



**ENSAYOS Y PRUEBAS DE LABORATORIO
EFECTUADOS POR LA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
1998**

**“NUEVA TECNOLOGÍA DE RIEGO LOCALIZADO
DE APLICACION CONTINUA”**

**Dirigido por:
Luis A. Gurovich
Profesor Titular, Pontificia Universidad Católica de Chile
(Publicación Revista ACONEX, enero 1999)**

RESUMEN

Se ha evaluado experimentalmente algunas características de funcionamiento de una nueva tubería de riego de alta porosidad, como alternativa a los sistemas de riego por goteo, para su uso en la producción de frutas y hortalizas de exportación, discutiéndose sus ventajas y limitaciones.

INTRODUCCION

El uso de los sistemas de riego presurizado de aplicación localizada (goteo, micro-aspersión y micro-jet) se ha extendido rápidamente en la producción de cultivos intensivos y de alto valor comercial, tanto en Chile como en muchos otros países. Se estima que en estos momentos la superficie regada con estas tecnologías supera los 1.5 millones de hectáreas a nivel mundial y alcanza a 65.000 hectáreas en Chile, principalmente en la Fruticultura y Horticultura de exportación.

Hoy día es casi imposible considerar en Chile cualquier inversión en nuevas plantaciones frutales que no incluya el uso del riego presurizado, independientemente de las características del suelo, del clima, de la especie frutal y de la disponibilidad de agua de riego presentes en el predio agrícola. Asimismo, las superficies plantadas con huertos frutales adultos que están cambiando sus técnicas de riego superficial convencional a sistemas de riego presurizado se incrementa cada año mas y más, especialmente por causa de las repetidas temporadas de sequía que está experimentando nuestra Agricultura.

Las principales causas de la acelerada incorporación de estas tecnologías de riego en la Agricultura intensiva se relacionan con su alta eficiencia en la aplicación del agua, con la alta uniformidad en las láminas aplicadas a lo largo de la unidad de riego y a la posibilidad de usar estas instalaciones de riego para la aplicación de fertilizantes y otros agroquímicos durante la duración de cada riego. Asimismo, la posibilidad de aplicar pequeñas láminas de riego con alta frecuencia (uno o más riegos diarios de corta duración, que reponen con mucha exactitud la lámina de agua consumida por el huerto o cultivo desde el anterior evento de riego), asegura que la disponibilidad de agua (y de agroquímicos) en el volumen de suelo ocupado por las raíces de la planta sea siempre óptima, de tal manera que el contenido de agua y nutrientes en el suelo no sea en ningún momento una limitante en la expresión del rendimiento y la calidad de la fruta producida. De esta manera, ha sido posible aumentar considerablemente los rendimientos obtenidos en forma sostenida de temporada en temporada, y alcanzar una calidad excepcional de fruta, difícil de lograr con sistemas de riego superficial convencional, con los cuales la frecuencia de riego y la uniformidad en la distribución de las láminas de agua infiltradas al interior del perfil del suelo resultan limitantes para la productividad.

Los sistemas de riego presurizado de aplicación localizada presentan algunos problemas de diseño y de operación que en determinadas condiciones impiden su utilización eficiente. Entre estas condiciones limitantes se encuentra la concentración de sólidos en suspensión (sedimentos), que requieren de un sistema de filtrado complejo y de alto costo. Debido a los problemas de obturación por sedimentos, los emisores (goteros) tienen una descarga mínima de diseño, en el rango de 1.5 a 8 litros por hora, dependiendo de la intensidad y eficiencia de la filtración del agua antes de su ingreso a la red hidráulica del sistema de riego. Esta descarga mínima es comparativamente alta, si se considera el consumo diario de agua de árboles frutales y hortalizas, por lo que el diseño debe realizarse de tal forma que el área a regar pueda dividirse en sectores de riego independientes, en los que se alterna el aporte de agua. Esto determina que durante un gran número de horas del día, una parte del sistema de riego no está siendo utilizada y esto constituye un costo significativo.

El segundo problema es especialmente complejo en los suelos de texturas extremas: suelos arenosos y franco-arenosos y también en suelos de textura arcillosa y franco-arcillosa. Los emisores o goteros se distribuyen sobre el lateral de riego con intervalos regulares, en el rango de 0.5 a 1.5 m de distancia entre goteros consecutivos. En los suelos de texturas más livianas, la separación mínima entre goteros puede ser aun muy grande para que se logre un traslape adecuado entre los volúmenes de suelo humedecidos por dos goteros sucesivos, por lo que la uniformidad de distribución de la humedad del suelo y la disponibilidad efectiva de agua pasa a ser una limitante seria para el desarrollo de las plantas. En los suelos de texturas más pesadas, en cambio, la infiltración de cada gota que cae sobre la superficie del suelo bajo cada emisor se reduce rápidamente después del inicio de cada evento de riego, de tal forma que se desarrolla sobre la superficie una poza de agua libre, que impide la correcta aireación del suelo y que puede escurrir fuera del área cultivada, si el suelo tiene pendiente.

Estos dos problemas, derivados de la descarga mínima de diseño de los emisores (por condiciones de obstrucción) y de las características hidrodinámicas de los suelos (velocidad y sentido de la infiltración) han tratado de solucionarse con el reemplazo de los goteros por otros tipos de emisores, como los micro-aspersores y los micro-jets, que pulverizan el agua que se libera desde la red hidráulica sobre una superficie mayor de suelo, lográndose un área de infiltración más amplia y una precipitación menor; Sin embargo, los sistemas de riego por micro-jet tienen una eficiencia de aplicación reducida, debido a la evaporación directa de las finas gotas de agua, antes que éstas logren depositarse sobre el suelo, y los sistemas de micro-aspersión promueven un desarrollo de malezas que encarece mucho su control.

Una nueva tecnología se está empezando a imponer en el riego presurizado, en la cual los emisores (goteros, micro-jets o micro-aspersores), están siendo reemplazados por tubería textil exudante (TTE), con una descarga unitaria menor, pero con una aplicación continua de agua, a lo largo de toda su extensión. En el caso de la TTE, la interacción entre la tensión del agua en el suelo (que está relacionada con su contenido de agua), es el motor principal que determina la cantidad de agua que va siendo exudada por la tubería en toda su extensión, de tal manera que la velocidad de descarga no es fija, sino que está relacionada con la velocidad con que las plantas van extrayendo el agua almacenada en el suelo a lo largo del día. Esta característica representa una revolución conceptual y tecnológica que nos acerca cada vez más a la obtención de un

equilibrio perfecto y continuo entre la demanda instantánea de agua de las plantas y el aporte de agua por los sistemas de riego, lo que evidentemente se traduce en un potencial incremento adicional de rendimientos y calidad, así como en la posibilidad de un aumento adicional en la eficiencia agronómica del riego.

