

EVALUACIÓN DEL LAVADO DE NITRATOS EN UN CULTIVO DE TOMATE EN RIEGO POR GOTEO Y ACOLCHADO PLÁSTICO

N. Vázquez¹, M. Quemada², A. Pardo¹, M.L. Suso¹

¹ Centro de Investigación y Desarrollo Agrario, Apdo. 433, 26080 Logroño

² U.P.N.A., Dpto. Producción Agraria, Universidad Pública de Navarra, 31006 Pamplona.

RESUMEN. El objetivo de este trabajo fue evaluar el lavado de nitrato en un cultivo de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill) en riego por goteo y acolchado plástico utilizando las prácticas agronómicas propias del valle medio del Ebro. Para ello se estableció en la finca Valdegón del CIDA, La Rioja, y en un suelo arcilloso fino, un ensayo de tomate var. Brigade en el que se compararon dos sistemas de manejo del suelo: desnudo (S1) y acolchado plástico (S2) y riego por goteo con dos dosis de riego ajustadas a la evapotranspiración del cultivo (ETc) de cada sistema R1 y R2, generándose cuatro tratamientos, S1R1 y S2R2 con las dosis de riego ajustadas a sus necesidades y S1R2 y S2R1 con las dosis de riego ligeramente excedentaria y deficitaria respectivamente. Para cuantificar el lavado de nitrato a 1 m de profundidad, se multiplicó el volumen de drenaje por la concentración de nitratos de la solución del suelo a esa profundidad. El drenaje se estimó midiendo el contenido de agua en el perfil del suelo semanalmente y resolviendo la ecuación de balance de agua del suelo. La solución del suelo a 1 m se extrajo con cápsulas de cerámica conectadas a cañas de vacío. Se calcularon el drenaje y las pérdidas de nitrato en tres fases del cultivo: pretrasplante, postrasplante y cultivo. Los valores del drenaje sobre el total de agua aplicada, representaron el 24,9% en S1R1, 32,3% en S1R2, 29,6% en S2R1 y 31,6% en S2R2. Las pérdidas de nitrógeno sobre el inicial más el aportado en la fertilización fueron del 62,8; 91,4; 59,0 y 43,5% respectivamente. Las mayores pérdidas de agua y nitrógeno ocurren en las fases de pretrasplante y postrasplante.

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate nitrate leaching in tomato (*Lycopersicon sculentum* Mill) cropped with drip irrigation and plastic mulch, and following the management techniques of the medium Ebro valley. To achieve our goal we conducted in Valdegón (La Rioja), over a fine clayey soil, a field experiment in which tomato, cv. Brigade, was cultivated under two different management techniques: bare soil (S1), and plastic mulch (S2), and two different water doses of drip irrigation: R1 and R2, both estimated from the crop evapotranspiration (ETc) calculated for each soil management technique. Therefore, we had two treatments where the irrigation dose was adjusted to crop needs, S1R1 and S2R2, one treatment with water limitation, S2R1, and one treatment that received excess of water. To evaluate nitrate leached to 1 m depth, the drainage volume was multiplied by the nitrate concentration of the soil solution at that depth. Drainage was calculated by weekly measuring the water content of

the soil profile and applying the water balance equation. The soil solution at 1 m depth was extracted by porous ceramic cups and was analysed for nitrate. Drainage and nitrate leaching were evaluated for three different crop periods: preplanting, postplanting, and cropping. Cumulative drainage accounted for 25% of total water applied for S1R1, 32% for S1R2, 30% for S2R1 and 32% for S2R2. Nitrate leaching was 63% of the initial plus the applied as fertilizer for S1R1, 91 for S2R1, 59 for S2R1 and 44 for S2R2. The larger water and nitrate losses took place during the periods of preplanting and postplanting.

