sus condiciones. Así, son habituales separaciones entre emisores que oscilan entre 0.2 m y 0.45 m para cultivos anuales. En California se suele utilizar una separación entre emisores de 0.2 m para la fresa, pero para el riego por goteo de hortalizas se utilizan espaciamentos de 0.3 m a 0.45 m [5]. En cualquier caso, parece difícil generar suficiente evidencia experimental para poder definir un criterio general, dado el infinito espectro de posibles escenarios. Así pues, esta decisión se basa a menudo en la experiencia subjetiva del diseñador o del agricultor. Sin embargo, sería deseable disponer de un criterio general de diseño claro y sencillo para complementar la experiencia práctica en la toma de decisiones.

El criterio general de cálculo del número de emisores en riego localizado se suele basar en asegurar el humedecimiento de solo una fracción de la superficie de la planta o de su volumen radicular. Diversas experiencias, e.g. [6-8], pusieron de manifiesto que no es necesario mojar toda la superficie de una planta para asegurar un correcto desarrollo de la misma. Algunos autores [9-10] recomiendan mojar al menos un 33% del marco de plantación de la planta. Sin embargo, este criterio podría conducir a soluciones diferentes para dos cultivos idénticos si se han plantado con marcos diferentes. Para corregir este problema, Hernández [11] propone fijar la fracción de superficie a humedecer en función del área sombreada por el cultivo y sugiere un valor mínimo del 50%. Otros autores [12-14], entre otros, sugieren limitar la separación entre dos emisores contiguos por debajo de cierto umbral para asegurar un solapamiento mínimo entre sus bulbos húmedos que impida la proliferación de sales en la zona radicular, y eventualmente problemas de desarrollo de las mismas. Así, se define el porcentaje de solape en función del radio del bulbo húmedo, suponiendo una sección mojada circular. Se recomiendan un valor mínimo de 15% y un valor máximo de 50% [13]. Valores superiores supondrían un lavado excesivo y resultarían poco rentables. A partir de esta definición se puede establecer la separación (l) teórica requerida entre dos emisores, figura 1, para garantizar un valor de solape prefijado.

Así pues, en general, un criterio ampliamente aceptado de diseño agronómico para calcular el número teórico requerido de emisores (e) de riego localizado consiste en dividir el área de la planta a mojar entre el área mojada por un emisor. Siguiendo las recomendaciones anteriores, la superficie ocupada por la planta (A_p) correspondería al área sombreada de la planta y el porcentaje de superficie a mojar (P) valdría al menos 50. El área sombreada se calcularía como el área de una circunferencia de radio igual a un radio de copa prefijado. Posteriormente, e se redondea por exceso y se verifica que la separación entre emisores calculada, para asegurar un solape concreto, permite su colocación en la longitud de lateral que corresponde a la planta, dada por el marco de plantación. En caso negativo, se debe recurrir a dos laterales por fila de plantas.

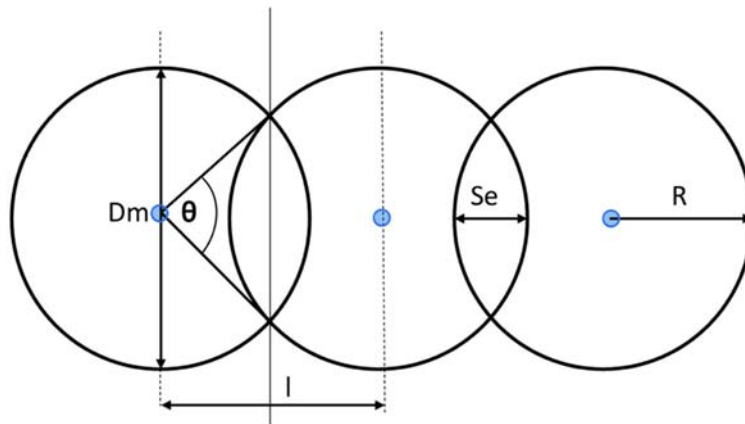


Figura 1. Solape entre emisores contiguos en un lateral.

