

Relaciones entre Algunas Características Físicas del Suelo y el Rendimiento de Alfalfa en Parcelas Tratadas con Estiércol¹

J.Z. Castellanos*, E. Walker**

ABSTRACT

Data of 40 plots which had received manure in rates from 0 to 240 t/ha were analyzed for evaluating the relationship between soil physical properties and for predicting alfalfa yields. Determinations were made for infiltration, clay content, bulk density, oxygen diffusion rate (ODR) and penetrometer resistance and water content after irrigation. These variables were correlated among them and with cumulative alfalfa yields during 18 cuttings. A predictive yield model was obtained. Water infiltration was highly correlated with ODR after irrigation and with alfalfa yield. When water infiltration after 10 h is less than 0.3 to 0.5 cm/h, soil aeration is affected and crop yields are lowered. Since this is a soil with infiltration problems, from a practical view point, depth of soil moistening in the profile after a normal irrigation was a good indicator of soil physical quality. This condition can be easily measured by the use of a penetrometer, and was a good predictor of alfalfa yield ($R^2 = 0.57$). By the use of six variables, a multiple regression model was obtained which explained 79% of variation in dry matter production, allowing approximate prediction of alfalfa yield.

INTRODUCCION

El rendimiento de la alfalfa, como el de algunos otros cultivos, es severamente afectado por las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, existen pocos informes en los que se haya evaluado el efecto del medio físico del suelo sobre el desarrollo del cultivo. El conocimiento de este efecto es importante para predecir oportunamente el comportamiento del cultivo y por ende, planear más adecuadamente el manejo del terreno

Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar la interrelación existente entre varias propiedades

¹ Recibido para publicación el 12 de marzo de 1987.

* Investigador Titular de Suelos del Campo Agrícola Experimental La Laguna. Apartado Postal 112. Celaya, Gto. México.

** Investigador de Estadística del Campo Agrícola Experimental La Laguna. CIAN-INIFAP. Actualmente, Profesor Asistente de la Universidad de Tennessee, Knoxville, EE.UU.

COMPENDIO

Con el fin de evaluar la interrelación entre algunas propiedades del suelo y de predecir el rendimiento de alfalfa en función de dichas características, se analizó la información de 40 parcelas que habían recibido diferentes dosis de estiércol. En cada parcela se tomaron datos de infiltración, contenido de arcilla, resistencia del suelo después del riego, densidad aparente, velocidad de difusión de oxígeno (VDO) y contenido de humedad después del riego. Estas variables fueron correlacionadas entre sí y con el rendimiento de materia seca de alfalfa de 18 cortes y se obtuvo un modelo de predicción. La conductividad hidráulica del suelo estuvo altamente correlacionada con la VDO después del riego y el rendimiento de alfalfa. Valores de infiltración básica menores de 0.3 – 0.5 cm/h afectaron la aireación del suelo y redujeron el rendimiento de alfalfa. Debido a que este es un suelo con problemas de infiltración, desde el punto de vista práctico la profundidad de humedecimiento del perfil, después de un riego normal, resultó un buen indicador de la calidad del medio ambiente físico del suelo. Esta condición pudo medirse fácilmente mediante el uso de un penetrometro y resultó ser un buen predictor del rendimiento de alfalfa ($R^2 = 0.57$). Mediante el uso de 6 variables se obtuvo un modelo de regresión lineal múltiple para predecir el rendimiento de alfalfa con el cual se explicó el 79% de la variación en la producción de materia seca total.

físicas y químicas del suelo y el rendimiento de alfalfa, así como también obtener modelos de predicción del rendimiento en función de una serie de características del suelo

REVISION DE LITERATURA

La matriz del suelo consiste primordialmente de partículas minerales de varios tamaños, formas y compuestos mineralógicos, así como de un pequeño porcentaje de materia orgánica que recubre estos minerales. El contenido y arreglo de estas partículas y compuestos constituyen la estructura física dentro de la cual ocurren una variedad de interacciones químicas, físicas y biológicas (13)

La estructura del suelo afecta varios procesos físicos como son: conducción vertical de agua, conducción de gases y deformación del suelo (22). Estos procesos afectan el desarrollo de la raíz y consecuentemente, el rendimiento del cultivo

La estabilidad estructural del suelo es afectada por la textura, tipo de arcilla, agentes cementantes y nivel de materia orgánica del suelo. Meek *et al.* (16) encontraron una relación muy estrecha entre contenido de materia orgánica y conductividad hidráulica del suelo. Similares resultados fueron encontrados por Mathers y Stewart (15) en parcelas tratadas con estiércol.

