

LIXIVIACIÓN DE NITRATOS Y CONDICIÓN NUTRIMENTAL EN DOS SISTEMAS DE MANEJO DE RIEGO Y NUTRICIONAL DE AGUACATE (*Persea americana* MILL.)

Luis Mario TAPIA VARGAS¹, Antonio LARIOS GUZMÁN¹, José Anguiano CONTRERAS¹
Ignacio VIDALES FERNÁNDEZ² y Víctor L. BARRADAS^{2*}

¹ Campo Experimental Uruapan, Michoacán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias

² Departamento de Ecología Funcional, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

*Autor responsable; vbarrada@ecologia.unam.mx

(Recibido abril 2011, aceptado mayo 2012)

Palabras clave: manejo de agua, percolación de nutrimentos, nutrición aguacate

RESUMEN

El fertilizante nitrogenado es el principal nutrimento que se emplea en las huertas de aguacate en Michoacán, México. La fertilización aplicada en julio y octubre coincide con las lluvias por lo que las pérdidas de nitrógeno (N) se pueden incrementar, probablemente también disminuir la eficiencia de su uso y contribuir a la contaminación del ambiente. Para comprender mejor estos fenómenos se evaluaron dos sistemas de manejo de agua en la lixiviación de nitratos y la nutrición foliar de esta especie. El experimento se realizó en una huerta de aguacate (*Persea americana* Mill.) cultivar Hass de 10 años de edad, establecida en un suelo de propiedades ándicas. El periodo de mediciones fue de enero 2002 a diciembre 2006. Los tratamientos fueron: fertirriego localizado por microaspersión (RL) y riego tradicional por manguera (RT). En RL se regó de 200 a 500 L de agua cada 8 días dependiendo de la época, mientras que en RT se regó cada 18 a 21 días hasta llenar 3/4 del cajete a la manera del productor. La fertilización fue de 220 kg de N/ha/año en ambos tratamientos. Cada tratamiento se evaluó en cuatro árboles, tomando cada árbol y cada fecha como una repetición. La concentración de N-NO₃ se monitoreó en tres profundidades 30, 60 y 90 cm y a dos distancias del tronco 2.0 y 3.0 m, con tubos de succión instalados en cada árbol. Los resultados indicaron que cada año RT produjo lixiviados de 80 a 96 mg/L de N-NO₃ contra RL que sólo produjo de 36 a 47 mg/L. La concentración de N en las hojas fue más alta en RL con 2.53 % de N contra 2.20 % en el riego tradicional.

Keywords: avocado nutrition, nutrient leaching, water management

ABSTRACT

Nitrogen fertilizer is the main nutrient that is used in the avocado orchards of Michoacán, México. Fertilization applied in July and October agrees with the rainy season so that losses of nitrogen (N) may increase and thereby probably decrease the efficiency of its use, and a likely contribution to environment pollution. Therefore, two systems of water management on nitrate leaching and the effect of foliar nutrition were evaluated. The experiment was conducted in an orchard of avocado (*Persea americana* Mill) cultivar Hass 10 years old. The measurements period was from January 2002 to

December 2006. Treatments were fertilization by micro drip irrigation (RL) and traditional irrigation hose (RT). RL was irrigated from 200 to 500 L of water every 8 days depending on the season, while RT was irrigated every 18 to 21 days by filling 3/4 of the bowl to the way the producer. Fertilization was 220 kg N/h/yr in both treatments. Each treatment was evaluated in four trees, each tree taking every day as a repetition. The N-NO₃ concentration was monitored at three depths 30, 60 and 90 cm and two stem distances 2.0 and 3.0 m, with suction tubes in each tree. Results indicated that RT leached each year from 80 to 96 mg/L N-NO₃ against RL, which produced only 36 to 47 mg/L: the N concentration in leaves was higher in RL with 2.53 % N against 2.20 % in traditional irrigation.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate en el estado de Michoacán representa la agroindustria más importante en términos del entorno social y económico en el cual se desarrolla. Ninguna otra agroindustria emplea más mano de obra (un millón de jornales/año) y genera más divisas al estado. En 2011 se exportaron 300 mil toneladas de fruto con un valor de mercado de US\$1100 millones (Bucio 2012). Las condiciones ambientales en los que el cultivo se desarrolla son ideales para esta especie, clima templado a semicálido, precipitación superior a 1000 mm anuales y suelos de origen volcánico muy permeables (Ruiz *et al.* 1999).

