

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO EN UN AGROECOSISTEMA LECHERO

**S. Vargas¹, P. Cairo¹, R. Franco¹, E. Oramas², E. Muñoz³, P. Torres¹,
R. Jiménez¹, Oralia Rodríguez¹ e Inés Abreu¹**

¹Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, CP. 54830, Cuba

E-mail: vargasvhs@uclv.edu.cu

²Empresa Integral Forestal, Villa Clara, Cuba

³Instituto de Ciencia Animal, San José de Las Lajas, Cuba

Se utilizó un diseño bifactorial con el objetivo de evaluar el estado inicial de la fertilidad físico-química del suelo y proponer una metodología para conocer el impacto del manejo de cada subsistema en la fertilidad durante los años de estudio subsiguientes. Los tratamientos fueron: PN (pasto natural); BP (banco de proteína) y caña, con dos niveles de profundidad: 1 (0-10) y 2 (10-20 cm) y cinco réplicas. El pH fue de 7,43; 7,40 y 7,73 para PN, BP y caña, respectivamente. Los contenidos de P_2O_5 fueron muy bajos (7,36; 9,85 y 5,19 mg/100 g) y los tratamientos difirieron estadísticamente. Los contenidos de MO para PN-1, BP-1 y caña-1 difirieron estadísticamente (5,08; 4,62 y 2,85 %). Para los contenidos de K_2O se presentaron interacciones y diferencias significativas en las profundidades 1 y 2 (28,71; 17,99; 10,0 y 19,15; 14,16; 7,0 mg/100 g para BP, PN y caña, respectivamente). En las variables físicas estudiadas: factor de estructura (FE), agregados estables (AE), permeabilidad (P) y límite inferior de plasticidad (LIP) hubo similitud entre los subsistemas estudiados para P y LIP; mientras que la caña tuvo diferencias estadísticas ($P < 0,05$) con respecto a FE y AE, al compararla con el PN y el BP. En estos últimos se alcanzó un 66,6 % de la capacidad potencial máxima de fertilidad físico-química, como meta agroecológica; mientras que en la caña se obtuvo un 42,6 %. Se sugiere emplear esta metodología como una herramienta que permite diagnosticar y evaluar el estado de fertilidad físico-química de los suelos ganaderos y su posterior dinámica, según el manejo de los distintos subsistemas a través del tiempo.

Palabras clave: Análisis del suelo, diagnóstico, fertilidad del suelo

A bifactorial design was used with the objective of evaluating the initial state of the physical-chemical fertility of the soil and proposing a methodology to know the impact of the management of each subsystem on fertility during the subsequent years of study. The treatments were: NP (natural pasture); PB (protein bank) and sugarcane, with two depth levels: 1 (0-10) and 2 (10-20 cm) and five replications. pH was 7,43; 7,40 and 7,73 for NP, PB and sugarcane, respectively. P_2O_5 contents were very low (7,36; 9,85 and 5,19 mg/100 g) and the treatments differed statistically. OM contents for NP-1, PB-1 and sugarcane-1 differed statistically (5,08; 4,62 and 2,85 %). For the contents of K_2O there were interactions and significant differences in the depths 1 and 2 (28,71; 17,99; 10,0 and 19,15; 14,16; 7,0 mg/100 g for PB, NP and sugarcane, respectively). In the physical variables studied: structure factor (SF), stable aggregates (SA), permeability (P) and lower limit of plasticity (LLP), there was resemblance among the subsystems studied for P and LLP; while sugarcane had statistical differences ($P < 0,05$) with respect to SF and SA, when comparing it to NP and PB. In the last ones 66,6 % of the maximum potential capacity of physical-chemical fertility, as agroecological goal, was reached; while in sugarcane 42,6 % was obtained. This methodology is suggested to be used as a tool that allows to diagnose and evaluate the state of physical-chemical fertility of livestock soils and their dynamics afterwards, according to the management of the different subsystems through time.

Key words: Soil analysis, diagnosis, soil fertility

En Cuba la producción de pastos ha estado basada fundamentalmente en la aplicación de fertilizantes químicos y, en menor cuantía, en el uso de enmiendas orgánicas, cuya fuente principal ha sido el estiércol fresco o conservado; también se ha combinado la fertilización orgánica y la mineral (Crespo y Arteaga, 1986).