La velocidad de infiltración del agua es una variable muy importante pues, cuando se reduce por debajo de un valor crítico, puede afectar la aireación del suelo y en determinadas circunstancias determina el manejo del agua que debe recibir el cultivo para no enfrentar problemas de aireación (5). Sin embargo, esta variable es muy dinámica y es afectada por muchos factores tales como contenido de humedad, compactación, estabilidad estructural de la superficie del suelo, textura y contenido de sodio intercambiable (8).

Los problemas de aireación del suelo ocurren durante los días posteriores al riego. La mayoría de los cultivos son afectados al reducirse la velocidad de difusión de oxígeno en el suelo. Stolzy y Letey (21) encontraron un valor crítico de $20 \text{ a } 30 \text{ g O}_2 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, dependiendo del cultivo y del estado de desarrollo del mismo.

La relación entre contenido de materia orgánica y densidad aparente ha sido ampliamente documentada por la literatura (1, 7, 15, 20). Con relación a la compactación del suelo se ha observado que, cuando la resistencia del suelo excede de 20 kg/cm^2 medida a capacidad de campo, el desarrollo radicular se ve afectado (10). Sin embargo, esta variable es muy sensible a cambios ligeros en el contenido de humedad del suelo (23). Por tal razón, el uso generalizado de este dato no es recomendable. Hopkins y Patrick (12) investigaron la relación entre compactación del suelo, aireación y crecimiento radicular, encontrando que, a bajos niveles de compactación, el crecimiento radicular aumenta con la concentración de oxígeno, mientras que a altos niveles de compactación el crecimiento radicular apenas era afectado al incrementarse la aireación del suelo, posiblemente debido a que el crecimiento estaba controlado mayoritariamente por la resistencia del suelo.

Las variables antes mencionadas arriba afectan, en mayor o menor grado, el crecimiento de la raíz. Igualmente se ha establecido claramente que existe una estrecha relación entre densidad de raíz y rendimiento del cultivo (10, 11, 19).

MATERIAL Y METODOS

Los datos del presente trabajo fueron obtenidos de 40 parcelas tratadas con estiércol en un suelo arcilloso, calcáreo y de lenta infiltración, con un contenido inicial de 1.15% de materia orgánica, pH de 7.6 y sin problemas de sodio intercambiable. El trabajo se estableció en la parte norte centro de México cuyo clima es desértico, con una precipitación media anual de 234 mm y una temperatura media de 21°C . En este experimento se aplicó, en octubre de 1981, estiércol bovino en las dosis de 30, 60, 120 y 240 t/ha, incluyendo un testigo sin estiércol y un tratamiento con nitrógeno; se aplicó también una dosis constante de $240 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ para igualar todos los tratamientos en lo que respecta a este nutrimento. El experimento se sembró en noviembre del mismo año con alfalfa variedad NK-819, cuya semilla fue inoculada con *Rhizobium melliloti*. El cultivo recibió cuatro riegos durante el establecimiento y en lo sucesivo dos riegos por corte durante el verano y un riego por corte durante el otoño e invierno. En cada riego se aplicaron 14 cm de lámina y al cabo de 24 horas se evacuaba el agua que no se había infiltrado. Se dieron 18 cortes entre marzo 24 de 1982 y marzo 12 de 1984. Un tratamiento con nitrógeno mostró la ausencia de respuesta a este nutrimento, por lo que fue descartado el efecto del estiércol desde el punto de vista de la suplementación de nitrógeno o fósforo al suelo. Los datos de rendimiento por tratamientos se presentan en otro informe (6).