Para determinar la superficie mojada por emisor (A_e), se plantean, en general, 4 opciones: determinarla experimentalmente in situ, obtener un valor orientativo de tablas, calcularla a partir de fórmulas empíricas que estiman el diámetro del bulbo húmedo a partir del caudal nominal del emisor instalado para diferentes texturas de suelo, o estimarla a partir de modelos complejos aplicando eventualmente simulaciones con herramientas informáticas, e.g. [15]. A_e no tendría por qué corresponder al área mojada superficial del bulbo, sino que podría considerarse el plano donde el bulbo húmedo alcanza su máxima anchura. Pizarro [12] supone siempre que A_e adopta una forma circular y no descuenta, por tanto, la superficie solapada si el número de emisores por planta es superior a 1. Este autor sí tiene en cuenta el solape para calcular la separación entre emisores. Montalvo [13] introduce el concepto de área neta mojada por el emisor (A_{ne}) para el cálculo del número teórico de emisores requerido. A_{ne} tiene en cuenta la reducción de superficie mojada debido al solape entre emisores y se calcula como el producto de A_e por el coeficiente de solape (K_p). Montalvo [13] define K_p como la relación entre el área neta mojada por el emisor y el área total mojada y ofrece una tabla con los valores de K_p en función del porcentaje de solape (s), mostrados en la Tabla 1. Sin embargo, el autor no indica cómo se debe calcular A_{ne} . Llama la atención que K_p no depende del número de emisores considerados, ni del diámetro del bulbo húmedo, ni del número de ramales.

2. Deducción de K_p

Para obtener los valores de K_p , basta con aplicar la definición dada por el autor. Para ello, se debe definir el valor de A_{ne} . Asimismo, para definir ésta, es necesario calcular el valor de la superficie solapada entre dos emisores. Suponiendo que el área mojada por un emisor es circular, el área solapada por emisor entre dos emisores corresponde a la superficie de un segmento circular, calculada como el área de un sector circular menos el de la porción triangular adyacente. A continuación, se expresa el ángulo de solape (θ) en función del porcentaje de solape. Montalvo [13], para llegar a sus valores de K_p , atribuye a todos los emisores la misma área neta, independiente del número de emisores y del número de laterales. Esto equivale a atribuir para todos los emisores el solapamiento existente cuando cada emisor tiene dos emisores contiguos en un único lateral.

Tabla 1. Valores de K_p para diferentes porcentajes de solape (s) [13].

s	K_p	s	K_p
%	-	%	-
0	1	35	0.914
5	0.995	40	0.896
10	0.987	45	0.876
15	0.976	50	0.856
20	0.963	55	0.834
25	0.948	60	0.812
30	0.932	65	0.789

Por tanto, la expresión de K_p será:

$$K_p = \frac{A_e - 2 A_s}{A_e} = \frac{\pi R^2 - 2 \left(\frac{R^2}{2} (\theta - \sin(\theta)) \right)}{\pi R^2} = 1 - \left(\frac{\theta - \sin(\theta)}{\pi} \right) \quad (1)$$

donde A_s es el área solapada, R es el radio del bulbo húmedo ($D_m/2$) y θ es el ángulo de solape. θ en función de s :

$$K_p = 1 - \left(\frac{2 \arccos \left(1 - \frac{s}{200} \right) - \sin \left(2 \arccos \left(1 - \frac{s}{200} \right) \right)}{\pi} \right) \quad (2)$$

Esta ecuación conduce a los valores publicados por Montalvo [13]. A la vista de estas ecuaciones, se demuestra que, suponiendo que el área mojada por un emisor es circular, K_p es independiente de las dimensiones del bulbo húmedo, es decir de D_m . Con un lateral por fila de árboles, la definición propuesta por Montalvo [13] no tiene en cuenta que los emisores extremos presentan una mayor A_n (se descontaría A_s solo una vez).

El cálculo del número de emisores por planta presupone un escenario donde los emisores están agrupados, i.e. la separación entre emisores de dos grupos contiguos difiere de la separación entre emisores dentro de un mismo grupo. Así, el número de emisores por planta es pequeño en comparación con el número de emisores por lateral. Por tanto, las diferencias en el solape entre emisores interiores y extremos podrían tener repercusión en el K_p . En emisores no agrupados, las diferencias en el solape entre emisores interiores y extremos solo afectan a un emisor de la primera y última planta de la hilera, respectivamente, porque el solape entre emisores contiguos de dos grupos diferentes es idéntico al solape entre emisores dentro de cada grupo. En cualquier caso, un cálculo escrupuloso de K_p debería depender del número de emisores por grupo (n). Sin embargo, esto presenta el inconveniente de que precisamente n es la variable que se pretende determinar con K_p y A_n . Por tanto, esto justificaría que la metodología y los valores propuestos de K_p no dependan de n . En cualquier caso, los K_p

propuestos subestimarían la Ane total y sobreestimarían el número teórico de emisores requerido e.