Los estudios de fertilidad realizados en los suelos ganaderos de Cuba demostraron que la mayoría poseía valores muy bajos de materia orgánica y N; el 75 y el 45 % presentaban contenidos muy bajos de P y K, respectivamente, y el 25 % una marcada acidez (Crespo y Durán, 1990).

A partir de la década del 90, y estrechamente ligado al derrumbe del campo socialista y su influencia en la reducción drástica de los insumos, comenzó una etapa de mayor interés nacional por el mejoramiento de los suelos ganaderos; se realizaron distintas investigaciones relacionadas con las características de las manchas de fertilidad del pastizal y con la distribución, el peso y la composición química de las bostas (Crespo, Febles y Díaz, 1993), así como el tiempo de permanencia de los animales en el pastoreo y la distribución porcentual de las heces y la orina en la nave de sombra, en la nave de ordeño y en el pastizal (Jordán, 1995).

Por otro lado, la fertilidad física de los suelos ha sido estudiada fundamentalmente en las áreas dedicadas a otros cultivos. Se destacan en este sentido los trabajos de Primavesi (1988) y más recientemente los de Cairo, Carvajal y Machado (1996). No existe mucha información sobre las propiedades físicas de los suelos ganaderos de Cuba, pero sí acerca de la afectación por el sobrepastoreo y la deforestación (35 y 30 %, respectivamente) de los suelos ganaderos latinoamericanos (Paretas, Gallardo, Herrera, López, López y Febles, 2001).

Recientemente se han desarrollado investigaciones sobre la influencia de las excreciones de las vacas lecheras en el reciclaje de los macronutrientes (Rodríguez, 2000) y su modelación y simulación (Ortiz, 2000) para determinar el estado del balance de los nutrientes en cualquier tecnología de producción animal aplicada.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, el objetivo del presente trabajo fue conocer el

estado inicial de la fertilidad físico-química del suelo y proponer una metodología para evaluar el impacto del manejo en la fertilidad, en los años de estudio subsiguientes.

MATERIALES Y METODOS

Suelo y clima. El trabajo se desarrolló en la Universidad Central de Las Villas, en la vaquería "Modelo", sobre un suelo Pardo con carbonatos, con un perfil de evolución sialítica en un medio rico en carbonato de calcio y valores de materia orgánica entre 3 y 6 %. El pH está en un rango entre 6 y 8 (Cairo y Fundora, 1994). La precipitación y la temperatura media anual son de 1 363,1 mm y 23,6°C, respectivamente.

Diseño y tratamientos. Se utilizó un diseño bifactorial con tres tratamientos: PN (pasto natural); BP (banco de proteína) y caña, y dos niveles de profundidad: 1 (0-10) y 2 (10-20 cm). Para las réplicas se tomaron cuarteles representativos de 0,31 ha, los cuales se subdividieron en cinco áreas de muestreo de 616 m² y se tomaron dos muestras en cada una, para un total de 20 observaciones por tratamiento y 10 por cada profundidad. En el PN predominaba el pasto nativo de los géneros *Botriochloa* y *Dichanthium* y en menor proporción se encontraba el pasto mejorado (*Cynodon nlemfuensis* y *Digitaria decumbens*). En el momento del muestreo el cuartón tenía 49 rotaciones, con un promedio de 65 animales adultos que rotaron durante 6 años. Los BP se fomentaron en áreas de PN mediante el intercalamiento de franjas de leguminosas herbáceas (*Centrosema plumieri*, *Neonotonia wightii* y *Pueraria phaseoloides*) y se empleó *Leucaena leucocephala* como principal arborea.

La siembra del BP se realizó en septiembre de 1997, en un bloque de PN. El área escogida para el muestreo tenía 37 rotaciones con animales antes de realizar la preparación de tierra para la conversión hacia BP, más un año y 2 meses de establecimiento. La caña se plantó en junio de 1996 y se le habían realizado dos cortes; anteriormente el área estaba sembrada de sorgo de grano.