Durante el desarrollo del experimento se tomaron datos de velocidad de Difusión de Oxígeno (VDO), durante ocho ocasiones, desde junio de 1982 hasta agosto de 1983. Estos datos se tomaron en tratamientos seleccionados a 10 cm de profundidad, durante el 2°, 3° y 4° días después del riego, mediante la técnica de los microelectrodos de platino (14).

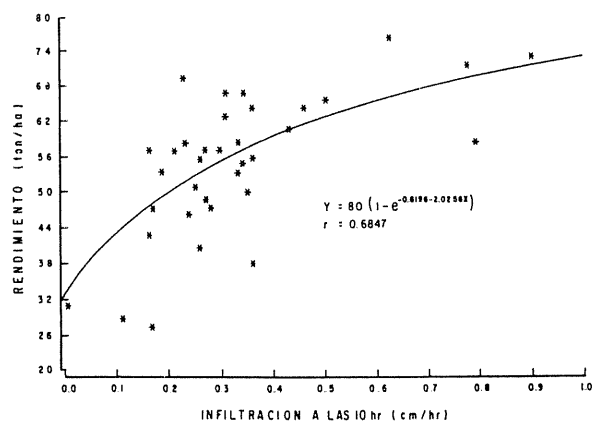


Fig. 1. Relación entre la velocidad de infiltración a las 10 horas y el rendimiento de materia seca de Alfalfa.

En junio de 1982, se tomaron datos de infiltración mediante la técnica de la microcuencia (2). Estos valores se ajustaron mediante el modelo $I = Kt^n$ en todas las parcelas y cuyos valores se calcularon para $t = 1$ h y $t = 10$ h.

Después del riego de noviembre de 1983 y después de evacuar el agua no infiltrada en las parcelas, se realizó una prueba de penetrabilidad mediante el penetrógrafo descrito por Carter y Tavernetti (4). En cada parcela se determinó la profundidad del suelo con resistencia menor de 70 kg/cm^2 , lo cual se usó como un indicador de la profundidad de penetración del agua en el perfil. En febrero de 1984 se determinó densidad aparente en tratamientos seleccionados, usando el método de la barrena para muestras inalteradas descrito por Blake (3).

Al final del experimento se tomaron 12 muestras por parcela para obtener una muestra compuesta para cada estrato de suelo. Las muestras fueron secadas al aire y en ellas se analizó materia orgánica por el método de Walkley y Black (25) y textura por el método de hidrómetro (9).

En el presente estudio se aprovechó la variación en las propiedades físicas y químicas del suelo provocada por el estiércol y la variabilidad natural entre las parcelas, para evaluar las interrelaciones antes planteadas. La lista de variables que se incluyó en el análisis se presenta en el Cuadro 1.

Con las variables del Cuadro 1 se obtuvo la matriz de correlaciones. Por otro lado, con el fin de obtener

Cuadro 1. Lista de variables incluidas en el estudio.

Variable	Unidades	Rango Estudiado
1. Materia Orgánica 0-30 cm	%	1.00 - 2.25
2. Infiltración 1 h	$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	0.52 - 3.13
3. Infiltración 10 h	$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	0.11 - 0.87
4. Arcilla 0-60 cm	%	37 - 52
5. Profundidad con Resist > 70 kg/cm^2	cm	30 - 90
6. Densidad Aparente	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.18 - 1.35
7. VDO (2 días desp. riego)	$\text{g} \times 10^{-8}$ $\text{cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$	15 - 42
8. VDO (4 días desp. riego)	$\text{g} \times 10^{-8}$ $\text{cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$	28 - 72
9. Contenido humedad 0-120 cm*	%base peso	12 - 25
10. Rendimiento total forraje seco	$\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$	26.5 - 75.7

* Después de un riego de 14 cm en agosto 24 de 1982 y evacuada el agua no infiltrada 24 horas después.