3. Coeficiente de solape para dos laterales por fila de plantas

Si se introduce un segundo lateral por hilera de plantas, el cálculo de K_p debe ser diferente, porque existen A_s adicionales, debido al solapamiento entre emisores vecinos del segundo lateral. En este apartado se presenta un enfoque análogo al apartado anterior, es decir, independiente del número de emisores, pero incorporando el efecto del área de solape adicional. De acuerdo con el planteamiento de Montalvo [13], el nuevo K_p asignará a todos los emisores la misma área neta para simplificar el procedimiento de cálculo, y se omitirá que los emisores extremos presentan un Ane mayor que los emisores interiores. La deducción del nuevo K_p es similar al apartado anterior, con la diferencia de que a A_e hay que restarle una unidad de A_s adicional. Asimismo, para simplificar, se supone que la separación entre emisores vecinos es la misma a lo largo de un lateral y entre laterales, es decir, la separación entre laterales es la misma que la separación entre emisores a lo largo del lateral. Hay que recordar que, teóricamente, el solapamiento entre emisores se fija para evitar la concentración de sales en la zona radicular. El solape entre laterales no debe, además, interferir en las operaciones de manejo de la parcela.

Por lo tanto, esto equivale a asignar a todos los emisores el solapamiento que existe cuando cada emisor tiene tres emisores vecinos (dos del mismo lateral y uno del segundo lateral). Este enfoque no tiene en cuenta el posible solapamiento diagonal de otros emisores del segundo lateral. Así pues:

$$Kp' = \frac{Ae - 3As}{Ae} = \frac{\pi r^2 - 3 \left(\frac{r^2}{2} (\theta - \sin(\theta)) \right)}{\pi r^2} = 1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\theta - \sin(\theta)}{\pi} \right) \quad (3)$$

donde Kp' es el coeficiente de solape independiente del número de emisores para dos laterales por fila de plantas cuando existe una única superficie de solape constante para todos los emisores. O representando θ en función de s :

$$Kp' = 1 - \frac{3}{2} \left(\frac{2 \arccos \left(1 - \frac{s}{200} \right) - \sin \left(2 \arccos \left(1 - \frac{s}{200} \right) \right)}{\pi} \right) \quad (4)$$

Con dos laterales por fila de árboles, donde existe un solapamiento adicional entre laterales, los K_p originales sobreestimarían la Ane de los emisores no extremos (o interiores), y esto infraestimaría e.

4. Coeficiente de solape para emisores no agrupados

Si los emisores no están agrupados la separación entre emisores es constante a lo largo de todo el lateral. En este escenario, los bulbos de los emisores extremos de dos plantas contiguas se solapan también, como se ha comentado antes. En cuanto a la evaluación de Ane por emisor,

se puede constatar que, con la excepción de los dos emisores extremos del lateral, ésta es constante para todos los demás emisores. Parece razonable aplicar únicamente el K_p correspondiente a cualquier emisor interior y mantener para las plantas de los extremos el número teórico de emisores calculado para las plantas interiores, aunque, siendo escrupulosos, en la agrupación de las plantas de los extremos A_{ne} es ligeramente superior, porque en los emisores extremos se descontaría solo A_s , no $2A_s$. De esta forma, si hay un único lateral por fila de plantas, parece razonable seguir utilizando el K_p de Montalvo [13]. En el caso de emisores no agrupados dispuestos en dos laterales por fila de plantas debe añadirse un A_s adicional por el solapamiento entre laterales. En este caso, parece razonable aplicar de nuevo únicamente el K_p correspondiente a un emisor interior y mantener para las plantas de los extremos el número teórico de emisores calculado para las plantas interiores. Por tanto, habría que considerar el A_s adicional debido al solape entre laterales visto antes y se utilizaría la ecuación 4.

