

LIXIVIACION DE NITRATOS EN DOS SISTEMAS DE MANEJO NUTRICIONAL Y DE AGUA EN AGUACATE DE MICHOACAN

L.M. Tapia¹, A. Larios,¹ L. Tapia,² J. Anguiano¹ y I. Vidales.¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Av. Latinoamericana 1101. Uruapan, Michoacán, México Correo electrónico: tapia.luismario@inifap.gob.mx

La fertilización nitrogenada es una práctica que consume el 45% del fertilizante aplicado en huertas. La aplicación de fertilizante nitrogenado en julio y octubre, coincide con la época de lluvias por lo que las pérdidas de nitrógeno también se incrementan contribuyendo a la contaminación del ambiente y baja eficiencia de uso de fertilizante. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos sistemas de manejo nutricional y de agua con respecto a la pérdida de nitrógeno inorgánico fuera de la zona radicular del aguacate. El trabajo se estableció en Tancitaro, Mich., desde enero de 2001 a diciembre de 2006 en una huerta con el cultivar Hass de 12 años de edad y un marco de plantación 10 x 10 m. Los tratamientos fueron fertirriego y riego con manguera. En el tratamiento presurizado se regó con intervalos de ocho días de 200 a 500 L de agua, dependiendo del mes y en el riego por manguera, se regó un tiempo de cinco a doce minutos cada 18 a 21 días. En ambos tratamientos, la fertilización fue en promedio de 220 kg de N ha⁻¹, manteniendo fijos el P y el K. Se colocaron tubos de succión para monitorear la concentración de NO₃ en tres profundidades 30, 60 y 90 cm. Se tomó la lectura de 90 cm como nitratos lixiviados. Los resultados indicaron que en promedio anualmente, el manejo con riego presurizado produce de 25 a 35 ppm de N-NO₃, mientras que el riego por manguera registra de 80 hasta 100 ppm de N-NO₃.

NITRATE LEACHING IN TWO NUTRITIONAL AND WATER MANAGEMENT SYSTEMS OF AVOCADO IN MICHOACAN

L. M. Tapia¹, A. Larios,¹ L. Tapia,² J. Anguiano¹ and I. Vidales.¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Av. Latinoamericana 1101. Uruapan, Michoacán, México Correo electrónico: tapia.luismario@inifap.gob.mx

Nitrogen fertilizing is a process consuming 45% of the fertilizer applied in orchards. The application of nitrogen fertilizing in July and October coincides with the rainfall season; therefore, nitrogen losses are increased, causing environmental pollution and low efficiency of fertilizer use. The aim of this work was to evaluate two nutritional and water management systems and their effect on inorganic nitrogen outside avocado roots. The experiment was made in Tancitaro, Mich., from January 2001 to December 2006 in a twelve-year-old Hass orchard, planted at a distance of 10 x 10 meters. Treatments were fertigation and hose irrigation. In the pressurized treatment, irrigation was carried out every 8 days with 200-500 L of water, depending on the month; while hose irrigation was conducted for 5-12 minutes every 18-21 days.

In both treatments, fertilizing had an annual average of 220 kg N ha⁻¹, maintaining as established P and K. Suction tubes were installed for monitoring the NO₃

concentration at 30, 60 and 90 cm deep in soil. Results indicated that each year pressurized irrigation management yields 25 to 35 ppm of N-NO₃ and hose irrigation reaches 80 to 100 ppm of N-NO₃.

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 gente (10 jornales/ha/año) y genera por concepto de exportación del fruto, más divisas al estado que este cultivo (US \$500 millones/año). Debido a la naturaleza volcánica de los suelos donde se cultiva este frutal, presenta condiciones favorables para la infiltración del agua de riego o lluvia con velocidades de hasta 200 mm hora⁻¹, mientras que en condiciones básicas es de 50 a 90 mm hora⁻¹ (Tapia et al 2006b). Esta propiedad en conjunto con la textura arenosa o franco arenosa de los suelos, proveen un medio físico adecuado para el crecimiento y el desarrollo del frutal ya que el drenaje es una condición requerida para este cultivo (Benanchio 1982). Sin embargo, a la par que ocurre una rápida infiltración del agua de lluvia o riego, el agua alcanza también rápidamente altas profundidades del suelo superando la zona de influencia de las raíces. La mayor parte de la masa radicular (90%), se encuentra en los primeros 60 cm de suelo (Tapia et al 2006a).