un modelo de predicción para rendimiento (variable dependiente), se estudió las combinaciones de seis variables independientes: Materia Orgánica (MO), Infiltración a 1 h (I 1), Infiltración a 10 h (I 10), Contenido de Arcilla 0-60 cm (AR), Profundidad con Resistencia < 70 kg/cm^2 (R 70) y contenido de humedad en el perfil después de un riego (Pw). Mediante el uso de estas variables se pretendió seleccionar el o los modelos entre aquéllos que sobresalieran con base a su ajuste y a su poder predictivo.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se presenta la matriz de correlaciones para las 10 variables estudiadas. El contenido de materia orgánica fue significativamente correlacionado con la infiltración inicial y correlacionado en forma altamente significativa con la densidad aparente. Unger (24) encontró una correlación similar, con una reducción en la densidad aparente de 0.15 g/cm^3 por cada incremento unitario en el porcentaje de materia orgánica del suelo y cuya cifra resultó similar en este estudio. La materia orgánica incorporada a través del estiércol incrementó la estabilidad estructural del suelo y consecuentemente, la capacidad de éste para captar humedad en un tiempo determinado. Meek *et al* (16) encontraron también una relación estrecha entre el contenido de materia orgánica y la conductividad hidráulica del mismo en parcelas tratadas con estiércol.

Una posible explicación de la baja correlación entre contenido de materia orgánica y el resto de las variables estudiadas es que el ámbito explorado de la primera fue muy bajo en comparación con los datos obtenidos en otros estudios.

La velocidad de infiltración es una variable muy ligada a las condiciones de aireación del suelo después del riego, lo que puede afectar drásticamente el rendimiento del cultivo. Además, dado el problema de intercambio de gases en suelos de textura pesada, la lámina de agua potencialmente almacenable en el perfil del suelo se reduce significativamente ya que se requiere un tiempo muy largo para aplicar la lámina necesaria que resulta prohibitivo para el cultivo, habiendo necesidad de evacuar el excedente de agua o tener que aplicar láminas pequeñas para así evitar daños al cultivo. De ahí la estrecha asociación entre infiltración, VDO, Pw en el perfil y rendimiento del cultivo.

En la Fig. 1 se muestra la relación existente entre la velocidad de infiltración a las 10 h y el rendimiento de alfalfa. De acuerdo con estos datos, cuando la infiltración a dicho tiempo es menor de 0.5 cm/h el rendimiento del cultivo de alfalfa disminuye.

En la Fig. 2 se presenta la relación entre VDO dos días después del riego y el rendimiento. No obstante que el número de datos es bajo, se puede considerar que, cuando la VDO es menor de 20 a 30 g de O₂ x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹ el rendimiento de alfalfa tiende a bajar. Este valor es diferente para cada cultivo; así por ejemplo, Stolzy y Letey (21) obtuvieron un nivel crítico de 15 g x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹ para el cultivo de cebada y 40 g x 10⁻⁸ min⁻¹ para el cultivo de tomate.

Un suelo con problemas de infiltración reduce su capacidad para captar agua en el perfil en un tiempo determinado y consecuentemente, la cantidad de agua disponible para el cultivo también se reduce, además de afectarse la aireación del suelo después del riego. Bajo condiciones de escasas variación en la densidad

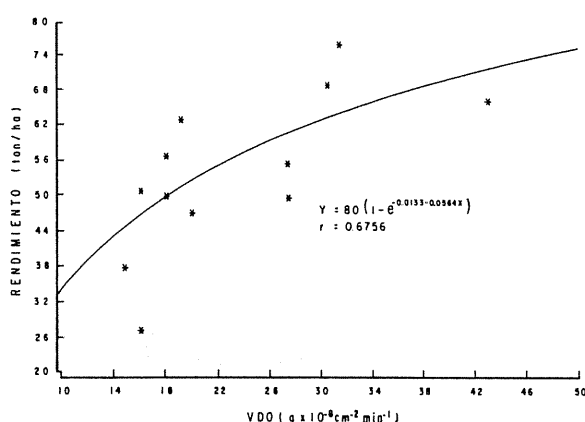


Fig. 2. Relación entre la velocidad de difusión de oxígeno dos días después del riego y el rendimiento de materia seca de Alfalfa.