Debido a la naturaleza volcánica de los suelos donde se cultiva este frutal, se presentan condiciones favorables para la infiltración del agua con velocidades de hasta 200 mm/h, mientras que en condiciones básicas es de 50 a 90 mm/h (Tapia *et al.* 2006a). Esta propiedad, en conjunto con la textura arenosa o franco arenosa de los suelos, provee un medio físico adecuado para el crecimiento y el desarrollo del frutal ya que un excelente drenaje es condición necesaria para el desarrollo de este cultivo (Benanchio 1982). Sin embargo, al mismo tiempo que ocurre una rápida infiltración, el agua alcanza también profundidades superiores a 1 m en el suelo superando la zona radical, ya que cerca del 90 % de las raíces se encuentran en los primeros 60 cm de profundidad (Tapia *et al.* 2006b). Esta agua lleva disuelto una parte del N adicionado como fertilizante amenazando la calidad del agua de bebida y las fuentes naturales de este líquido.

El agua de lixiviación arrastra consigo nutrientes, cationes básicos y en ocasiones pesticidas químicos empleados para controlar enfermedades o plagas. De acuerdo con Alcalá *et al.* (2002), los suelos de la región presentan estructura débil lo que permite escasa retención de agua en capas profundas y debido a que los nitratos interactúan con capas bajas del suelo

en climas templados, su acumulación coincide con la dirección del flujo del agua (Jasso *et al.* 2001). Ello puede originar contaminación de efluentes y a la larga de los manantiales de la región. En el caso de nitratos, se ha reportado que concentraciones superiores de 10 mg/L de N-NO₃ en el agua potable, pueden originar enfermedades serias en seres humanos (Killpack y Bucholz 1993). La presencia de nitratos es uno de los principales factores de contaminación de acuíferos y corrientes superficiales de alto impacto ambiental derivado de actividades agropecuarias (Groeneveld *et al.* 2001); otro efecto negativo es la liberación de N₂O a la atmósfera, un gas que contribuye al efecto invernadero y que guarda una relación directa con la concentración de nitratos en el suelo (Mora *et al.* 2005).

La zona aguacatera de Michoacán, con más de 45 000 ha regadas, ha experimentado un auge en la instalación de sistemas tecnificados de riego en aproximadamente 25 000 ha y el resto se riega con manguera aplicada directamente al cajete alrededor del árbol. Las diferencias entre estos métodos pueden ser de al menos 2000 L por temporada de riego por árbol (Tapia *et al.* 2006a). Este mecanismo puede producir lixiviados y posteriormente contaminar acuíferos y manantiales. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos sistemas de manejo de agua, riego localizado por microaspersión (RL) y riego tradicional por manguera (RT), sobre la lixiviación de nitratos y el efecto en la concentración de N foliar en una huerta de aguacate *cv* Hass en el estado de Michoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en una huerta comercial de aguacate variedad Hass, de 10 años de edad, en la localidad de Choritiro, municipio de Tancítaro, Michoacán (19° 22' 18" N, 102° 23' 41" O), a una altitud de 1960 m. El experimento se inició en el

ciclo otoño-invierno de 2002 y concluyó en el ciclo primavera-verano de 2006. El marco de plantación es 10 x 10 m. El clima de la región es C(m)(w), esto es, templado húmedo con abundantes lluvias en verano (García 1988). La temperatura promedio anual fue de 15.5 °C, con una máxima de 21.2 °C y una mínima de 9.9 °C. La precipitación anual promedio fue de 1256 mm con 94 % de la precipitación total de junio a noviembre. El tipo de suelo es un Vitric Hapludand (Alcalá *et al.* 2002), conocido localmente como *tupuri*, derivado de cenizas volcánicas. Su pH en agua es 5.9, conductividad eléctrica (CE) menor de 1.0 dS/m, capacidad de campo 30.1 % y humedad a marchitez permanente 18.6 %. El contenido de N-NO₃ en el suelo al inicio del experimento fue de 7 ppm (extraído con KCl y valorado por titulación después de ser arrastrado con vapor en medio en presencia de MgO y aleación de Devarda). El agua de riego proviene de un manantial, prácticamente libre de sales (CE = 89 µS/cm y pH = 7.0).