El agua de lixiviación arrastra consigo nutrimentos, cationes básicos y en ocasiones agroquímicos pesticidas. De acuerdo a Alcalá et al (2002), los suelos de esta región michoacana presentan mayor capacidad de desprendimiento de agua en capas profundas. Ello puede originar contaminación de efluentes y eventualmente de los abundantes manantiales que tienen lugar en la montañosa orografía de la zona aguacatera de Michoacán. En el caso de Nitratos, se ha reportado que concentraciones superiores de 10 ppm N-NO₃ en el agua potable, pueden originar problemas de enfermedades en seres humanos (Killpack and Bucholz 1994). La contaminación por 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).

La zona aguacatera de Michoacán, con más de 45,000 ha de riego, ha experimentado un auge en la instalación de sistemas de riego, la cual llega ya a unas 25,000 ha y el resto se riega rústicamente con manguera aplicada directamente al cajete de los árboles. Las diferencias entre un método y otro pueden ser de hasta 2,000 litros por temporada de riego por árbol (Tapia et al 2006b). Esta situación puede acarrear problemas de lixiviados y ulteriormente, contaminación de acuíferos y manantiales. El objetivo de este trabajo fue evaluar la lixiviación de nitratos en dos sistemas de manejo de agua, riego localizado (RL) por microaspersión y por manguera (Control) en una huerta de aguacate de Michoacán.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en una huerta comercial de 10 años de edad, desde el ciclo otoño-invierno de 2002 hasta el ciclo primavera verano de 2006, localizada en la localidad de Choritiro, municipio de Tancítaro, Mich. El marco de plantación es 10 x 10 m de la variedad Hass. El tipo de suelo es un Vitric hapludand (Alcalá et al 2002), conocido localmente como "Topure", es derivado de cenizas volcánicas con un pH de 5.9, conductividad eléctrica menor de 1.0 mS/cm, 30.1% de capacidad de campo y 18.6% de humedad a marchitez permanente. El agua de riego proviene de un manantial, prácticamente libre de sales (CE= 89 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y pH= 7.0). Los tratamientos experimentales fueron dos, en el Control (T) se efectuó el riego con manguera y la aplicación de la fertilización convencional 17-17-17 en tres épocas al inicio de la lluvias (4.5 kg/árbol), al final de las lluvias (5.5 kg/árbol) y en marzo (3 kg/árbol), el riego se efectuó cada tres semanas con tiempos entre 10 a 20 minutos, dependiendo de la época de riego, hasta llenar a $\frac{3}{4}$ el cajete de los árboles (15 cm de altura). El tratamiento alternativo de riego localizado (RL), consistió en realizar el riego por microaspersión con riego semanal de ocho horas máximo y un microaspersor regulado de 70 litros por hora, la fertilización se efectuó a través del sistema de riego de acuerdo al programa de fertilización recomendado para fertirrigación (Tapia et al 2003) . En ambos tratamientos se colocaron cinco tubos de succión para obtener las muestras de agua del suelo para el análisis de nitratos, pH y salinidad, tres tubos en la profundidad 30, 60 y 90 cm mientras que otros dos a distancias de 2 y 3 metros del tronco del árbol. El programa de riego por mes, se muestra en el Cuadro 1. Cada tratamiento se efectuó en dos árboles tomando cada árbol y cada fecha como una repetición (Jasso et al 2001). El diseño experimental fue completamente al azar. Los datos evaluados fueron concentración de nitratos (NO_3), en cada tubo de muestreo medido in situ con analizador NO_3 de Horiba®.

Cuadro 1. Programa de riego mensual en aguacate con dos métodos de riego en Tancítaro, Mich.

Table 1. Irrigation Schedule of avocado in two water methods in Tancitaro, Mich.