1.- Introducción

El uso del riego localizado y del acolchado con plástico negro es una técnica cuyo uso se ha incrementado notablemente en los últimos años en los cultivos hortícolas al aire libre del valle del Ebro. En algunos cultivos, como el tomate de industria en Navarra, se aplica en más del 80% de la superficie. El acolchado plástico es una técnica antigua, muy extendida en la producción hortícola entre cuyos efectos caben destacar el incremento de la temperatura del suelo así como el aumento de la precocidad y producción (Tarara, 2000). Otra técnica ampliamente utilizada en el cultivo de hortícolas es el riego localizado (Hartz, 1996), habiendo sido descritos sus efectos sobre el tomate de industria por Prieto et al. (1998). El acolchado plástico potencia las ventajas del riego localizado; el riego por goteo y acolchado en tomate de industria proporciona una mejor eficiencia en el uso del agua, pero su manejo ha de contemplarse en función de las características del suelo (Pardo *et al.*, 2001).

Además en el riego por goteo se pueden suministrar nutrientes disueltos en el agua, con lo que se permite su distribución uniforme en el tiempo y en el espacio. De esta forma, se puede reducir el uso de fertilizantes mejorando la calidad del agua drenada (Hartz y Hochmuth, 1996).

En la actualidad las prácticas habituales de la zona en los sistemas de riego por goteo y acolchado plástico, consisten en la aplicación de riegos de pretrasplante y postrasplante destinados a humectar la parte superior del perfil del suelo y asegurar de esta forma la supervivencia de las plántulas. Una vez asegurada ésta, el cultivo se mantiene mediante riegos de frecuencia entre uno y dos días hasta poco antes de la recolección.

Con el fin de estudiar este sistema de cultivo y optimizar la aplicación de agua y nutrientes de modo que

permita mejorar las pautas de manejo a los usuarios, se estableció un ensayo previo, para evaluar el lavado de nitratos en un cultivo de tomate en riego por goteo y acolchado plástico.

2.- Material y Métodos.

El ensayo se ha realizado en el año 2000 en la finca del CIDA en Valdegón, situada en el valle del Ebro, con la capa freática a una profundidad superior a cuatro metros. Las características más relevantes del suelo, clasificado como Xerochrept calcixerollico (franco-gruesa, mezclada, méstica), aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1- Propiedades físico-químicas del suelo.

	Valdegón
Arena (2,0 – 0,02 mm)	9
Limo (0,02 – 0,002 mm)	43
Arcilla (< 0,002 mm)	48
Textura I.S.S.S.	Arcilloso fina
M.O. oxidable (%)	1,8
pH (1:2,5)	8,1
C.E. (mSxcm ⁻¹)	0,3
Humedad Cc (0,3 bar; %)	30
Humedad Pp (15 bar; %)	18
Permeabilidad (cmxh ⁻¹)	4

En un cultivo de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill) var. Brigade, se ensayaron dos sistemas de manejo del suelo, desnudo (S1) y acolchado con plástico negro (S2) y dos dosis de riego diferentes calculadas en función de la ETc del cultivo en ambos sistemas que denominaremos R1 (suelo desnudo) y R2 (suelo acolchado). De esta manera se crearon cuatro entornos, dos de ellos con la dosis de riego ajustada a sus necesidades (S1R1 y S2R2) y de los otros dos, uno con una dosis de riego ligeramente excedentaria (S1R2) y el otro con una dosis ligeramente deficitaria (S2R1).

El trasplante se realizó el 16 de Mayo, estableciéndose cuatro parcelas de tomate a una densidad de 33.333 plantas/ha, en mesetas de 1 m, separadas 1,5 m entre ejes. La parcela elemental constaba de cuatro mesetas de 30 m de longitud. El plástico utilizado fue PE negro de 0,015 mm de espesor y 1,20 m de anchura. La cinta de goteo con emisores cada 0,2 m y un caudal unitario de 1 lh⁻¹ a 0,55 bar.

Siguiendo las técnicas agronómicas habituales en la zona, en los períodos de pre y posttrasplante se realizaron riegos de 24 h para humectar el perfil superior del suelo. En el período de cultivo se realizó un riego diario cuyo volumen era igual a la ETc de cada tratamiento menos la lluvia útil.