La idea de usar una tubería transpirante o exudante no es nueva: en la última década se ha ofrecido al mercado 3 tipos de tubería exudante: tubería de polietileno intensamente perforada con rayos láser, tubería de celulosa en la que el agua es transpirada por los espacios intermoleculares de la red celulósica y la tubería textil (TTE), en la que el agua es exudada entre la trama de un tejido de fibra sintética de poliéster, impregnada con una resina porosa.

La tubería perforada con rayos láser no logró un impacto en la industria del riego presurizado, por su alto costo y por la facilidad con que los micro-orificios se obturaban, especialmente con cristales de los fertilizantes, que precipitaban en los bordes de cada orificio al finalizar el riego, pues éste presentaba irregularidades y aristas causadas por el rayo láser. La tubería de celulosa presentó el inconveniente de su poca durabilidad, tanto por roturas mecánicas (era muy poco resistente a la tracción) como por el efecto de los micro-organismos del suelo, que la utilizaban como sustrato para su alimentación, descomponiéndola biológicamente.

La TTE es un tejido de fibras de poliéster impregnadas de una resina porosa, que deja espacios abiertos de 4 micrones de diámetro en la trama del tejido, el que es planchado para formar una línea de doble pared. Cuando se introduce agua a presión, esta línea se transforma en tubo de sección circular de 14.5 mm de diámetro interno, con una pared porosa de 1 mm de espesor. Una vez que se interrumpe la entrada de agua, el tubo formado se vacía totalmente, recuperando el material su forma de línea plana de doble pared. La presión de operación de la TTE es de 20 a 30 KPa, o sea, es un orden de magnitud inferior a la presión requerida por los sistemas de riego por goteo. Esta característica determina que el costo de energía para presurizar al agua sea 10 veces menor, así como la posibilidad de instalar sistemas de riego con TTE gravitacionales. La velocidad de flujo dentro de la TTE es de carácter laminar, en el rango de 1,5 a 2,5 m/seg., por lo que la pérdida de carga (pérdida de presión por roce) es mucho menor; esto permite tener laterales de riego de TTE de hasta 200 m de largo.

La liberación del agua que circula dentro de la TTE hacia el suelo es totalmente diferente a los principios que regulan los sistemas de riego presurizado utilizados actualmente. El agua sale de un gotero con una presión igual a la presión atmosférica, con un caudal constante, que es regulado por la estructura hidráulica del gotero, generalmente un laberinto, un vórtice o una combinación de ambos, que son extruídos en el plástico durante la construcción del emisor. La presión del agua que circula por el interior del lateral de riego tiene un rango bastante amplio (5 a 20 m.c.a), pero la descarga del gotero es constante.

En la TTE, la fuerza motriz que impulsa al agua a salir del material textil a través de sus micro-poros es la **diferencia de potencial** entre el agua en el poro y el agua presente en el suelo que lo rodea, o sea, se trata de condiciones de flujo no saturado. Así en ningún momento o lugar dentro del volumen de suelo ocupado por las raíces del cultivo se producen condiciones de falta

de oxígeno. Esta misma situación determina que la velocidad de salida del agua sea variable, acorde con el contenido efectivo de agua que tenga el suelo en un momento determinado.

Las variaciones que experimenta el contenido de agua del suelo se deben principalmente a las pérdidas por evaporación directa desde la superficie, a la transpiración de los cultivos y al aporte de agua de riego. La descarga variable de la TTE, cuya magnitud esta determinada por los cambios en el contenido de agua del suelo, se ajusta automáticamente al consumo real de agua derivado de la evapotranspiración (ET). De esta manera, para una presión constante, en las primeras horas del día la descarga de la TTE será muy reducida, porque la velocidad de ET del cultivo es lenta y a mediodía, la descarga alcanzará un valor máximo, cuando la ET sea también máxima. Algo similar ocurrirá con el riego al inicio de la primavera, en comparación con el riego en los meses de mayor demanda evapotranspirativa de la atmósfera.

Por otra parte, la descarga constante de un gotero, dentro de un rango amplio de presiones, impide modificar la velocidad de aporte de agua y si se desea aplicar agua a un cultivo, solo es posible aumentar el tiempo de riego. Con la TTE existe la opción de aumentar la presión de operación y o el tiempo de riego, lo que constituye una flexibilización de la operación que tiene muchos beneficios.

La TTE presenta tres características de gran utilidad para el riego de precisión de los cultivos:

- a. El hecho de ser un tubo de fibra textil flexible permite que sea doblada y comprimida por el paso de maquinaria, incluso durante un evento de riego, sin que se dañe. Su resistencia a la tracción es de 200 Kg y soporta presiones de hasta 1520 KPa sin reventarse.
- b. La TTE puede ser instalada y recogida desde el campo con suma facilidad, tanto por su flexibilidad como por su bajo peso. Una TTE de 200 m de largo pesa 2.5 Kg y ocupa un volumen de 500 cm³, comparado con 50 Kg de peso y 0.5 m³ de un lateral de riego por goteo convencional.
- c. La fibra de poliéster y la resina porosa no experimentan modificaciones físico-químicas con la radiación ultra-violeta del sol ni con extremos de temperatura en el rango de -20°C hasta 200°C.
- d. Los laterales de polietileno usados para el riego por goteo suelen agrietarse cuando se congela el agua en su interior; con temperaturas sobre los 45°C sufren deformaciones que afectan su funcionamiento futuro. El polietileno se polimeriza con la radiación ultravioleta, transformándose en un material muy quebradizo, lo que se evita, con diferentes grados de éxito, con la incorporación de "negro de humo" como aditivo en la fabricación de las tuberías laterales para riego.

A diferencia del sistema de riego por goteo, cuya descarga es constante para un rango bastante amplio de presiones de operación, la flexibilidad de la TTE permite su operación con presiones variables, como una forma de variar su descarga en forma programada, tan solo con un

incremento o reducción en la presión de operación. Esta posibilidad de control de operación permite al productor ajustar su tiempo de riego (con descargas mayores o menores) a las diferentes actividades de la producción.