Mes	Tratamiento de riego		ETP ¹ (litros/árbol)
	Control (T) (litros)	Riego localizado (RL) (litros)	
Enero	1,800	1,120	5
Febrero	1,400	1,400	5
Marzo	2,880	1,960	9
Abril	2,400	2,240	5
Mayo	1,400	1,120	3
Total	9,880	7,840	22

¹Fuente: Tapia et al (2006b)

Resultados y Discusión

El análisis de varianza efectuado a los datos de concentración de nitratos en las diferentes profundidades de suelo, reveló que en el primer estrato no se detectó diferencia estadística en las concentraciones de nitratos de la solución del suelo en los cinco años de estudio, lo que indica que ambos tratamientos, mantienen la misma cantidad de nitratos disponible en la solución del suelo, durante los doce meses del año. Sin embargo, en las profundidades del suelo 60 y 90 cm, las concentraciones evaluadas de nitratos en solución, fueron diferentes en ambos tratamientos, ello prueba que uno de los dos tratamientos mantiene mayor concentración en la capa más profunda, lo cual puede ser una fuente de contaminación por nitratos a los acuíferos y corrientes subterráneas de la zona aguacatera de Michoacán.

Cuadro 2. Análisis de la varianza de concentración de NO₃ en solución del suelo en tres profundidades de suelo de la zona radicular de aguacate en Michoacán.
Table 2. Analysis of variance of soil solution NO₃ concentration in three soil depths of the avocado root zone

Profundidad del suelo (cm)	Cuadrado medio tratamiento	Efecto de tratamientos				
		G.L.	Cuadrado medio error	G.L. error	Fc	Pr>F
30	321160.5	1	146312.8	59	2.2	0.14
60	621936.0	1	94496.3	59	6.6*	0.013
90	2090880	1	69100.9	59	30.2**	0.0001

* = Significancia (p<0.05), ** = Significancia (p<0.05), NS = No hay significancia (p>0.05).

Los valores medios de las concentraciones de N-NO₃ en la solución del suelo de tres profundidades de la zona radicular, se muestran en el Cuadro 3. Los valores de concentración para cada profundidad son superiores en términos absolutos en el Control con valores entre 80 y 97 ppm de N-NO₃. mientras que en el tratamiento alternativo (RL) se tiene solo entre 36 y 86 ppm. En ambos tratamientos se aprecia que existe una diferencia sustancial en el desempeño de los valores encontrados con respecto a la profundidad del suelo, mientras que en el Control la relación casi constante conforme se avanza en la profundidad del suelo al rondar los valores los 97 ppm de N-NO₃, en RL la relación es inversa ya que a medida que se avanza en la profundidad del suelo la concentración de nitrógeno nítrico es menor, al pasar de 73.7 ppm en la capa más superficial a 36.1 en la profundidad 90 cm. Estas cantidades registradas indican que en promedio, cada año, el riego por manguera lixivia casi tres veces más N-NO₃ que el riego localizado, fuera de la zona de absorción radicular del aguacate. La textura de este tipo de suelos, favorece la pérdida de N-NO₃ por lixiviación, como lo argumenta Powell y Gaines (1994), pero es evidente que mejores prácticas de manejo de agua pueden reducir este problema como fue detectado en este trabajo al reducirse casi un tercio la cantidad de N-NO₃ lixiviados.

Cuadro 3. Concentración media de N-NO₃ en la solución del suelo en tres profundidades de la zona radicular del aguacate en dos tratamientos de manejo de agua en Michoacán

Table3. N-NO₃ average concentration in three depths of soil solution avocado root area in two water management systems of Michoacán.

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

Nota: cantidades con la misma letra iguales

En la Figura 1 se aprecia la concentración de nitratos en la solución del suelo en tres profundidades de muestreo de la zona radicular del aguacate. Se aprecia claramente que el riego por manguera presenta a lo largo del año, tres picos de máxima concentración de N-NO₃ en la solución del suelo, estos picos tienen lugar en coincidencia con los eventos de fertilización que el 90% de los productores efectúa: al establecerse las lluvias, al final de la temporada y la fertilización de marzo. El problema de lixiviación se acentúa con las fuertes precipitaciones ya que la humedad del suelo alcanza un punto en el cual el suelo no puede retener más agua, como fue referido por Killpack y Bucholz (1993), aunado a ello, la disminución de la demanda evapotranspirativa del aguacate en la temporada de lluvias (Tapia et al 2006b), no gastan ni la tercera parte del agua disponible, ocasionando alta lixiviación (Figura 2). Desafortunadamente, la fertilización del cultivo tiene lugar en la temporada de lluvias, y por las fuertes precipitaciones y la limitada retención de humedad del suelo (200 mm/m), los lixiviados alcanzan sus picos máximos en los meses de julio y octubre (Figura 2).