La ET₀ fue calculada por el método de FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1994). La evapotranspiración del cultivo, ETc, se ha calculado diariamente a través de la expresión: ETc = Kc x ET₀. Los coeficientes de cultivo Kc aparecen en la tabla 2 y para su aplicación fueron corregidos en función de la velocidad del viento, la humedad relativa mínima y la altura de la planta; en ambos casos se ha realizado una corrección en función de la fracción de suelo mojada y en el caso de suelo acolchado se

han considerado los coeficientes basales, según la propuesta de Allen *et al.* (1997), Pereira *et al.* (1998) y Luc (1998). El corte del riego se produjo 11 y 7 días antes de la recolección en los sistemas con suelo desnudo y acolchado respectivamente.

Tabla 2.- Coeficientes de cultivo (Kc) aplicados al cultivo de tomate en riego por goteo con suelo desnudo (S1) y suelo acolchado (S2).

Estado de desarrollo del cultivo	S1- Kc	S2- Kc
Trasplante-10% suelo cubierto	0,15	0,15
10-30% suelo cubierto	0,30	0,30
30-50% suelo cubierto	0,60	0,55
50-80% suelo cubierto	1,00	0,90
80% sc-10% frutos maduros	1,20	1,10
10-50% frutos maduros	1,05	1,00
50-80% frutos maduros	0,75	0,70

Se ha considerado la lluvia útil aquella superior a 10 mm en sucesos aislados o superior a 15 mm en períodos de tres días. A efectos de programación del riego se ha utilizado un tercio del valor de la lluvia útil (Luc, 1998).

La fertilización consistió en la aplicación de 110-120-180 kg ha⁻¹ de NPK. En fondo se aplicaron a todas las parcelas 60-120-180 kg ha⁻¹ de NPK en forma de complejo 9-18-27. En cobertera se aplicaron 50 kg ha⁻¹ de N en forma de fertilizante líquido N32, realizándose seis aplicaciones semanales a partir de la cuarta semana desde el trasplante.

En cada una de las parcelas se instalaron seis tubos de 1 m de profundidad para el acceso de una sonda TDR. Los tubos se colocaron transversalmente a la línea de goteo en una anchura de 1,25 m y separados 0,25 m entre sí. Las medidas se realizaron semanalmente y con los datos obtenidos se ha cuantificado la variación de la reserva (VR) de agua en el suelo en el periodo estudiado.

Así mismo se instalaron seis cañas de vacío (Lord y Shepherd, 1993) por parcela, provistas de una cápsula cerámica para la recogida de muestras de solución del suelo a 1 m de profundidad. Tres de ellas estaban situadas en la línea de goteo y las otras tres en una línea paralela a la misma a 0,75 m, en el centro de la calle. Semanalmente se recogió la solución del suelo y se analizó su contenido en nitratos por colorimetría, previa reducción en columna de cadmio (Keeney *et al.*, 1982).

La recolección del tomate se realizó cuando se había alcanzado aproximadamente el 80% de frutos maduros cosechándose 10 m de longitud (15 m²) en la línea central. Se controló la producción total y comercial. En el suelo acolchado la recolección se efectuó el 7/09 y en suelo desnudo el 15/09.

Al inicio y al final del ensayo se realizó un perfil de contenido de nitratos del suelo en 1 m de profundidad, tomándose las muestras cada 0,2 m. Se realizó un extracto con CIK 1 M y se analizó el contenido en nitratos por colorimetría, previa reducción en columna de cadmio (Keeney *et al.*, 1982).

Para el cálculo de los balances de agua y nitrógeno se ha dividido el cultivo en tres fases. La fase de pretrasplante comprendió desde el 5 hasta el 16 de mayo; la fase de posttrasplante hasta el 6 de junio y la de cultivo desde esta

fecha hasta la recolección. Se ha realizado un balance de agua en el suelo hasta 1 m de profundidad según la expresión:

$$P+R = ETc \pm VR + D$$

Donde P es la precipitación, R el agua aplicada en el riego, ETc la evapotranspiración del cultivo calculada, VR es la variación de la reserva de agua en el suelo y D es el drenaje.