OBSTRUCCIONES

La TTE está expuesta a algunos problemas potenciales de obturación, aunque en una dimensión mucho menor que los sistemas de riego por goteo convencionales, ya que la trama del tejido deja espacios de un diámetro promedio de 4 micrones. Así, las partículas sólidas en suspensión no se pueden introducir dentro del poro y son arrastradas internamente por el flujo de agua hasta el final de cada lateral de riego. El uso de un periodo corto (alrededor de 1 hora, una vez por semana) de sobre-presión hasta 200 KPa provoca el desprendimiento de las partículas sólidas adheridas a la pared interna de la tubería, siendo la presión de operación recomendada solo de 20 KPa.

Cuando se utiliza agua de riego con muchos sedimentos, los equipos de riego cuentan con un sistema de filtrado basado en el paso del agua a través de columnas de arena de diferente granulometría, accesorio que requiere de una alta presión para su correcta operación. Esta presión a la salida del filtro de arena es varias veces superior a la presión de operación requerida por la TTE, por lo que es necesario considerar una estructura hidráulica de reducción de presión, ubicada antes del ingreso del agua a los laterales (TTE) de riego.

Respecto a las obstrucciones químicas producidas por cristalización de sales contenidas por el agua de riego, incluidas las sales fertilizantes, se ha comprobado que el cambio de volumen que experimenta la TTE cuando está en operación (sección circular, por la presión de operación y sección oblonga cuando no está sometida a presión), contribuye al quiebre y desprendimiento de los cristales de sal que puedan producirse en la pared interna de la TTE. En el interior de los poros es poco probable que se produzcan cristalizaciones de sales, ya que generalmente estos cristales superan el diámetro de los poros del tejido. Estas características de la TTE determinan que la acidificación del agua de riego, recomendada generalmente para la correcta operación de los sistemas de riego por goteo, no sea necesaria en este tipo de tubería. Sin embargo, se ha realizado ensayos para determinar el comportamiento de la TTE con aguas acidificadas hasta pH 4.5 por 24 horas de operación continua, sin que se modifique la curva de descarga de la TTE.

Las obturaciones de tipo biológico, derivadas del desarrollo de bacterias que se pueden alimentar de restos de algas filamentosas presentes en el agua de riego, determina la necesidad de adicionar al agua de riego, junto con la solución concentrada de fertilizantes, dosis moderadas de hipoclorito de sodio, al igual que en el caso del riego por goteo convencional. Cuando se reduce la proliferación de algas en el agua, antes de su ingreso a la red de riego, ya sea por recubrimiento del agua almacenada en un estanque o por el filtrado con columnas de arena y con filtros de malla, el problema de obturación biológica es poco importante.

RIEGO ENTERRADO

Adicionalmente al uso de TTE como alternativa al riego por goteo convencional, se está realizando una importante actividad de investigación a nivel mundial para evaluar las ventajas y limitaciones del riego enterrado, esto es, la colocación del lateral de riego bajo la superficie del suelo. El principal objetivo de esta práctica es evitar la evaporación directa del agua que se encuentra sobre el suelo (agua libre, en forma de pozas) y del agua retenida por los primeros centímetros de suelo, especialmente cuando éste está expuesto a los rayos directos del sol.

Los estudios sobre riego enterrado habían demostrado hasta ahora, para el caso del riego por goteo convencional, varios problemas importantes que limitaban significativamente la posibilidad de enterrar los laterales de riego: a. el desarrollo de raicillas dentro del laberinto del gotero, obturándolo parcialmente, b. la generación de un volumen de suelo prácticamente saturado en el centro mismo del sistema radical de las plantas, en el que se producía, por condiciones de anoxia temporal una continua muerte y reposición de raicillas, con claros efectos negativos sobre la productividad y calidad de los frutos, c. taponamientos del orificio de salida del agua desde el gotero al exterior, por partículas arcillosas del suelo y d. el colapso por presión de los tubos de polietileno con el paso de maquinaria, cuando el suelo que lo rodea presenta un exceso de humedad.

La incorporación de la TTE al interior del suelo donde se desarrollan las raíces del cultivo está demostrando ser una estrategia muy promisoriosa y eficiente, ya que los problemas mencionados en el párrafo anterior para el caso del goteo convencional no se están produciendo, por las características de la TTE en términos de exudación continua, tamaño de los poros, flexibilidad del material y muy especialmente, por el control de la descarga efectiva de la tubería que hace el suelo mismo, en función de la tensión con la que está retenida el agua. Este control de descarga es la causa que impide la formación de un volumen de suelo saturado alrededor de la TTE enterrada. La técnica del riego enterrado, con la utilización de TTE, requiere de algunos estudios sistemáticos adicionales y del intercambio de experiencias con otros países en los cuales ya existe un periodo de utilización de esta técnica.

CULTIVOS HIDROPÓNICOS Y SEMI HIDROPÓNICOS

Las características de descarga continua a lo largo de toda su extensión de la TTE permiten su uso en la producción hidropónica de hortalizas y frutales, donde la obturación de tan solo un gotero o emisor convencional puede representar pérdidas importantes en la productividad. Cuando se utiliza substrato inerte, como perlita, lana de vidrio o arena de cuarzo, la distribución del agua bajo cada gotero es muy restringida en el sentido horizontal o lateral y por este motivo, el desarrollo radical se ve afectado negativamente. La TTE permite crear una faja húmeda continua en toda la extensión del substrato inerte, lográndose un mayor desarrollo radical así como la posibilidad de usar sin restricciones agua de riego con mayores concentraciones de calcio, magnesio y hierro (aguas "duras")

El objetivo de este trabajo fue evaluar el funcionamiento hidráulico de una tubería textil exudante comercial, contándose con muestras que nunca fueron utilizadas (material virgen) y muestras de la misma tubería, que se utilizó en el riego de hortalizas durante un periodo de 12 meses en forma continua con aguas de riego provenientes de canal y de pozo, de una salinidad intermedia y alta, provenientes de los invernaderos de la empresa Semillas Seminis Sudamérica Ltda., ubicados en Melipilla, Región Metropolitana.

CURVAS DE DESCARGA

Se determinó experimentalmente las curvas de descarga de trozos de 3 a 10 m de TTE virgen y con año de uso, sometiéndolas a diferentes presiones de operación durante 24 horas continuas y recuperando luego toda el agua exudada a lo largo de su extensión en diferentes tiempos (Figuras NC 1 y 2)

Figura N° 1. La Tubería Textil Exudante en funcionamiento.



Figura N° 2. La Tubería Textil Exudante instalada en el campo.



La calidad del agua de riego utilizada durante un año completo fue evaluada para establecer el origen de posibles restricciones en las características de la descarga de la TTE. En el Cuadro N° 1 se presentan los principales resultados analíticos.

Cuadro N° 1. Calidad de las aguas de riego utilizadas durante un año completo para el riego con una Tubería Textil Exudante en Melipilla.