Las máximas concentraciones de N-NO₃ se encuentran en la capa más superficial pero rápidamente se reducen de un mes a otro lo cual muestra que el cultivo absorbe sólo una parte y el resto incrementa los lixiviados en la capa más profunda (90 cm), ello habla de la alta velocidad de infiltración de estos suelos y de las altas pérdidas de N-NO₃ en control con 92.2 ppm promedio anual contra 32.4 en RL.

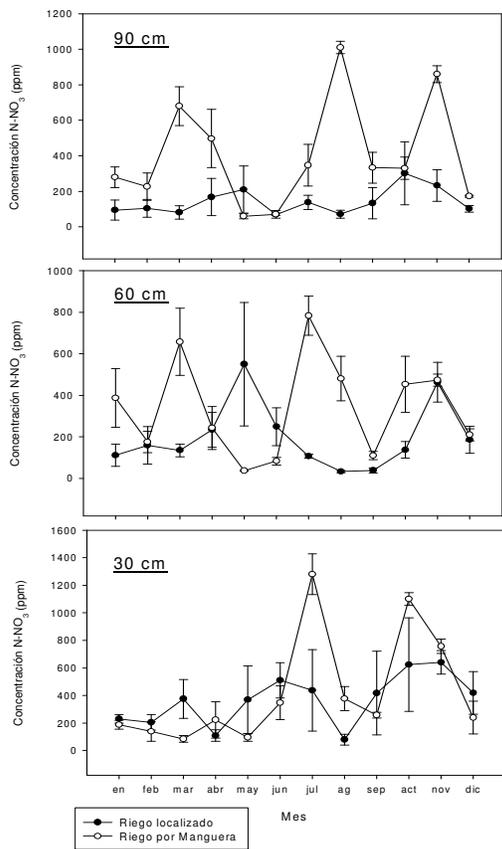


Figura 1. Concentración de N-NO₃ en tres profundidades de suelo en dos sistemas de manejo de agua en aguacate de Michoacán. 2001-2006.
 Figure 1. Concentration of N-NO₃ in three soil depths of two water management systems in avocado of Michoacan. 2001-2006

En la Figura 3 se muestra la concentración de N-NO₃ en el espacio horizontal superficial de la zona radicular a las distancia de 2 y 3 metros con relación al tronco del árbol. En ambos casos se observa que a medida que se aleja del tronco, el tratamiento control reduce las concentraciones de N-NO₃ y se hacen mínimas en la distancia 3 metros, ello se debe a que la fertilización se hace en banda alrededor del árbol y que a medida que se aleja del tronco del árbol, el fertilizante tiende a ser menor hasta los tres metros en que es casi nulo. Mientras que RL puede tener un mayor radio de aplicación ya que el emisor puede tener un diámetro de aplicación de fertilizante de hasta 6.5 m y como es una cantidad baja pero sostenida a lo largo del año las concentraciones son más altas a lo largo del año de 361 ppm mientras que en control se tiene sólo 104 ppm. Como el riego es limitado a humedecer sólo la capa superficial, aunque la capa superficial tenga alta concentración de N-NO₃ la lixiviación es menor, y la disponibilidad de N-NO₃ para la absorción por las raíces superficiales es mayor, teniendo mayor oportunidad de nutrirse el árbol adecuadamente. Este manejo limitado coincide con lo reportado por Steven et al 1998 para reducir N-NO₃ de

lixiviación sin afectar la nutrición y el rendimiento en cultivos y hacer costeable la inversión de mejores prácticas de cultivo pero menos agresivas con el ambiente.