aparente, la resistencia del suelo está principalmente influenciada por el contenido de humedad del mismo (17, 23). Por lo que, para este suelo, la prueba de penetrabilidad resultó ser un buen indicador del avance del frente de humedad en el perfil del suelo. Tal como se aprecia en la Fig. 3, la parcela 35 (testigo sin estiércol) presentó siempre problemas severos de infiltración que limitaron la penetración del agua a unos 30 cm de profundidad y el resto del agua hubo de ser evacuado 24 horas después. Por otro lado, en la parcela 1 que recibió 120 t de estiércol/ha la penetración del agua rebasó los 90 cm de profundidad. De acuerdo a mediciones hechas en el terreno se observó que, cuando la resistencia del suelo fue mayor de 70 kg/cm², el contenido de humedad del suelo estaba por debajo del punto de marchitez permanente. Por lo tanto, se consideró que el frente de humedecimiento llegó hasta donde el suelo presentó una resistencia menor de 70 kg/cm². El rendimiento de forraje seco total de las mencionadas parcelas fue respectivamente de 26.5 y 75.7 t/ha para el período de 18 cortes. La relación entre resistencia del suelo y rendimiento para todas las parcelas se muestra en la Fig. 4. Se puede observar la estrecha relación entre estas dos variables con un coeficiente de correlación de 0.81. De hecho, ésta fue la variable que estuvo más asociada con el rendimiento de alfalfa. Cuando la profundidad del suelo con resistencia menor de 70 kg/cm² está por debajo de los 70 cm, después de un riego normal, el rendimiento de alfalfa tiende a reducirse. Estos 70 cm se pueden también considerar como el avance del frente de humedecimiento. Desde el punto de vista práctico esta determinación es fácil de realizar con equipo sencillo, pues, para tal fin, se puede usar también un penetrómetro

Cuadro 2. Matriz de correlaciones de las 10 variables evaluadas en el experimento.

Variable dependiente / Variable Independiente	Materia Orgánica	Infiltración 1 h	Infiltración 10 h	Arcilla 0-60 cm	Prof. con re Resist. menor de 70 kg/cm ²	Densidad Aparente	VDO 2 días desp. riego	VDO 4 días desp. riego	Pw 0-120 cm	Rendimiento
Mat. Orgánica	1.00	0.36*	0.29	0.20	0.12	-0.70**	0.39	0.31	0.52*#	0.42**
Infiltración, 1 h		1.00	0.90**	-0.26	0.61**	-0.25	0.35	0.64*	0.49**	0.64**
Infiltración, 10 h			1.00	-0.31*	0.71**	-0.22	0.34	0.46	0.50**	0.62**
Arcilla 0-60 cm				1.00	-0.54**	-0.54	-0.56*	-0.61*	-0.21	-0.53**
Prof. Resist. < 70 kg/cm ²					1.00	-0.10	0.68**	0.59*	0.50**	0.75**
Densidad Aparente						1.00	0.10	0.19	0.47	0.11
VDO, 2 días							1.00	0.73**	0.30	0.70**
VDO, 4 días								1.00	0.19	0.73**
Pw 0-120 cm									1.00	0.67**
Rendimiento										1.00

* Significativo al 5%.
** Significativo al 1%.

de impacto. Estos resultados se aplican para suelos de lenta infiltración como el estudiado en este trabajo

Existen, por ejemplo, áreas cultivadas con alfalfa en esta región del país en que por problemas de estructura del suelo, el agua no penetra más 30 ó 45 cm, aún manteniéndola sobre el suelo durante varios días. Este hecho es un indicador del problema y se puede medir mediante la sencilla técnica descrita en este trabajo.

Con el fin de predecir el rendimiento en función de todas las variables involucradas (no se consideraron las variables 6, 7 y 8 por no tener datos de todas las parcelas) se obtuvieron los coeficientes de determinación y la Cp de Mallows (18) para un total de 63 posibles modelos. En el Cuadro 3 se presentan los mejores modelos seleccionados con base al número de variables