Los tratamientos experimentales fueron: riego tradicional de la región (RT) y riego localizado (RL). El primero se realiza con manguera, la fertilización convencional en este caso fue 3.0, 4.5 y 5.5 kg/árbol de la fórmula 17-17-17 (N-P₂O₅-K₂O) aplicada en tres periodos: en primavera (marzo) y, al inicio y al final de la época de lluvias. El RT se hizo cada 3 semanas con tiempos de 10 a 20 minutos, dependiendo de la época, hasta llenar a 3/4 del cajete de los árboles (10 cm de altura). El riego localizado fue microaspersión aplicada semanalmente por máximo 8 horas y una media de 7 horas; el microaspersor es regulado para entregar 70 L/h. En RL la fertilización se efectuó a través del sistema de riego de acuerdo con la dosis de fertilización por hectárea para un huerto adulto de aguacate con una población de 100 árboles/ha (220-100-220 kg de N-P₂O₅-K₂O), sugerido para este tratamiento (Tapia *et al.* 2003). El programa de riego por mes se muestra en el **Cuadro I**.

En ambos tratamientos se colocaron cinco tubos de succión de agua del suelo: tres a 30, 60 y 90 cm de profundidad, y dos a 2 y 3 m de distancia al tronco del árbol, a 30 cm de profundidad. Cada mes se extrajeron muestras de la solución de suelo para el análisis de nitratos *in situ*, con el ionómetro portátil Horiba® C-141, previamente calibrado a 150 y 2000 ppm de NO₃, la muestra de agua se colocó en el sensor del ionómetro y se tomó la lectura correspondiente. El muestreo se hizo siempre entre las 8:00 y las 10:00 horas a tensión matricial de 0.010-0.020 MPa.

El diseño experimental fue completamente al azar, donde la unidad experimental fue un árbol y cada tratamiento se repitió cuatro veces. Para el

CUADRO I. PROGRAMA DE RIEGO MENSUAL EN AGUACATE CON DOS SISTEMAS DE MANEJO DE AGUA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POR ÁRBOL (ETP) SEGÚN TAPIA *et al.* (2003) EN TANCÍTARO, MICHOACÁN

Mes	Tratamiento de riego		
	Riego tradicional (L)	Riego localizado (L)	ETP (L/árbol)
Enero	1800	1120	765
Febrero	1400	1400	1285
Marzo	2880	1960	1839
Abril	2400	2240	1885
Mayo	1400	1120	998
Total	9880	7840	6772

análisis final cada fecha (N=40), se tomó como una repetición (Jasso *et al.* 2001). Los datos evaluados fueron concentración de nitratos, en la solución de suelo (mg/L). En laboratorio, se determinó el contenido de N total foliar (%) de los mismos árboles, en cuatro fechas de muestreo por año durante los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre, que corresponden a los flujos vegetativos de septiembre, diciembre, febrero y julio, respectivamente, las hojas se recolectaron en la parte media del árbol en dirección sur y este, en ramas sin fruto y hojas de 4 a 6 meses de edad. El método de medición de N total fue por micro-Kjeldahl con base en un digerido a temperatura de 375 °C. El análisis estadístico de la información consistió en análisis de varianza de los datos de nitratos en solución del suelo y de N total foliar utilizando el modelo correspondiente a un diseño completamente al azar y para lo cual se utilizó el programa computacional SAS versión 2005, de la misma manera se efectuó la prueba de medias con Tukey ($P=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **figura 1** se muestra la distribución promedio de la precipitación pluvial (Pp) y la evapotranspiración (ETP) correspondiente a las huertas de aguacate en Tancítaro, Michoacán, durante los 5 años de muestreo. La distribución de Pp es la típica anual de la región, estableciéndose la época de temporal (lluvias de verano) por completo en junio para finalizar en noviembre, con la mayor Pp registrada en julio (274.6 mm), mientras que ETP sigue un patrón contrario al de Pp, el valor más alto se presentó en abril (121.7 mm) y el más bajo en octubre (57.3 mm). Este comportamiento de ETP es típico ya que los valores más altos se registran en la época seca y los más bajos en