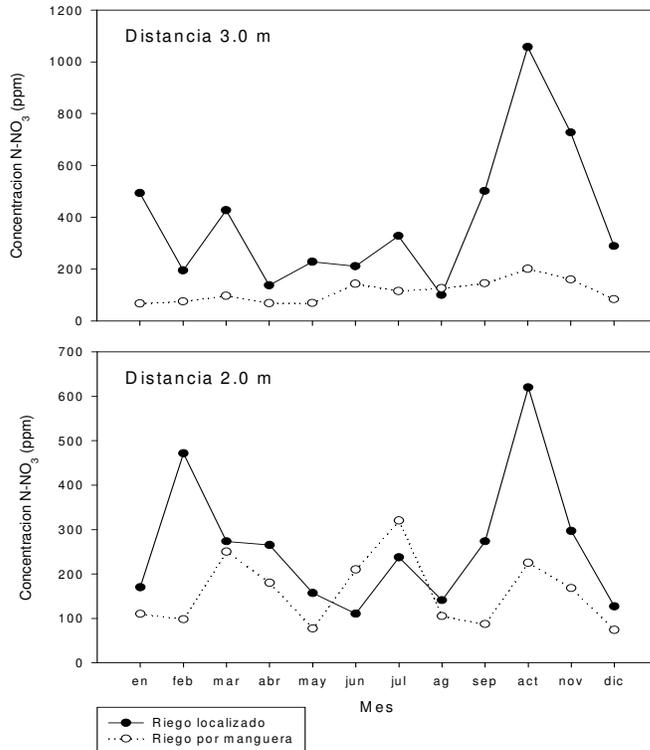


Figura 2. Concentración de N-NO₃ en la profundidad 0-30 cm en las distancias dos y tres metros a partir del tronco en solución del suelo en aguacate de Michoacán.

Figure 2. Concentration of soil solution avocado of Michoacan N-NO₃ at 30 cm depth in one and two meters of distance from stem.

Conclusiones

1. En el estrato superficial del suelo, la cantidad de N-NO₃ es similar en ambos tratamientos, durante la mayor parte de los doce meses del año, aunque hay diferencias leves en algunos meses, debido a la cantidad de la aplicación de fertilizantes.
2. La diferencia en contenido de N-NO₃ en las capas más profundas del suelo, revela que el tratamiento con manguera puede lixiviar hasta 300% más nitratos que el manejo con riego localizado al pasar de 96 ppm de N-NO₃ a sólo 36 ppm promedio anual de cinco años.
3. A lo largo de los cinco años de estudio, los meses con mayor lixiviación en riego con manguera son los de marzo, agosto y noviembre con 650, 1000 y 900 ppm de N-NO₃ coincidiendo con los meses de aplicación de fertilizantes tradicional.
4. El riego localizado presenta una ampliación horizontal en la mayor disponibilidad de N-NO₃ con 361 ppm en promedio anual contra 104 ppm del testigo en la distancia 3.0 m

Literatura Citada

Alcalá M.J., C. Ortiz S., y M.C. Gutiérrez C. 2002. Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. *Terra*. 19:227-239

Benanchio S.S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.

Groeneveld R., L. Bowman, S. Krwitwagen, E. Van Ierland. 2001. Land Cover Changes as a Result of Environmental Restrictions on Nitrate Leaching in Dairy Farming. *Environmental Modeling and Assessment* 6(2):101-109

Jasso C.C., J.Vera M., R. Nuñez E., J. Martínez H., P. Sánchez G. 2001. Distribución de iones en el bulbo húmedo del suelo como producto del fertirriego por goteo. *Agrociencia* 35:275-282

Killpack C. and D. Bucholz 1993. Nitrogen in the environment: leaching. Extension. University of Missouri. St Louis MO. USA 3p.

Powell T., S.T. Gaines. 1994. Soil Texture Effect on Nitrate Leaching in Soil Percolates. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 2561-2570

Suárez, L.D and M. Van Genuchten. 1981. Leaching and water type effects on ground water quality. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. 107:35-52

Tapia V.L.M., J.L. Rocha A., J.L. Aguilera M. 2003. Mantenga altos niveles nutrimentales en su huerto con fertirriego sin afectar el ambiente. *El Aguacatero* 6(32):7-15

Tapia V.L.M., F. Marroquin, I. Cortés T., J. Anguiano C., J. Z. Castellanos R. 2006a. Nutrición del Aguacate. *In: El Aguacate y su manejo integrado*. D. Teliz, A. Aguilera (eds). Mundi-Prensa México D.F. 87-107

Tapia V.L.M., I. Vidales F. A. Larios G. 2006b. Manejo del riego y el fertirriego en Aguacate. *In: El Aguacate y su manejo integrado*. D. Teliz, A. Aguilera (eds). Mundi-Prensa México D.F. 107-122

Vickner S., D.L. Hoag, W. Marshall F., J.C. Ascough. 1998. A Dynamic Economic Analysis of Nitrate Leaching in Corn Production under Nonuniform Irrigation Conditions. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 80(2):397-408