5. Diseño agronómico para riego de parques y jardines

Dadas las particularidades del riego de parques y jardines debería cuestionarse si el criterio aplicado en agricultura basado en asegurar el humedecimiento de un porcentaje mínimo del área de planta sigue teniendo validez. De forma general, puede decirse que el riego de parques y jardines está condicionado, entre otros, por dos factores diferenciadores: i) no se persigue maximizar la productividad de las plantas, y ii) es altamente probable que una misma subunidad de riego aglutine un grupo heterogéneo de especies, eventualmente con diferentes necesidades y áreas sombreadas.

El primer rasgo se traduce en el uso de coeficientes de especie y no de cultivo para cuantificar los requerimientos de evapotranspiración de la planta. Aun en el caso que se utilice una especie potencialmente productiva, por ejemplo, un olivo, su riego no persigue satisfacer niveles de evapotranspiración que den lugar a rendimientos productivos. El objetivo, en general, consiste, más bien, en mantener las especies en condiciones estéticas aceptables. El segundo rasgo implica la localización en una misma zona del jardín de un conjunto de especies diferentes, pues el diseño del jardín puede responder a criterios ajenos al riego que se le aplicará, por ejemplo, a criterios exclusivamente estéticos.

En algunos casos la agrupación de las especies no ignora sus respectivos consumos hídricos, hecho que contribuye a aumentar la eficiencia del riego y a simplificar el diseño e implantación de las instalaciones necesarias. A diferencia del cálculo de necesidades de riego uniformes en base a un único coeficiente de cultivo, en jardinería es habitual calcular la evapotranspiración de una agrupación de especies mediante el concepto de coeficiente de jardín, asignando las mismas necesidades a diferentes especies que conforman una hidrozona. Las desviaciones de los requerimientos individuales respecto de las necesidades de la agrupación dependerán del criterio seguido para establecer la agrupación.

Sin embargo, llegado el momento de establecer el número de emisores necesario, al no existir criterio específico, en ocasiones se recurre al mismo criterio de humedecer un porcentaje mínimo de suelo de la planta. Sin embargo, en una misma hidrozona podría haber especies con áreas sombreadas muy diversas. Al estar ubicadas probablemente en la misma subunidad,

con un mismo tiempo de riego, las dosis de riego dependerán de la superficie sombreada, más que de los consumos específicos dados por su coeficiente de especie. Se podrían contemplar dos escenarios. Si las especies tienen consumos unitarios homogéneos, las dosis recibidas dependerán de la superficie de referencia utilizada para calcular el volumen a aplicar y de cómo se haya traducido el número teórico de emisores en un número real de emisores. Si las especies tienen consumos unitarios heterogéneos y coberturas no proporcionales a éstos, la asignación de emisores por planta en base a su cobertura difícilmente permitirá ajustar las diferentes dosis en un mismo tiempo de riego. Conviene poner de manifiesto la dificultad para establecer conclusiones generalizables dado el amplio abanico de casuísticas posibles. En cualquier caso, será altamente probable que se produzcan incongruencias entre el número de emisores asignado y las dosis a aplicar dentro de una misma subunidad.

Un criterio alternativo que podría contribuir a repartir de forma más ajustada diferentes dosis de riego dentro de una subunidad consistiría en calcular el número de emisores por planta en base a sus necesidades específicas de evapotranspiración y a un tiempo de riego único predefinido. Este criterio permitiría establecer un factor de proporcionalidad de emisores entre las especies de una misma subunidad. Posteriormente se fijaría un tiempo de riego para satisfacer las necesidades de una especie y se ajustaría el número de emisores del resto en base a la proporción calculada.

Siguiendo este criterio, el número teórico relativo de emisores por especie se calcularía mediante

$$e_i = \frac{NR_{bi} A_i}{T_r q} \quad (5)$$

donde e_i es el número teórico de emisores de la especie i , NR_{bi} son las necesidades brutas de riego de la especie i , A_i es el área de la especie i , T_r es el tiempo de riego preestablecido para la subunidad y q es el caudal nominal del emisor instalado.

8. Conclusiones

Este trabajo aborda la revisión del concepto de coeficiente de solape K_p en el cálculo del número teórico de emisores en sistemas de riego localizado. Se ha presentado la deducción de los valores de K_p publicados por Montalvo [13].