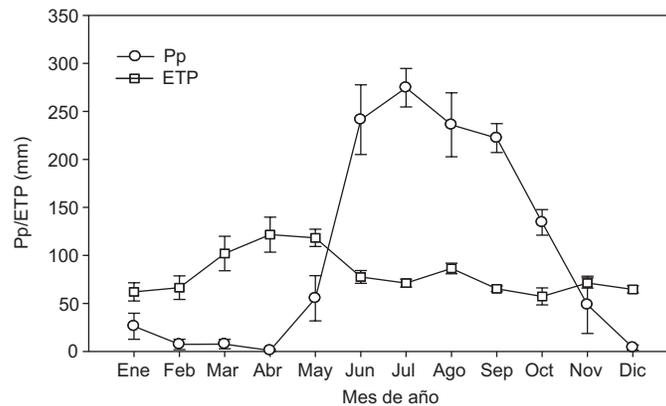


Fig. 1. Distribución de la precipitación pluvial (Pp) y de la evapotranspiración (ETP) durante el año en el periodo experimental

la húmeda, debido a las diferencias de la demanda de evapotranspiración de la atmósfera y a que en la época húmeda ésta se reduce por la nubosidad y por el alto contenido de humedad atmosférica.

La diferencia del contenido de N foliar entre los dos tratamientos de manejo de agua, RT y RL, fue muy significativa ($F_c = 19.1$, $P < 0.0003$). El tratamiento con RL, presentó 2.53 % de N total en las hojas y fue el nivel más alto, en comparación en RT que sólo registró 2.20 % de N total. Esto indica que RL proporcionó un mejor estado nutricional foliar de N que RT, lo cual es comparable ya que las hojas son de la misma edad fisiológica, de la misma posición en el árbol y son de similar flujo vegetativo. Los valores estándar generados para Michoacán en huertos de riego a más de 2000 msnm son de 1.91 % de N total (Aguilera *et al.* 2005), mientras que en fertirriego, como es el caso de esta huerta, el nivel estándar es 2.4 % de N total (Tapia *et al.* 2010). En este caso la coincidencia de los resultados obtenidos es notoria ya que la nutrición localizada con RL presenta valores más altos que la nutrición en baja frecuencia que se obtiene con RT.

La **figura 2** muestra la dinámica de la nutrición del aguacate en el contenido de N total foliar, en los meses de muestreo durante el periodo de estudio. Se aprecia claramente que RT limita la concentración de N total foliar todo el tiempo, principalmente en los meses secos (febrero y noviembre). Después de las fechas de aplicación de fertilizante (marzo, junio y octubre) se observa cómo el contenido de N se incrementa rápidamente en la hoja. Sin embargo, debido a la rápida lixiviación del nutrimento, medida en los muestreos de agua de los tubos de succión colocados fuera del alcance de las raíces (**Fig. 3**), hay una disminución súbita de la concentración de N total foliar en RT, lo cual no ocurre en el tratamiento con

riego microaspersión. En RL, las concentraciones foliares de N total fueron más estables a lo largo del año, lo que prueba que dosis bajas de este elemento, al mismo tiempo que reducen la lixiviación (**Fig. 3**), mantienen una condición nutricional más uniforme a lo largo del año (**Fig. 2**). Este mismo efecto ha sido observado por diversos autores para este manejo de agua y fertilizantes en el cual el contenido nutricional foliar aumenta aun con la aplicación de dosis más bajas de nutrientes (Smith *et al.* 1979, Pizarro 1990). Asimismo, aplicaciones limitadas de agua dada por RL reducen el agua de percolación y hay menos cantidad de lixiviados fuera del alcance de las raíces.

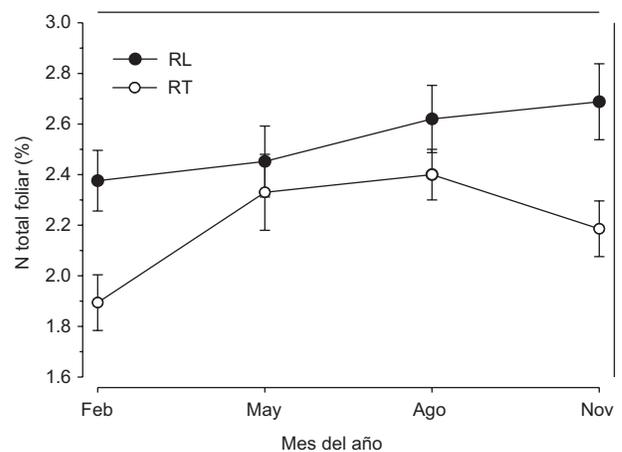


Fig. 2. Concentración de nitrógeno total foliar (%) correspondiente a riego por microaspersión (RL) y riego tradicional (RT) en aguacate