El lavado de nitrato por debajo de 1 m., se ha calculado multiplicando el drenaje estimado (según la ecuación anterior) por la concentración media de nitratos de cada periodo determinada en la solución del suelo.

3.- Resultados y discusión

Los parámetros de la cosecha más representativos aparecen en la tabla 3. En ella puede observarse que la producción en los sistemas con acolchado es superior debido principalmente al mayor número de frutos, aunque de menor tamaño. Estos resultados son similares a los obtenidos en un trabajo anterior (Pardo *et al.*, 2001).

Tabla 3. Resultados de la cosecha de tomate var. Brigade en el ensayo de lixiviación de nitratos.

Parcela	Comercial t/ha	No comercial t/ha	Peso fruto comercial g/fruto	Nº frutos comerciales frutos/m ²
S1R1	104,2	26,3	65,7	159
S1R2	109,0	40,1	66,0	165
S2R1	113,5	27,7	59,8	190
S2R2	127,3	46,8	61,2	208

Los volúmenes de agua aportados estuvieron en relación a la ETc calculada para los diferentes sistemas (Tabla 4). La relación entre las aportaciones y las necesidades es elevada en todos los sistemas, como se discutirá posteriormente. Los valores del drenaje sobre el total de agua aplicada, representaron el 2,9% en S1R1, 32,3% en S1R2, 29,6% en S2R1 y 31,6% en S2R2. Las parcelas con suelo acolchado presentan una mayor eficiencia en el uso del agua, similar a lo descrito por Pardo *et al.* (2001).

Tabla 4. Evapotranspiración del cultivo, volúmenes de agua aportados y eficiencia del uso del agua en los diferentes sistemas de cultivo.

Parcela	Riego mm	Lluvia mm	ETc mm	(Riego+Lluvia)/ ETc	Eficiencia kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹
S1R1	706,6	135,6	619,3	1,4	123,7
S1R2	795,2	135,6	616,5	1,5	117,1
S2R1	607,7	135,0	547,5	1,4	152,8
S2R2	655,2	135,0	546,7	1,5	161,1

El contenido de nitrato del suelo en todas las parcelas era muy elevado al inicio del experimento (Tabla 5), a pesar de lo cual se aplicó fertilización mineral nitrogenada

para reproducir las técnicas agronómicas de la zona. Al final del ensayo el contenido de nitrato del suelo disminuyó drásticamente. Las pérdidas de nitrato por lixiviación expresadas como porcentaje del inicial más el N mineral aportado en la fertilización fueron del 62,8% en S1R1, 91,4% en S1R2; 59,0% en S2R1 y 43,5% en S2R2.

Tabla 5. Contenido inicial y final de N-NO₃ (kg/ha) en el perfil del suelo hasta 1 m de profundidad y pérdidas por lixiviación en los diferentes sistemas de cultivo.

Parcela	N Fertilizante	N-NO ₃ inicial	N-NO ₃ final	N-NO ₃ lixiviado
S1R1	110	814 ± 235,8	29 ± 7,3	580,2
S1R2	110	814 ± 235,8	43 ± 13,7	844,4
S2R1	110	814 ± 235,8	43 ± 11,8	545,2
S2R2	110	814 ± 235,8	148 ± 80,4	401,8

Los resultados obtenidos de la aplicación del balance de agua y pérdidas de nitrógeno en las fases de pretrasplante, trasplante y cultivo aparecen en las tablas 6, 7 y 8 respectivamente. En la fase de pretrasplante, se trató de asegurar, mediante riegos masivos por goteo, según las prácticas habituales de la zona, el mejor arraigo de las plantas. En ella se superaron ampliamente las necesidades y se incrementó la reserva de agua del suelo. En todos los tratamientos el volumen del drenaje fue muy importante y también el lavado de nitrógeno que osciló entre el 37 y el 75% del lixiviado total (Tablas 5 y 6).