Determinación	unidades	Agua de canal	Agua de pozo
PH		7.02	7.29
C. eléctrica	dS/m	0.75	1.80
Calcio	meq/l	4.69	12.45
Sodio	meq/l	3.04	3.25
Magnesio	meq/l	0.95	3.14
Potasio	meq/l	0.11	0.12
Cloruro	meq/l	1.99	5.30
Sulfato	meq/l	2.76	10.20
Bicarbonato	meq/l	1.14	4.50
Carbonato	meq/l	no detectado	0.30

Determinaciones realizadas en el Laboratorio de Análisis Foliar, Suelos y Aguas de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Noviembre 1997.

Los resultados de la evaluación de las descargas de la TTE se presentan en el Cuadro N° 2; estos resultados corresponden a la descarga promedio de 3 repeticiones para cada presión de operación, con una desviación estándar en el rango de 3.3 a 5.1%

Cuadro N° 2. Descarga de tubería textil exudante virgen y tubería usada.

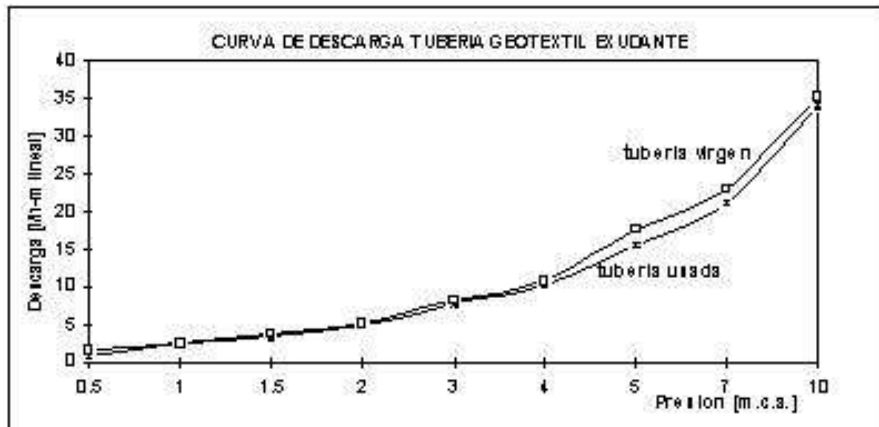
CURVA DE DESCARGA TUBERIA TEXTIL EXUDANTE			
PRESION [m.c.a]	TUBERIA USADA CAUDAL [litros/hora-m lineal]	TUBERIA VIRGEN CAUDAL [litros/hora-m lineal]	DIFERENCIA [%]
0.5	0.87	1.49	41.96
1	2.38	2.53	5.80
1.5	3.38	3.83	11.59
2	4.89	5.02	2.65
3	7.75	8.14	4.79
4	10.31	10.60	2.71
5	15.51	17.62	11.98
7	21.17	22.96	7.77
10	34.00	35.03	2.94

Mediciones realizadas por el autor en el Laboratorio de Hidráulica, Pontificia Universidad Católica de Chile, Enero, 1999

Las diferencias en la descarga obtenida con diferentes presiones, entre la tubería virgen y la tubería usada son muy pequeñas, salvo para el caso de una presión de operación de 0.5 m.c.a.

Esto indica que basta utilizar una pequeña presión (superior a 1 m. c. a.) para mantener limpias de los sedimentos y/o cristales de sales que pudieran haberse acumulado en la pared interior de la TTE, después de un año de uso con aguas salinas. A partir de los datos presentados en el Cuadro N° 2, se obtuvo las curvas de descarga (Figura N° 3)

Figura N° 3. Curvas de descarga de TUBERÍAS TEXTILES EXUDANTES.



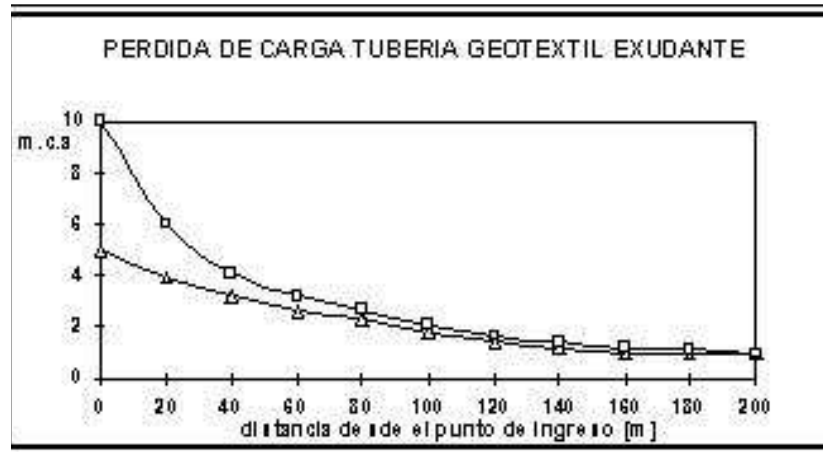
Mediciones realizadas por el autor en el Laboratorio de Hidráulica,
Pontificia Universidad Católica de Chile, Enero, 1999

El rango de descargas es bastante alto (1 a 35 litros por hora por metro lineal de TTE) en el rango de presiones de 0.5 a 10 m.c.a.; sin embargo, el incremento en la descarga con aumentos paulatinos de presión crece más rápidamente sobre los 3 m.c.a., por lo que es posible operar normalmente este tipo de TTE en este rango, en el que la pérdida de carga no es tan significativa, de acuerdo a los valores presentados en la Figura N° 4.

PERDIDAS DE CARGA

Con el fin de determinar las pérdidas de carga a lo largo de la tubería, se utilizó un tramo de 200 m de largo, conectado a una fuente de agua a presión, con presiones iniciales de 5 y 10 m.c.a respectivamente. Después de un periodo de operación continua de 24 horas, se midió la presión del agua al final de la tubería y luego ésta se fue recortando desde la salida hacia la entrada de agua tramos de 20 m de longitud. De esta manera se obtuvo las dos curvas de pérdida de carga, que se presentan en el Figura N° 4.

FIGURA N° 4. Curvas de pérdida de carga a lo largo de una **TUBERIA TEXTIL EXUDANTE**, con presiones iniciales de 10 y 5 m.c.a



Mediciones realizadas por el autor en el Laboratorio de Hidráulica,
Pontificia Universidad Católica de Chile, Enero, 1999

La pérdida de carga es significativa, aun considerando que hay una reducción continua del flujo circulante a lo largo de la tubería por su evacuación, estabilizándose su presión interna en alrededor de 1 m.c.a. a los 140 m del punto de ingreso, independientemente de la presión inicial. Esto indica que la fibra de poliéster impregnada en resina porosa es bastante rugosa en su interior; que este aspecto puede influir significativamente en la uniformidad de descarga de una TTE específica, según sea su distancia desde el punto de ingreso del agua, lo que podría ser una limitación en su largo máximo.