El análisis de varianza efectuado a los valores de la concentración de nitratos en las tres profundidades del suelo (**Fig. 3**), reveló que en los primeros 30 cm de suelo, no hubo diferencias en las concentraciones de nitratos de la solución del suelo en los 5 años de

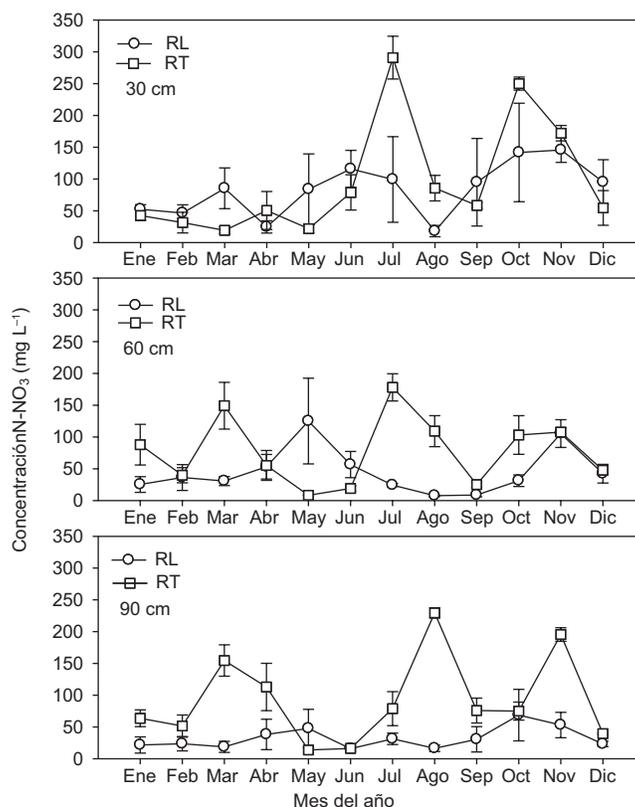


Fig. 3. Concentración de N-NO₃ en solución del suelo a 30, 60 y 90 cm de profundidad en dos sistemas de manejo de agua a lo largo del año. Los datos son promedios de los 5 años de estudio

estudio, lo que indica que en ambos tratamientos (RL y RT) se mantuvo la misma cantidad promedio anual de nitratos disponible 83.5 mg/L y 96.3 mg/L, respectivamente, en la solución del suelo durante el año ($F_c = 2.2$, $Pr < 0.14$). Sin embargo, en las profundidades de 60 y 90 cm, las concentraciones de nitratos en solución fueron diferentes en ambos tratamientos ($F_c = 6.6$, $Pr < 0.013$ y $F_c = 30.2$, $Pr < 0.0001$, respectivamente). En la profundidad 60 cm se registró un valor medio anual de 45.5 mg/L en RL menor al obtenido en RT con 77.5 mg/L, mientras que en la capa más profunda, el tratamiento RT produjo una mayor concentración de nitratos con 92.2 mg/L, que contrasta con 32.4 mg/L en RL, lo cual puede ser una fuente contaminante por nitratos a los acuíferos y corrientes subterráneas de la región. Valores similares en RL son reportados por Mangiafico *et al.* (2009), quienes registraron 31 mg/L en solución del suelo de huertas de aguacate, pero por no ser agua para consumo humano o animal no entraña peligro de intoxicación, salvo en los casos de acuíferos someros de menos de 1 m que de manera no frecuente se encuentran en el área aguacatera de Michoacán.

Estas altas concentraciones de nitratos más allá de la zona radical del cultivo (**Fig. 3**), se deben probablemente a los altos contenidos de agua del suelo, la cual fácilmente los conduce a la solución del suelo a capas inferiores. El agua de lixiviación es un factor que arrastra fácilmente los nitratos a capas más profundas del suelo como fue reportado por Andraski *et al.* (2000).