Tabla 6. Balance de agua hasta 1 m de profundidad y lixiviado de nitrógeno en los diferentes sistemas de cultivo del tomate durante el periodo de pretrasplante.

Parcela	Pretrasplante				Lixiviación	
	Riego (mm)	Lluvia (mm)	ETc (mm)	VR (mm)	Drenaje (mm)	N-NO ₃ (kg/ha)
S1R1	158,2	54,8	50,6	38,8	123,6	328,5
S1R2	153,9	54,8	50,6	41,6	116,5	312,2
S2R1	161,8	54,8	15,4	38,2	163,0	411,4
S2R2	157,9	54,8	15,4	23,7	173,6	196,2

De modo similar al periodo anterior, en postrasplante los riegos pretendieron asegurar el cultivo. En este periodo los volúmenes aplicados fueron menores, aunque superaron ampliamente las necesidades de las plantas. La reserva de agua del perfil apenas varió puesto que se había saturado en el pretrasplante. Los volúmenes de agua drenada por debajo de un metro oscilaron entre 63,4 y 82,2% del agua total y las pérdidas de nitrógeno entre el 24,5 y el 39,8% del total (Tablas 5 y 7).

A lo largo del periodo de cultivo el agua aportada se ajustó estrechamente a las previsiones del ensayo, de modo que la relación [(Riego+Lluvia)/ETc] osciló entre 0,9 y 1,2 (Tabla 8). Hubo una disminución de la reserva de agua del suelo y una disminución del drenaje salvo en el tratamiento S1R2 de riego excedentario. Consecuentemente el nitrógeno lixiviado descendió a porcentajes del 0 al 34,7% del total (Tablas 5 y 8). La disminución de la reserva de

agua del suelo se produjo principalmente a causa del corte de riego realizado días antes de la cosecha.

Tabla 7. Balance de agua hasta 1 m de profundidad y lixiviado de nitrógeno en los diferentes sistemas de cultivo del tomate durante el período de postrasplante.

Parcela	Postrasplante					Lixiviación
	Riego (mm)	Lluvia (mm)	ETc (mm)	VR (mm)	Drenaje (mm)	N-NO ₃ (kg/ha)
S1R1	61,3	25,8	17,2	-1,6	71,6	230,7
S1R2	61,3	25,8	17,2	0,8	69,1	239,2
S2R1	47,3	25,8	17,2	-0,8	56,7	133,8
S2R2	48,7	25,8	17,2	10,1	47,2	146,9

Tabla 8. Balance de agua hasta 1 m de profundidad y lixiviado de nitrógeno en los diferentes sistemas de cultivo del tomate durante el período de cultivo.

Parcela	Cultivo					Lixiviación
	Riego (mm)	Lluvia (mm)	ETc (mm)	VR (mm)	Drenaje (mm)	N-NO ₃ (kg/ha)
S1R1	487,1	55,0	551,5	-24,1	14,7	21,0
S1R2	580,0	55,0	548,7	-28,5	114,8	293,0
S2R1	398,6	54,4	514,9	-30,4	0,0	0,0
S2R2	448,6	54,4	514,1	-39,7	28,6	58,7

Por lo tanto podemos concluir que durante las fases de pre y postrasplante se produce el mayor drenaje y lixiviado de nitratos. Como se ha indicado en estas fases se pretende crear un horizonte húmedo en la superficie del suelo, de forma que quede asegurada la disponibilidad de agua para las plántulas. En suelos de buena permeabilidad, como son los de este ensayo, esta práctica implica la humectación de buena parte del perfil edáfico y el drenaje del agua aplicada en exceso. En consecuencia, se favorece el lavado de los nitratos almacenados en el perfil y de aquellos que se aplicaron en el abonado de fondo, impidiendo su utilización por el cultivo y deteriorando la calidad del agua drenada.