En base a datos obtenidos de experimentación realizada por J.M.Masó y M.R.de la Concha en España, las Figuras 5, 6 y 7 presentan los resultados de distribución de humedad en el suelo, obtenidos a partir de una TTE operando a diferentes presiones, en tipos de suelo y durante diferentes periodos de funcionamiento. La comparación de estos resultados con estudios similares para sistemas de riego por goteo con emisores a 1 m de distancia, indican claramente que la uniformidad de mojado del volumen de suelo mayor en el caso de la TTE y también que las variaciones en contenido de agua y potencial matricial son más graduales.

Figura N° 5. Distribución de humedad del suelo bajo una TTE. Suelo arenoso

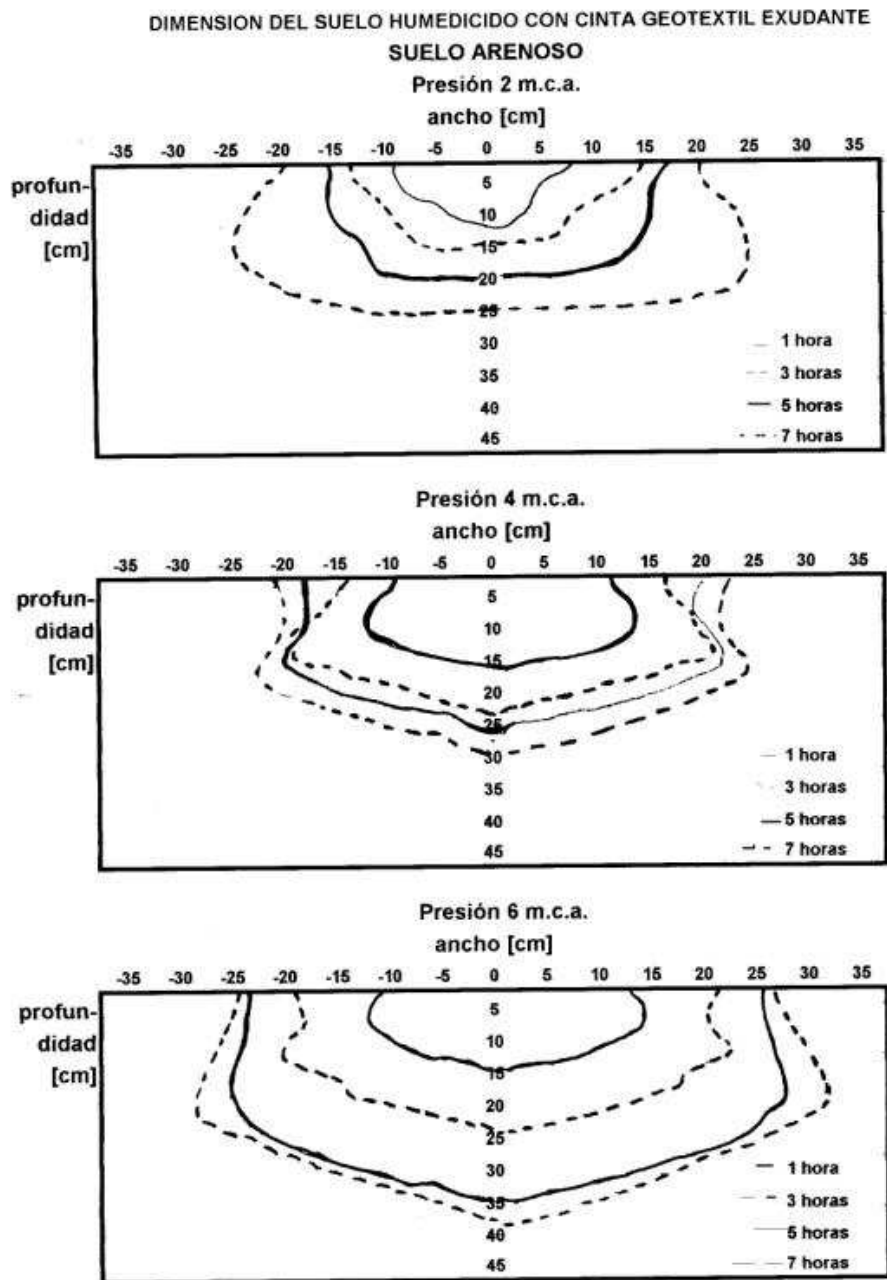


Figura N° 6. Distribución de humedad del suelo bajo una TTE. Suelo franco

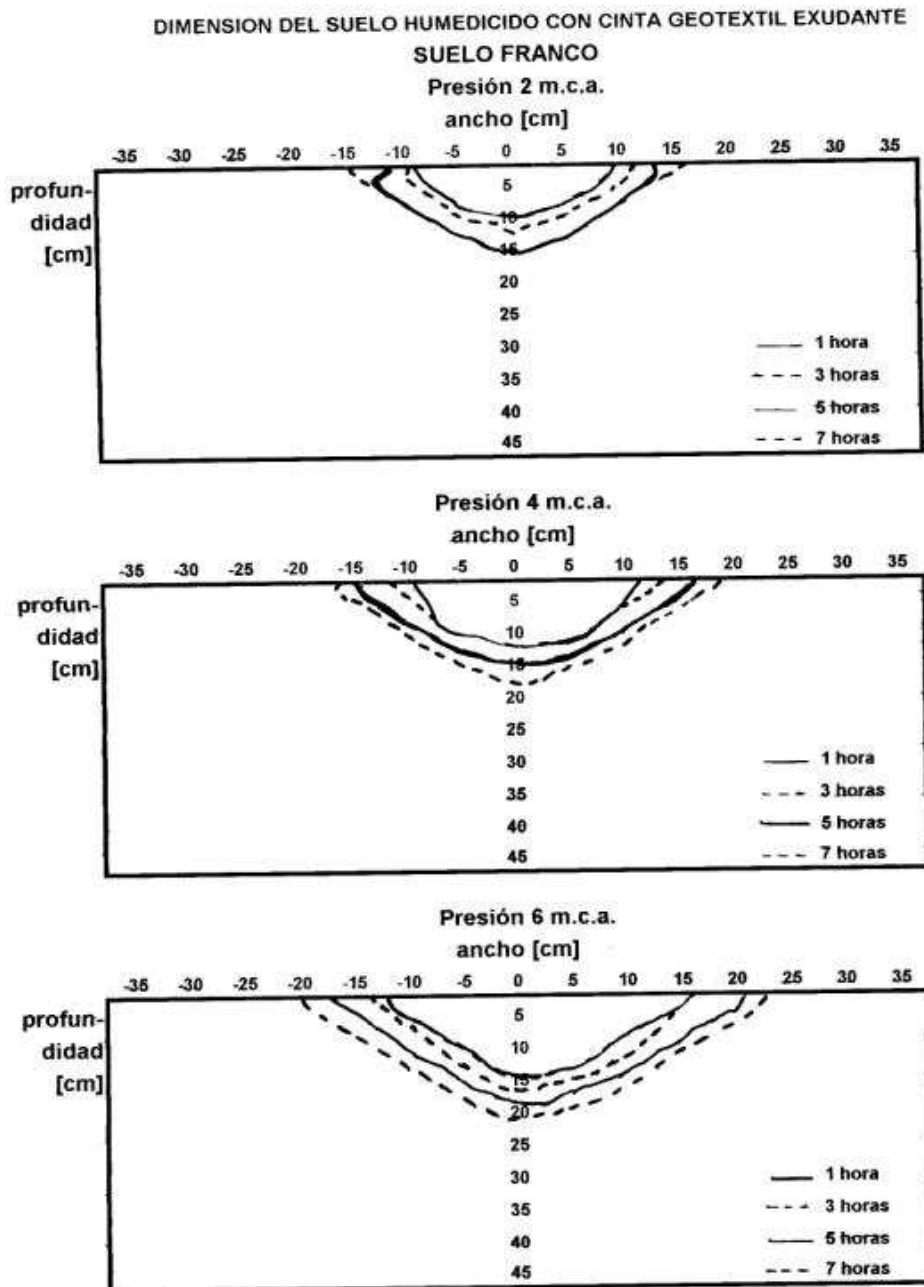
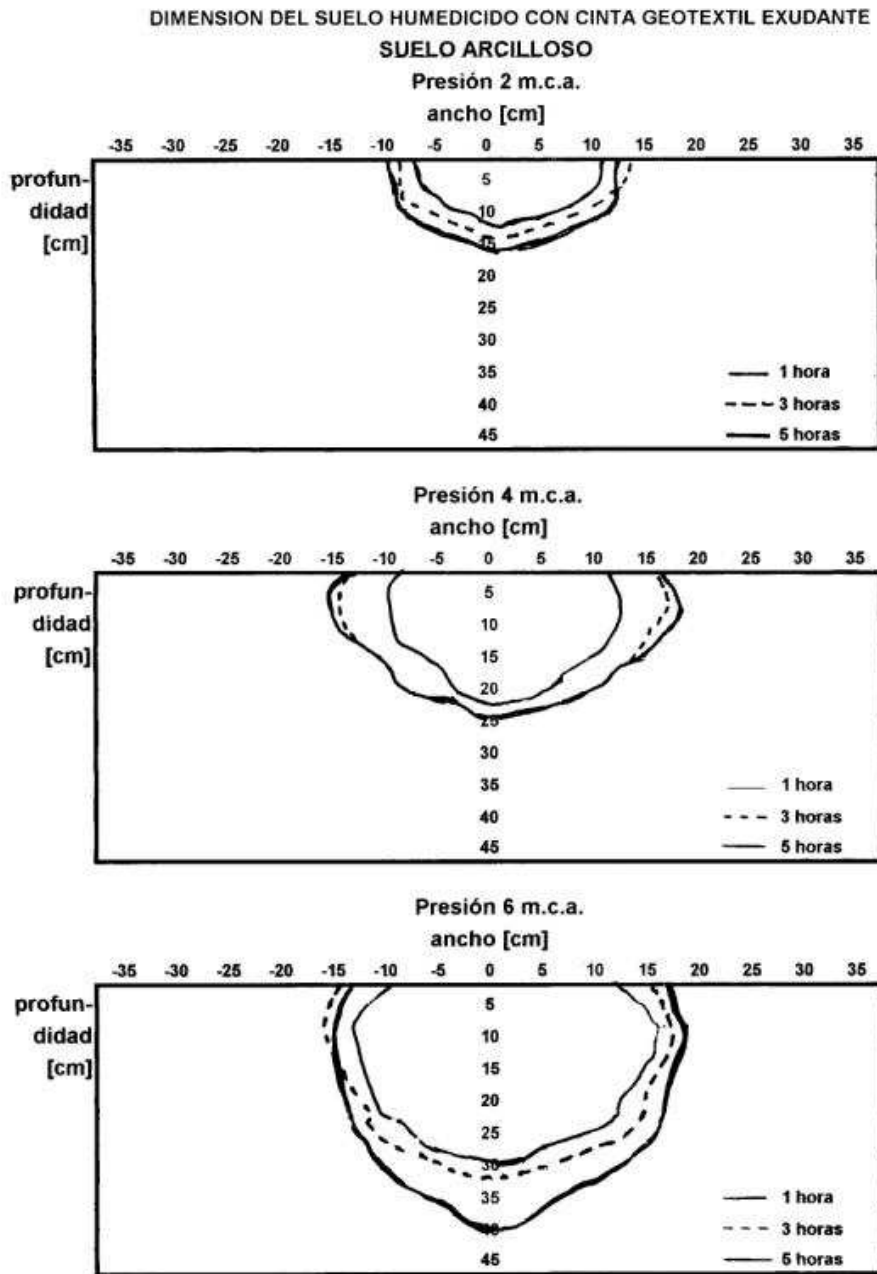
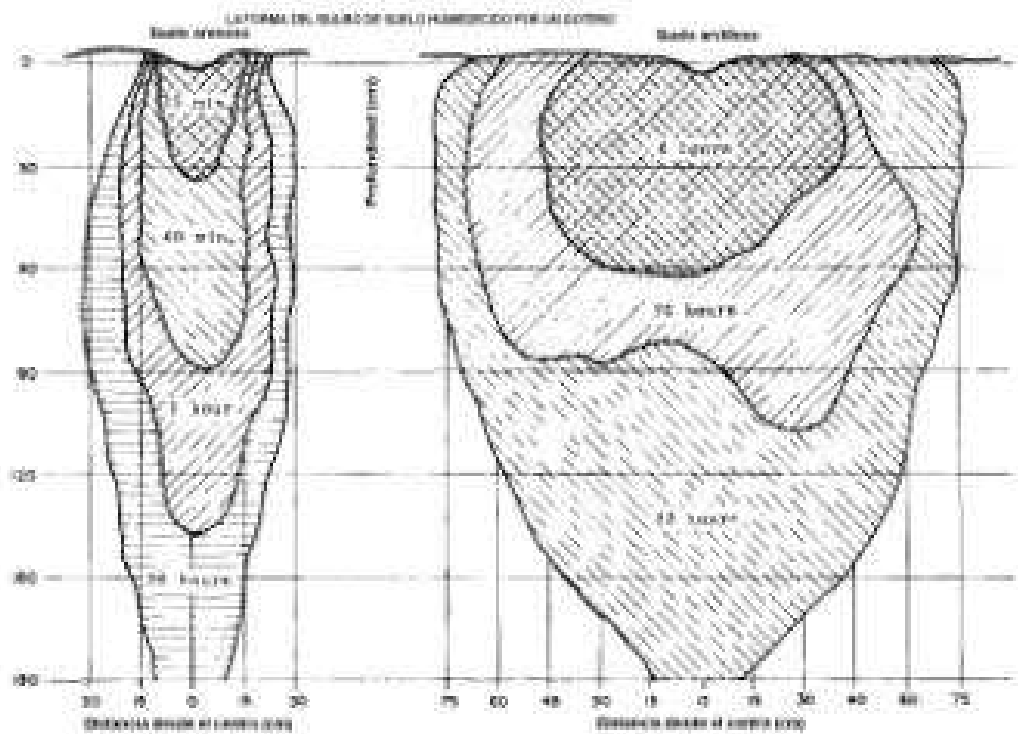