La concentración de nitratos en la solución del suelo a lo largo del año en las tres profundidades de muestreo de la zona radical del cultivo se presenta en la **figura 3**, donde se aprecia que RT presenta a lo largo del año tres picos de máxima concentración de N-NO₃ en la solución del suelo. Estos picos coinciden con los eventos tradicionales de fertilización: la fertilización a finales de la época seca (marzo), al establecerse las lluvias y al final de la época húmeda. En la época de lluvias la lixiviación se acentúa con la precipitación, ya que la humedad del suelo alcanza un punto en el cual éste ya no puede retener más agua (Killpack y Bucholz 1993). Aunado a ello, el exceso de humedad en el suelo también es provocado por la disminución de la demanda evapotranspiratoria del

aguacate en la temporada de lluvias (**Fig. 1**) (Tapia *et al.* 2006b). Las precipitaciones exceden en 400 % los requerimientos de agua del cultivo, ocasionando con ello una mayor infiltración e indirectamente una elevada lixiviación. Desafortunadamente, con el riego tradicional, la fertilización del cultivo también se aplica en la temporada de lluvias, y debido a las fuertes precipitaciones y a la limitada retención de humedad del suelo (200 mm/m), los lixiviados alcanzan sus picos máximos significativos en los meses de marzo (120 mg/L de N-NO₃), julio (210 mg/L) y octubre (190 mg/L), mientras que en RL se tienen esos mismos meses valores de 7.1, 6.5 y 17.2 mg/L de N-NO₃, respectivamente (**Fig. 3**). Estas diferencias son claras y se mantienen en las tres profundidades muestreadas en los cinco años de estudio (**Cuadro II**).

CUADRO II. CONCENTRACIÓN MEDIA DE N-NO₃ (mg/L) EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO EN TRES PROFUNDIDADES DE LA ZONA RADICULAR DE AGUACATE EN DOS TRATAMIENTOS DE MANEJO DE AGUA EN MICHOACÁN. MEDIAS CON LETRA DISTINTA EN UNA HILERA O COLUMNA SON ESTADÍSTICAMENTE DIFERENTES (Tukey, $p \leq 0.05$).

Tratamiento	Profundidad del suelo (cm)		
	30	60	90
Riego localizado (RL)	73.7a	47.7b	36.1b
Riego tradicional (RT)	97.2a	80.4a	96.1a
DMS (Tukey 5%)	31.8	25.5	21.8

En ambos tratamientos las máximas concentraciones de N-NO₃ se encuentran en la capa del suelo más superficial pero rápidamente se reducen de un mes a otro, lo cual se debe posiblemente a la absorción por parte del cultivo y a la elevada infiltración que aumenta los lixiviados en la capa más profunda (90 cm) principalmente en el riego tradicional. Las raíces del aguacate son muy superficiales; Michelakis *et al.* (2003), mencionan que el 70 % del sistema radicular se encuentra en los 50 cm más superficiales; mientras que Avilán *et al.* (1982), mencionan que el 90 % de las raíces se encuentran en los primeros 60 cm. Esta condición de concentración radicular podría ser un factor para propiciar mayor lixiviación de nitratos a profundidades de suelo > 60 cm.

En la **figura 4** se muestra la concentración de N-NO₃ en el espacio horizontal superficial de la zona radicular a las distancias de 2 y 3 m a partir del tronco del árbol, evaluadas a 30 cm de profundidad del suelo. En ambos casos se observa que a mayor distancia del tronco, las concentraciones de N-NO₃ disminuyen hasta tener valores muy bajos a 3 m de distancia cuando se utiliza el RT; ello se debe a que la fertilización se practica en banda alrededor del árbol con un gradiente negativo en relación con la distancia al árbol, mientras que RL puede tener un mayor radio de distribución ya que el emisor asperja el fertilizante en un radio de hasta 3.25 m. Aunque la cantidad de fertilizante que emite RL es baja, ésta se mantiene constante a través del año provocando con ello que el N-NO₃ se acumule más a 3 m de distancia