Suponiendo que el área mojada por un emisor es circular, un análisis detallado de las áreas solapadas entre emisores revela que éstas difieren entre emisores extremos y emisores interiores. Asimismo, estas áreas solapadas vuelven a diferir entre configuraciones con un único lateral por fila de plantas y dos laterales por fila de plantas. En el caso de un lateral por fila de plantas, los emisores extremos presentan una unidad de área solapada, mientras que los emisores interiores presentan dos áreas solapadas. En el caso de dos laterales por fila de plantas, existe un solapamiento adicional entre laterales, de forma que los emisores extremos presentan dos unidades de área solapada, mientras que los emisores interiores presentan tres áreas solapadas.

En su definición de K_p , solo dependiente del porcentaje de solape a , Montalvo [13] asigna un área mojada neta A_{ne} idéntica a todos los emisores del lateral. Concretamente, asigna siempre el área neta correspondiente a un emisor no extremo en un único lateral por fila de plantas, es decir asigna a todos los emisores dos áreas solapadas. Para tener en cuenta que las áreas solapadas difieren entre emisores, sería necesario incorporar el número de emisores como variable de entrada para el cálculo de K_p , así como si van a ir dispuestos en uno o dos laterales por fila de plantas, respectivamente.

En un lateral por fila de árboles, la definición de K_p propuesta por Montalvo [13] subestima A_{ne} y sobreestima el número teórico de emisores requerido e . En el caso de dos laterales por fila de plantas, los K_p propuestos por Montalvo [13] sobreestimarían A_{ne} en los emisores interiores y, por tanto, infraestimarían el número teórico de emisores requerido e .

Finalmente, se cuestiona la validez del criterio general de cálculo del número de emisores por planta, basado en asegurar el humedecimiento de una superficie mínima de la planta, para el diseño de sistemas de riego para parques y jardines.

Referencias

1. Plaut, Z., Carmi, A., Grava, A. Cotton growth and production under drip-irrigation restricted soil wetting. *Irrig Sci.*, 1988. Vol. 9:143-156.
2. Ayars, J. E., Hutmacher, R. B., Schoneman, R. A., Vail, S. S., Patton, S.H., Felleke, D. Salt distribution under cotton trickle irrigated with saline water. In: *Drip/Trickle Irrigation in Action. Proc. Third Drip/Trickle Irrigation Congress, Fresno, California. Nov. 18-21, 1985. ASAE, Vol. 2:666-672.*
3. Howell, T.A., Meron, M., Davis, K.R., Phene, C.J., Yamada, H. Water management of trickle and furrow irrigated narrow row cotton in the San Joaquin Valley. *Appl Engr Agric.*, 1987. Vol. 3:222-227.
4. Meiri, A., Frenkel, H., Mantell, A. Cotton response to water and salinity under sprinkler and drip irrigation. *Agron J.*, 1992. Vol. 84:44-50.
5. Schwankl, L.J., Hanson, B.R. 2007. Surface Drip Irrigation. In: Lamm FR, Ayars JE, Nakayama FS (Eds) *Microirrigation for Crop Production. Design, Operation, and Management.* Elsevier, Amsterdam, pp 431-472
6. Black, J.D.F., Mitchell, P.D. Changes in root distribution of mature pear trees, in *Proceedings of the 2nd International Drip Irrigation Congress. California, USA. 1974.* pp. 437-438.
7. Black, J.D.F., West, D.W. Water uptake by an apple tree with various proportions of the root system supplied with water. In *Proceedings of the 2nd International Drip Irrigation Congress. California, USA. 1974* pp. 32-433
8. Atkinson, D. The growth, activity and distribution of the fruit tree root system. *Plant Soil*, 1983. Vol. 71, 23-35. <https://doi.org/10.1007/BF02182638>.
9. Keller, J., Karmeli, D. 1974. Trickle irrigation design. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation. Glendora, California.
10. Keller, J. 1978. Trickle irrigation. Section 15-7. *National Engineering Handbook. Soil Conservation Service. USDA, USA.*
11. Hernández, J. M. 1991. El riego localizado. Madrid: I.N.I.A. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación.
12. Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. Mundi-Prensa.
13. Montalvo, T. 2003. Riego localizado: diseño de instalaciones. *intertécnica.*
14. Waller, P., Yitayew, M. 2016. *Irrigation and Drainage Engineering.* Springer International Publishing.
15. Del Vigo, A. 2020. Simulación del flujo de agua en el suelo en riego por goteo superficial. Soluciones analíticas aproximadas, caracterización del suelo y diseño de los riegos. Tesis doctoral. UPM. Madrid.