Figura N° 7. Distribución de humedad del suelo bajo una TTE. Suelo arcilloso



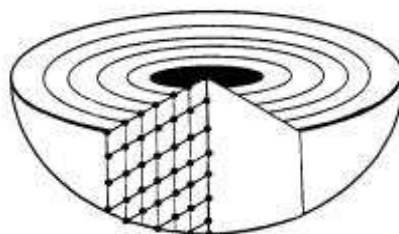
La distribución de agua en el suelo bajo la TTE, especialmente en el caso del suelo arenoso, (Figura N° 5), es bastante diferente a aquella que se obtiene con el uso del riego por goteo, en el que los emisores se encuentran separados entre si por una distancia determinada.

Figura N° 8. Esquema de mojamiento del perfil del suelo regado por goteo.



En el caso del riego por goteo, el flujo de agua en el suelo es de tipo radial y tridimensional (Gurovich, 1999), formando un "bulbo" de suelo húmedo bajo cada gotero (Figura N° 9), que eventualmente, a una cierta profundidad al interior de la zona radical, debería entrar en contacto hidráulico con el bulbo de suelo humedecido por el gotero adyacente.

Figura N° 9. La forma hemisférica del volumen de suelo humedecido bajo un gotero.



En el caso de la TTE, se forma en el interior del suelo una faja de suelo continua en la dirección de la circulación del agua en su interior, con una distribución de humedad uniforme, de acuerdo con la información presentada en las Figuras N° 5, 6 y 7. Esta diferencia en la dirección y magnitud del humedecimiento del suelo, entre el sistema de riego por goteo y la TTE puede ser muy importante en el caso de cultivos hortícolas y especies frutícolas de arraigamiento superficial, especialmente en suelos arenosos, pues la distribución lateral del agua en la primera estrata del suelo resulta ser más favorable al desarrollo y actividad de las raíces en el caso de la TTE.

En el estudio realizado por Glepert y colaboradores en España (1998) con sistemas de riego por goteo, cinta de riego y tubería textil exudante, utilizando un sistema de sensores múltiples de humedad en el suelo, que permiten detectar las variaciones de la conductividad eléctrica del suelo, en función de su contenido de humedad, es muy ilustrativo para comprender la forma en que se humedece el volumen de suelo ocupado por las raíces del cultivo, dependiendo del tipo de emisor, la descarga unitaria, el tiempo de riego y el tipo de suelo. Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras N° 10 y N° 11.

El análisis de los perfiles de humedad del suelo presentados en las Figuras N° 5, 6, 7, 10 y 11, permiten concluir que para un mayor caudal del emisor, la superficie del suelo se satura más rápidamente, hecho que genera un mayor movimiento horizontal en detrimento del movimiento vertical, favoreciendo la formación de áreas húmedas más anchas (franjas húmedas más planas) Para un menor caudal del emisor, el agua se infiltra más fácilmente dando lugar a un mayor desplazamiento del agua en sentido vertical (franjas húmedas más profundas) La presencia de capas impermeables da lugar a franjas húmedas con predominio de movimiento horizontal y con la profundidad limitada por la propia capa impermeable. Cuando el caudal del emisor es muy superior a la capacidad de infiltración del suelo, se producen áreas saturadas con escurrimiento superficial importante y franjas húmedas asimétricas.

Figura N° 10. Perfiles de humedad que se forman en el suelo debajo de goteros de diferente descarga, durante diferentes periodos de riego, en 3 tipos de suelos.