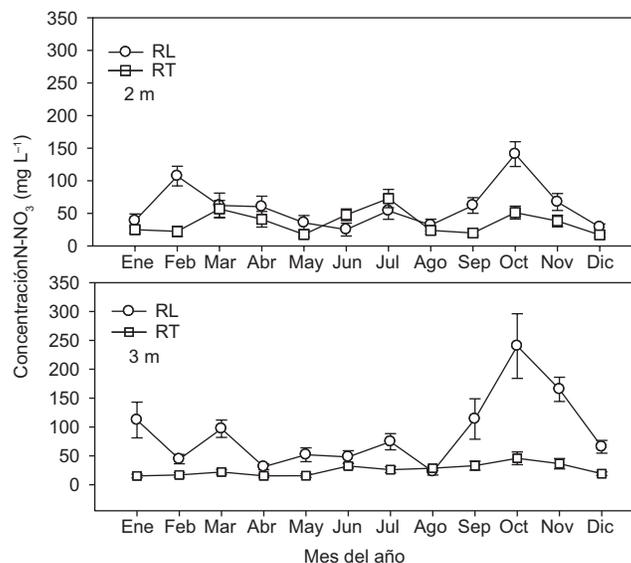


Fig. 4. Concentración de N-NO₃ en solución del suelo a 2 y 3 m de distancia a partir del tronco en riego y 30 cm de profundidad con microaspersión (RL) y riego tradicional (RT) en huertas de aguacate en Michoacán en el periodo 2001-2006

(con un máximo de 240.2 mg/L registrado en octubre; 88 mg/L promedio anual) que a 2 m (140.9 mg/L en octubre, 59.5 mg/L promedio anual). Sin embargo, en RT los valores de la concentración de N nítrico fueron más bajos en el suelo a 2 y 3 m de distancia del tronco con valores promedio anual de 36.1 y 25.6 mg/L, respectivamente. Como RT sólo humedece la capa superficial del suelo, y aunque esta capa tenga una elevada concentración de N-NO₃, la lixiviación a 2 y 3 m del tronco del árbol es menor, mientras que la disponibilidad de N-NO₃ para la absorción por las raíces superficiales es mayor. Este manejo limitado coincide con lo reportado por Vickner *et al.* (1998) para reducir las concentraciones de N-NO₃ de lixiviación sin afectar la nutrición y el rendimiento de los cultivos y promover que el costo/beneficio sea más bajo con mejores prácticas de cultivo, pero al mismo tiempo que sean menos agresivas con el ambiente.

Es evidente que el manejo del agua en un agro-sistema desempeña un papel muy importante no sólo en la eficiencia de su uso, sino también en la eficiencia de la fertilización y de su impacto en la productividad. Es claro en esta investigación que RT desperdicia tanto agua como fertilizantes, limitando con ello la productividad del cultivo, mientras que RL presenta una mayor eficiencia en estos dos factores, aunque aparentemente también se desperdicia agua desde que los árboles de aguacate requieren menos agua de la que se les proporciona (ver **Cuadro I**). Por otro lado, el mejor manejo del agua con RL reduce el impacto ambiental por la lixiviación de nitratos e incrementa de manera significativa el contenido de N foliar total. Es pues necesario no sólo implementar RL en las áreas de cultivo donde se utiliza todavía RT, sino determinar con mayor precisión las cantidades de agua y de fertilizantes que requieren los cultivos para tener un riego y un sistema nutricional más eficiente, con el fin no sólo de incrementar la producción, sino también el de impactar en menor grado al ambiente.

CONCLUSIONES

El riego por microaspersión permitió alcanzar mayores concentraciones de N en las hojas con valores de 2.53 % contra sólo 2.20 % en riego tradicional con manguera; asimismo, la disponibilidad de nitratos en la solución del suelo fue la misma a 30 cm de profundidad, pero aumentó a los 60 cm para ser máxima a los 90 cm, la concentración se incrementó para riego tradicional de 80 a 96 mg/L mientras que en riego por microaspersión sólo al-

canzó de 36 a 47 mg/L. La lixiviación de nitratos en riego tradicional fue más alta. Los mayores picos de lixiviación de nitratos coinciden con la máxima presencia de lluvias o de riego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Tessenderlo Chemie el financiamiento parcial otorgado al proyecto (A-112636).