Debido a la alta correlación entre 11 e 110 ($R^2 = 0.90$), se decidió eliminar los modelos donde aparecen ambas variables. Entre los restantes, los mejores modelos, con base en los valores de R^2 y Cp fueron los que incluían a las variables X_1 , X_2 , X_3 , y X_1 , X_2 , X_3 , X_4 . En los dos modelos las pruebas de t (parciales) fueron significativas para cada coeficiente al 5%. Sin embargo, para usar el segundo modelo se requiere medir la infiltración inicial, variable que resulta afectada por una serie de condiciones del suelo entre las que se encuentra la humedad. El modelo que incluye tres variables resulta fácil de adoptar en la práctica y produce valores de $R^2 = 0.746$ y $C_p = 6.4$

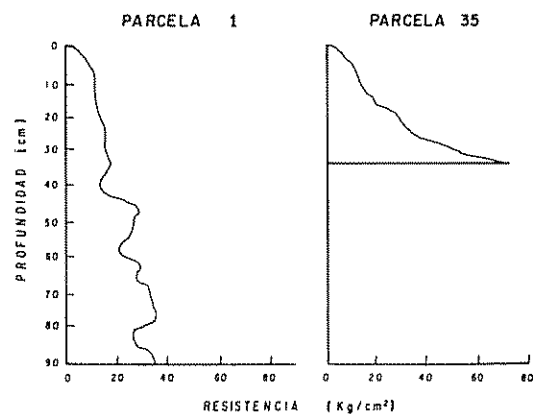


Fig. 3. Relación entre resistencia y profundidad del suelo en las parcelas uno y treinta y cinco.

CONCLUSIONES

- 1 La conductividad hidráulica del suelo estuvo altamente correlacionada con la VDO después del riego y el rendimiento de alfalfa. Valores de infiltración a las 10 h menores de 0.5 cm/h afectan la aireación del suelo y tienden a reducir el rendimiento de alfalfa
- 2 Desde el punto de vista práctico, la penetración del frente de humedad en el perfil del suelo, después del riego normal, es un buen indicador de las condiciones físicas del suelo y es una buena forma de predecir el rendimiento mediante el uso de un penetrómetro

Cuadro 3. Modelos de predicción del rendimiento de alfalfa de acuerdo al número de variables incluidas.

No. de variables	Modelos	R^2	Cp de Mallows*
1	$y = 80 (1 - e^{-0.3727 - 0.0261 X_2})$	0.664	-
2	$y = 7.53 + 13.72 X_1 + 0.49 X_2$	0.678	17.9
3	$y = 58.52 + 17.28 X_1 + 0.355 X_2 - 1.08 X_3$	0.746	9.2
4	$y = 59.60 + 14.24 X_1 + 0.25 X_2 - 1.02 X_3 + 4.53 X_4$	0.775	6.4
5	$y = 55.94 + 14.27 X_1 + 0.31 X_2 - 0.99 X_3 + 9.09 X_4 - 20.56 X_5$	0.785	6.3
6	$y = 51.62 + 11.58 X_1 + 0.26 X_2 - 0.99 X_3 + 8.70 X_4 - 19.52 X_5 + 0.65 X_6$	0.796	7.0

donde X_1 = Contenido de Materia Orgánica en el estrato de 0-30 cm, %

X_2 = Profundidad con resistencia menor de 70 kg/cm, cm

X_3 = Contenido de arcilla en el estrato de 0-60 cm, %

X_4 = Infiltración inicial (1 h), cm/h

X_5 = Infiltración final (10 h), cm/h

X_6 = Contenido de humedad 0-120 cm, %base peso

Y = Rendimiento total de materia seca, ton/ha

* = Montgomery y Peck (18).

3. Desde el punto de vista del número de variable, el modelo que incluye materia orgánica, profundidad con resistencia menor de 70 kg/cm^2 y contenido de arcilla resultó un buen predictor del rendimiento de alfalfa.