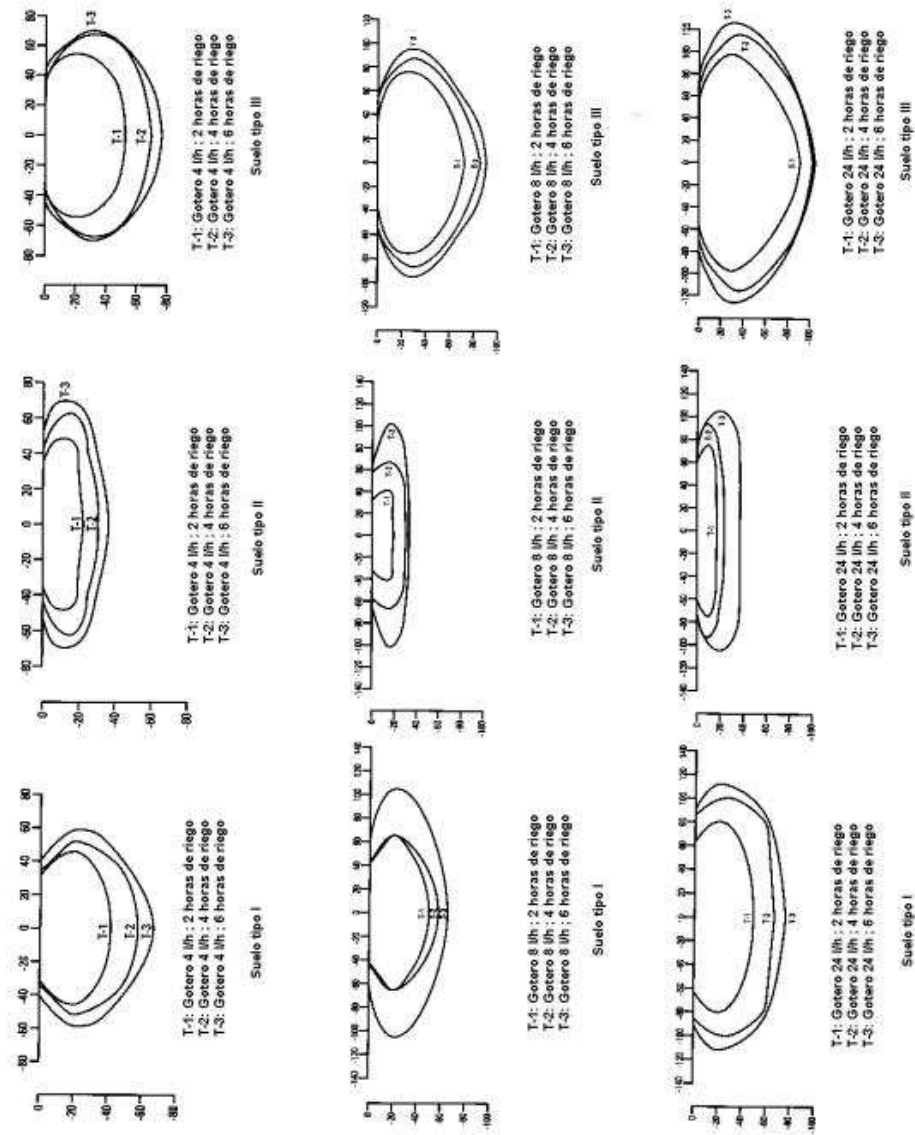
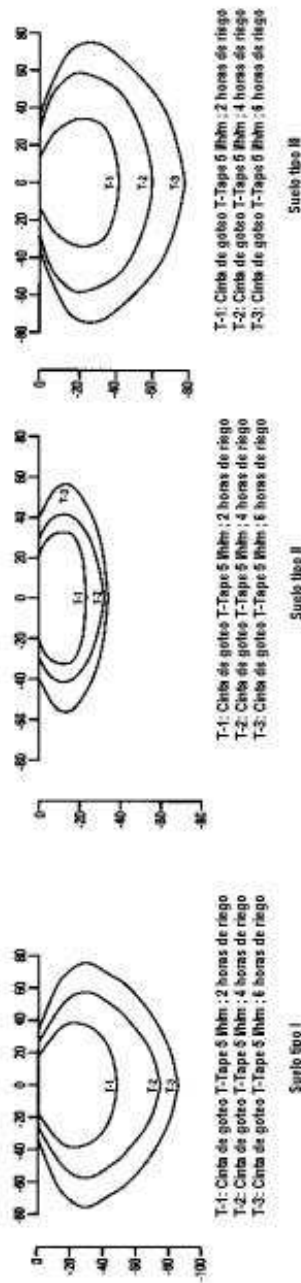
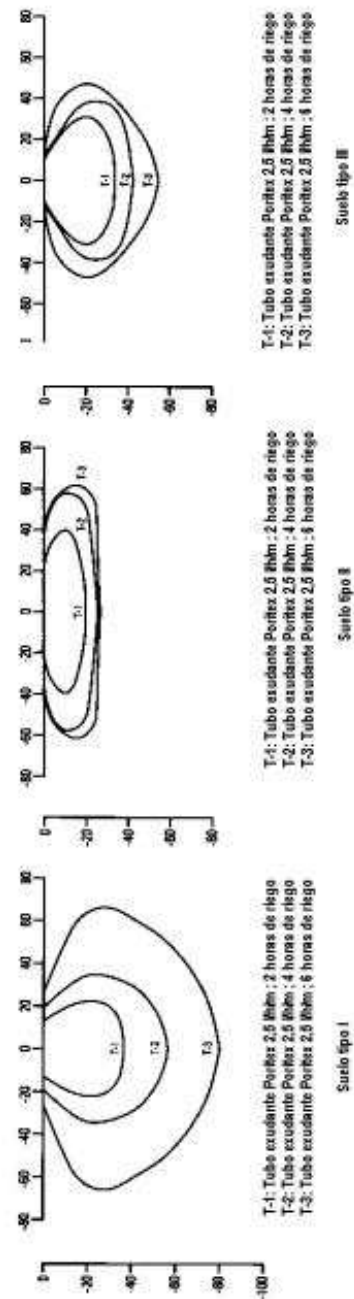


Figura N° 11. Perfiles de humedad que se forman en el suelo debajo de cintas y tubería textil exudante de diferente descarga, durante diferentes periodos de riego, en 3 tipos de suelos.

CINTA DE GOTEO



TUBERIA TEXTIL EXUDANTE



CONCLUSIONES

La tubería textil exudante es una alternativa interesante al riego por goteo convencional, por la mayor uniformidad en la descarga de agua, que cambia desde una aplicación puntual a un aporte continuo de agua a lo largo de todo el lateral de riego. La característica de descarga variable con la variación de la presión de operación permite una estrategia adicional en su uso, cuando se desea aumentar la cantidad de agua aplicada a los cultivos y no se dispone de tiempo adicional durante el día o las horas de mayor calor.

Las características físicas de la TTE en relación con su resistencia a la ruptura, durabilidad y peso específico permiten su utilización en una amplia gama de condiciones en el campo, en las cuales el riego por goteo ha mostrado algunos inconvenientes. El tamaño de los poros y la rugosidad interna son de gran interés para su uso en condiciones de aguas con muchos sedimentos sólidos en suspensión y con aguas de salinidad intermedia a alta.

REFERENCIAS

- J. Baltá i Moner. El riego localizado mediante el uso del tubo exudante. *Tecnogarden* Vol. 36: 45-47
- J. C. Chossat. 1997. Entretien en micro-irrigation. *Boletín Técnico CEMAGREF - FRANCIA*.
- J.M.Masó y M.R.de la Concha. 1998. An Alternative: localised Irrigation with geotextile hose system. *Catálogo Poritex*. <http://www.ruralnet.com.br/poritex/ano01.htm>
- J. R. Glepert Folch y J. A. García Fábrega. 1998. Forma i tamaño del volume humit. *Boletín del Departament d'Arboriculture Mediterrània IRTA - Mas Bobé*. Catalunya.
- L. Gurovich. 1998. Emitter selection and operation strategies for drip irrigation based on three-dimensional soil wetting patterns. *Journal of Applied Irrigation Science* (en prensa).