REFERENCIAS

- Aguilera M.J.L., Tapia V.L.M., Vidales F.I. y Salazar G.S. (2005). Contenido nutrimental en suelo y hojas de aguacate en huertos establecidos en Michoacán y comparación de métodos para interpretación de resultados. Folleto Técnico 2. INIFAP. Uruapan, Mich. 28 p.
- Alcalá M.J., Ortiz S.C. y Gutiérrez C.M.C. (2002). Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. *Terra* 19, 227-239.
- Bucio E.M. (2012). Exportación de aguacate al alza. *El Agricultor* 2,9.
- Andraski T.W., Bundy L.G. y Brye K.R. (2000). Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. *J. Environ. Qual.* 29, 1095-1103.
- Avilán L., Meneses L. y Sucre R. (1982). Distribución del sistema radical del aguacate (*Persea americana* Mill), en suelos de origen aluvial en la región central del país. *Agronomía Tropical* 33, 229-242.
- Benanchio S.S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano*. FONAIAP-CNIA. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Castellanos R., Uvalle X.B. y Aguilar A.S. (1998). *Manual de interpretación de análisis de suelos y agua*. INCAPA. Celaya, Guanajuato, México. 226 p.
- García E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. UNAM. D.F., México. 246 p.
- Groeneveld R., Bowman L., Krwitwagen S. y Van Ierland E. (2001). Land cover changes as a result of environmental restrictions on nitrate leaching in dairy farming. *Environ. Model. Assess.* 6, 101-109.
- Jasso C.C., Vera J., Nuñez E.R., Martínez H.J. y Sánchez G.P. (2001). Distribución de iones en el bulbo húmedo del suelo como producto del fertirriego por goteo. *Agrociencia* 35, 275-282.
- Killpack C. y Bucholz D. (1993). *Nitrogen in the environment: leaching*. Extension. University of Missouri. St Louis, EUA. 3 p.

- Mangiafico S. S., Newman J., Merhaut D.J., Gan J., Faber B. y Wu L. S. (2009). Nutrients and pesticides in storm-water runoff and soil water in production nurseries and citrus and avocado groves in California. *J. Hort. Technol.* 19, 360-367.
- Michelakis N., Vougioucalou E. y Clapaki G. (2003). Water use, wetted soil volume, root distribution and yield of avocado under drip irrigation. *Agr. Water. Manage.* 24, 119-131.
- Mora R.G.S., Sandoval V.M., Gavi R.F. y Sánchez G.P. (2005). Emisión de N₂O con fertilización nitrogenada en fertirriego y fertilización convencional. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 21, 23-29.
- Pizarro C.F. (1990). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación.* 2ª Ed. MundiPrensa. Madrid, España. 322 p.
- Powell T. y Gaines S.T. (1994). Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. *Common. Soil Sci. Plant Anal.* 25, 2561-2570.
- Ruiz C.A., Medina G., Ortiz C.T., Martínez R.P., González I.J.A., Flores H.E. y Byerly K. F. M. (1999). Requerimientos agroecológicos de los cultivos. Libro Técnico 3. INIFAP. Guadalajara, Jal. 324 p.
- Smith M.W., Kenworthy A.L. y Bedford C.L. (1979). The response of fruit trees to injection of nitrogen through a trickle irrigation system. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 104, 311-313.
- Tapia V.L.M., Rocha A.J.L. y Aguilera M.J.L. (2003). Mantenga altos niveles nutrimentales en su huerto con fertirriego sin afectar el ambiente. *El Aguacatero* 6, 7-15.
- Tapia V.L.M., Vidales F.I. y Larios G.A. (2006a). Manejo del riego y el fertirriego en aguacate. En: *El aguacate y su manejo integrado.* (D. Teliz y A. Aguilera, Eds). MundiPrensa, México, D.F., pp. 107-122.
- Tapia V.L.M., Marroquin F., Cortés T.I., Anguiano C.J. y Castellanos R.J.Z. (2006b). Nutrición del aguacate. En: *El aguacate y su manejo integrado.* (D. Teliz y A. Aguilera, Eds). MundiPrensa, México, D.F., pp. 87-107.
- Tapia V.L.M., Larios G.A. y Vidales F.I. (2010). Indicadores nutrimentales N, P, K en aguacate (*Persea americana* Mill) var. "Hass" bajo fertirriego en Michoacán, México. *Ciencias Agrícolas Informa* 19, 15-23.
- Vickner S., Hoag D.L., Marshall F.W. y Ascough J.C. (1998). A dynamic economic analysis of nitrate leaching in corn production under nonuniform irrigation conditions. *Amer. J. Agr. Econ.* 80, 397-408.