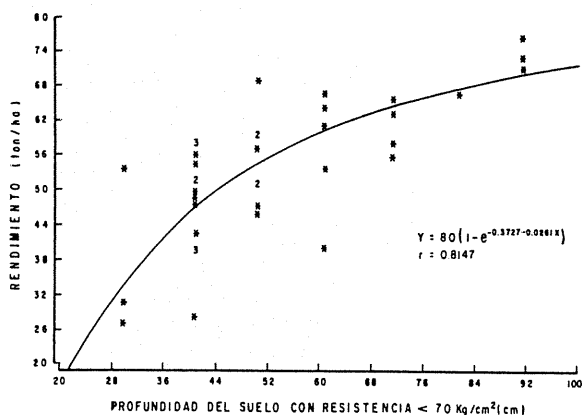


Fig. 4. Relación entre profundidad del suelo con resistencia menor de 70 kg/cm^2 después del riego y rendimiento de Alfalfa.

LITERATURA CITADA

1. BAVER, A. 1974. Influence of soil organic matter on bulk density and available water capacity of soils. North Dakota Agricultural Experimental Station Farm Research 31(5):44-52.
2. BERTRAND, A.R. 1965. Rate of water intake in the field. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wisc., American Society of Agriculture Engineers. Pt. 1, p. 197-208. Monograph no. 9.
3. BLAKE, G.R. 1965. Particle density. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wis., American Society of Agriculture Engineers. v. 1, pt. 1, p. 65-67, 73. Monograph no. 9.
4. CARTER, L.M.; TAVERNETTY, J.R. 1968. Influence of precision tillage and soil compaction on cotton yields. Transaction ASAE 11(1):65-67, 73.
5. CASTELLANOS, J.Z. 1985. El medio ambiente físico del suelo y su modificación mediante la aplicación de materia orgánica. Matamoros, Coah., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 30 p. Serie Temas Didácticos, Publicación no. 2.
6. CASTELLANOS, J.Z.; MUÑOZ, J.A. 1985. Soil physical properties and alfalfa yields as affected by manure application to a low infiltration clayey soil. Madison, Wisc., American Society of Agriculture Engineers. p. 222-228. SP 13-85.
7. CURTIS, R.O.; POST, B.W. 1964. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont soils. Soil Science Society of America Proceedings 28:285-286.
8. CHANCELOR, W.J. 1977. Compaction of soils by agricultural equipment. Berkley, University of California. Bulletin no. 1 881.
9. DAY, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wisc. American Society of Agronomy. Part 1. Monograph no. 9. p. 545-567.
10. GRIMES, D.W.; MILLER, R.J.; WILEY, D.C. 1975. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. Agronomy Journal 67:519-523.
11. GRIMES, D.W.; SHEESLEY, W.R.; WILEY, P.L. 1978. Alfalfa root development and shoot regrowth in compact soil of wheel traffic patterns. Agronomy Journal 70:955-958.
12. HOPKINS, R.M.; PATRICK JUNIOR, W.H. 1970. Combined effect of oxygen concentration and soil compaction on root penetration. Soil Science 108:408-413.
13. LETEY, J. 1977. Physical properties of soils In Soils for management of organic wastes and waste waters. Ed. by L.F. Elliot, F.J. Stevenson. Madison, Wisc. America Society of Agronomy. p. 101-114.
14. LETEY, J.; STOLZY, L.H. 1964. Measurements of oxygen diffusion rates with the platinum micro-electrode. I. theory and equipment. Hilgardia 35:545-554.
15. MATHERS, A.C.; STEWART, B.A. 1980. The effect of feedlot manure on soil physical and chemical properties. In Livestock Waste: A renewable resource. Amarillo, Texas. p. 159-162.

Presented at the International Symposium on Livestock Wastes (4., 1980, Amarillo, Texas).
16. MEEK, B.L.; DONOVAN, T. 1982. Long-term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. Soil Science Society of America Journal 46:1 014-1 019.
17. MIRREH, H.F.; KETCHESON, J.W. 1972. Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to root penetration. Canadian Journal of Soil Science 52:477-483.
18. MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A. 1982. Introduction to linear regression analysis. New York, Wiley. p. 252.
19. PHILLIPS, R.E.; KIKHAM, H. 1962. Soil compaction in the field and corn growth. Agronomy Journal 54:29-34.
20. SHAYKEWICH, C.F. ZWARICH, M.A. 1968. Relationship between soil physical constants and soil physical components of some Manitoba soils. Canadian Journal of Soil Science 48:199-204.