A lo largo de todo el período de cultivo, siempre hubo drenaje por debajo de 1 m. Teniendo en cuenta que en riego por goteo y acolchado el sistema radicular del tomate difícilmente explora más allá de 0,5 m (Oliveira *et al.*, 1996), esta agua drenada se debería considerar como excedentaria y por lo tanto se podría discutir la validez de los valores utilizados de Kc así como la frecuencia de riego utilizada. Los valores de Kc recomendados por FAO (1998) son para condiciones estándar de cultivo. En otras condiciones, como es nuestro caso, FAO (1998) sugiere que estos valores podrían reducirse entre un 10 y un 30 %. En concreto, en tomate los valores de Kc se podrían reducir hasta un 35% (Haddadin y Ghawi, 1983). El cálculo de la ETc en sistemas de acolchado plástico no está totalmente aclarado y la aproximación más reciente a su solución es el análisis del balance de energía en estos sistemas (Tarara y Ham, 1999).

La práctica de la humectación total del perfil del suelo en los riegos iniciales por goteo está muy extendida y probablemente es una adaptación del riego de pretrasplante

que se aplica en los sistemas de riego por inundación. En posteriores trabajos, se debería estudiar el modo de humectar la capa superficial del suelo para asegurar la supervivencia de las plantas, utilizando riegos de más alta frecuencia que permitan disminuir la cantidad de agua aplicada. Probablemente de esta forma se lograría reducir el drenaje y el lixiviado de nitrógeno.

4.- Referencias

- Allen, R.G., M. Smith., L.S. Pereira, y A. Perrier, . 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin , 43. 35-91.
- Allen, R.G., M. Smith,L.S. Pereira, y W.O. Pruitt. 1997. Proposed revision to the F.A.O. procedure for estimating crop water requirements. Acta Hort. 449: 17-33.
- F.A.O. (1998). Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma 1998.
- Haddadin S.H. y I. Ghawi. 1983. Effect of plastic mulches on soil water conservation and soil temperature in field growth tomato in the Jordan Valley. Dirasat 13:25-34.
- Hartz, T.K. 1996. Water management in drip irrigated vegetable production. HortTechnology, 6: 165-167.
- Hartz, T.K y G.J. Hochmuth. 1996. Fertility management of drip irrigated vegetables. HortTechnology 6: 168-172.
- Keeney, D.R., Nelson, D.W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. *En* A. L. Page et al. (ed.) Methods of analysis, Part 2. Agronomy 9: 643-698. ASA and SSSA, Madison, WI, EEUU.
- Lord, E.I. y M.A. Shepherd. 1993. Developments in the use of ceramic cups for measuring nitrate leaching. Journal of Soil Science 24: 435-449
- Luc, J.P. 1998. Réserve en eau des sols et bilan pédoclimatique, approche pratique. *En* J.R. Tiercelin (ed.), Traité d'irrigation, pp 191-206. Lavoisier, Paris.
- Oliveira, M.R.G, A.M. Calado y C.A.M. Portas. 1996. Tomato root distribution under drip irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 644-648.
- Pardo, A., M.L. Suso, N. Vázquez, J.I. Macua, I. Lahoz, J. Garnica y R. Calvo. 2001. Efecto del acolchado plástico y del sistema de riego en un cultivo de tomate de industria. Actas del XXII Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Cáceres (en prensa).
- Pereira, L.S., M. Smith y R. Allen. 1998. Méthode pratique de calcul des besoins en eau. *En* J.R. Tiercelin (ed.), Traité d'irrigation, pp 206-231. Lavoisier, Paris.
- Prieto, M.H., J. López. y R. Ballesteros. 1998. Influence of irrigation system and strategy on the agronomic and quality parameters of the processing tomato in Extremadura. Acta Horticulturae 487, 575-579.
- Tarara, J.M., 2000. Microclimate modification with plastic mulch. HortSci. 35: 169-180.
- Tarara, J.M. y J.M. Ham. 1999. Measuring sensible heat flux in plastic mulch culture with aerodynamic conductance sensors. Agricultural and Forest Meteorology 95: 1-13.