21. STOLZY, L.H.; LEITEY, J. 1964. Measurements of oxygen diffusion rates. *Hilgardia* 35:566-576. Presented at the International Congress of Soil Science.
22. STOLZY, L.H.; LAIRD, R.J.; ACOSTA, R. 1969. Métodos para medir el ambiente físico del suelo. In *Memoria del 4 Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo* p. 13-33.
23. TAYLOR, J.H.; BRUCE, R.R. 1968. Effects of soil strength on root growth and crop yield in the Southern United States. New Brunswick, N.J., Transaction Books p. 803-811.
24. UNGER, P.W. 1975. Relationship between water retention, texture, density and organic matter content of west and south central Texas soils. Texas Miscellaneous Publication 1192 c 20 p.
25. WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. An examination of the Degtja-seff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid nitration methods. *Soil Science* 27:29-38.

Destino del Nitrógeno Ureico Aplicado a un Tropaquept Arcilloso, bajo Condiciones Simuladas de Arroz en Siembra Directa¹

C.E. de Cori*, I.S. Holt**, P.L.G. Vlek**

ABSTRACT

In Venezuela, rice is largely direct-seeded. Over 20 000 tons of N are applied, mostly as urea, to rice annually. Although fertilizer uptake efficiency in rice is known to be low, no data are available from rice-growing areas of Latin America. Incubation studies were conducted on a low-activity clay soil (Tropaquet) from Venezuela using ¹⁵N-labeled urea, to follow the fate of N applied to soil with different soil-moisture conditions representing alternative soil/water/fertilizer management options. Ammonia volatilization losses of 40%-45% within four weeks were observed when urea was top-dressed into floodwater, whether the soil was puddler or not. Denitrification losses under these circumstances were around 10%. Incorporation of the urea at the time of puddling followed by continuous flooding reduced NH₃ loss (≈ 10%), but apparently denitrification loss partly negated this gain, as reflected in a total loss of approximately 50% after eight weeks. The most conservative system was dryland rice cultivation with a total loss of less than 30% after eight weeks. The magnitude of N loss in this study points to the need for field research on the fate of applied N under the rice-growing conditions existing in Latin America.

COMPENDIO

En Venezuela, el arroz se cultiva en su mayor parte bajo el sistema de siembra directa, aplicándose anualmente más de 20 000 toneladas de N, principalmente en forma de urea. Aunque se reconoce que la eficiencia del N absorbido es baja, no se dispone de datos provenientes de las zonas cultivadas con arroz en América Latina. En este trabajo se realizaron estudios de incubación utilizando un suelo arcilloso venezolano con arcilla de baja actividad (Tropaquept) y aplicando urea marcada con ¹⁵N, a fin de estudiar la distribución del nitrógeno añadido al suelo con diferentes condiciones de humedad que representaban diferentes opciones de manejo suelo-agua-fertilizante. Cuando la urea se aplicó superficialmente en el agua de inundación, se observaron pérdidas entre 40 y 45% del N aplicado, correspondiente a volatilización de amoníaco, independientemente de si el suelo había sido o no batido, mientras que las pérdidas por desnitrificación sólo alcanzaron al 10%. La incorporación de la urea al momento del batido, seguida por inundación continua, redujo drásticamente las pérdidas de amoníaco hasta aproximadamente el 10%. Sin embargo, bajo este sistema, las pérdidas por desnitrificación aparentemente compensaron esta ganancia, tal como se refleja en la pérdida total, la cual alcanzó alrededor del 50% después de 8 semanas. El sistema que mejor conservó el nitrógeno fue aquél que representó al cultivo de secano, con una pérdida total menor al 30%, después de 8 semanas de incubación. La magnitud de la pérdida de nitrógeno en este estudio, señala la necesidad de realizar investigaciones bajo condiciones de campo, para conocer el destino del N aplicado en las diferentes condiciones bajo las cuales se cultiva el arroz en América Latina.

¹ Recibido para publicación el 20 de junio 1988.

* Profesor Agregado, Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay 2105, Venezuela.

** Químico Analítico y Director de la División Agroeconómica, respectivamente, del International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, Alabama 35662, EE.UU.