Análisis de laboratorio. Las determinaciones de laboratorio para las variables físicas: factor de estructura (FE); agregados estables

(AE); permeabilidad (P) y límite inferior de plasticidad (LIP), y las químicas (pH, MO, P_2O_5 y K_2O) fueron realizadas según la NRAG 279 (1980).

Metodología para evaluar los subsistemas

Se utilizó la metodología adaptada de Sánchez (citado por García-Trujillo, 1996), donde se recomienda seleccionar los factores que se van a medir y para cada uno de ellos confeccionar un grupo de rangos, desde una condición de deterioro hasta la deseable u óptima, dándole valor a cada uno de los rangos que después se ponderan con el resto de la calificación de los factores seleccionados. Para la evaluación del impacto en cada subsistema se tomaron siete variables, con un valor entre 0 y 3, y se expresó el valor final en por ciento.

El modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j (TxP)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Variable de respuesta

μ : Media general

T_i : Efecto de los tratamientos ($i=1, 2, 3$)

P_j : Efecto de las profundidades del suelo ($j=1, 2$)

(TxP) : Efecto de la interacción $T_i \times P_j$

E_{ijk} : Error experimental

Análisis matemático. Se utilizó un ANOVA con interacciones dobles y para la comparación de medias, la dócima de comparación múltiple (Duncan, 1955) del paquete estadístico SPSS (v.8.0). Para la variable factor de estructura se realizó una comparación múltiple mediante el ANOVA de Kruskal Wallis, complementado con una prueba de suma de rangos (SNK).

RESULTADOS Y DISCUSION

El pH se mantuvo neutro en todos los tratamientos, sin diferencias significativas entre PN y BP (tabla 1).

El exceso de H^+ en la solución del suelo disminuye la disponibilidad de muchos nutrientes y aumentan los elementos tóxicos como el Al^{3+} y varios metales pesados, por lo que es conveniente mantener el pH muy cercano a los valores neutros y esto se logra

Tabla 1. Efecto de los tratamientos en el pH y el P_2O_5 .

Tratamientos	pH (H ₂ O)	P_2O_5 (mg/100 g)
Pasto natural	7,43 ^a	7,36 ^b
Banco de proteína	7,40 ^a	9,85 ^a
Caña	7,73 ^b	5,19 ^c
ES ±	0,042	0,4536

Valores con superíndices no comunes en las columnas difieren a $P < 0,05$ (Duncan, 1955)

con un manejo adecuado de los residuos orgánicos (Pavan y Dias, 1998). No se encontró interacción significativa para el pH ni para el P_2O_5 entre los factores analizados. Los contenidos de P_2O_5 se clasificaron como muy bajos en los subsistemas estudiados; no obstante, hubo diferencias estadísticas significativas a favor del BP. Lo anterior coincide con lo planteado por Crespo y Durán (1990), quienes afirmaron que este elemento es uno de los más deficitarios en los suelos ganaderos de Cuba. Los reportes de investigación en dos condados del nordeste de Alemania indican que existen altas pérdidas de fósforo por eutroficación hacia los sistemas acuáticos en áreas con altas densidades de ganado, así como altos niveles de saturación de fósforo en los suelos (Leinweber, Lünsmann y Eckhardt, 1997). En Cuba, Hernández (2000) y Hernández, Benavides, Simón y Pérez (2000) hallaron valores de P_2O_5 similares a los del presente estudio para suelos Ferralíticos Rojos y señalaron que las exportaciones de nutrientes pueden restituirse al suelo mediante la adición del follaje de arbóreas. En un suelo Pardo con carbonatos, Noval (2000) encontró que en la áreas arborizadas con leucaena el contenido de fósforo se duplicó con relación al del área sin árboles.

Para la variable MO se presentaron interacciones entre los tratamientos y las profundidades (tabla 2), y los valores se calificaron de excelentes y buenos para el PN y el BP. No se encontraron diferencias significativas entre caña-1 y caña-2, las cuales difirieron de PN-1 y BP-1. La MO en la caña evidenció una descarga de la fertilidad con respecto a los demás tratamientos, lo que pudiera explicarse a través del manejo a que estuvo sometido este subsistema, basado en el corte y acarreo de la casi totalidad de su

biomasa. En este sentido, el manejo racional de la MO en una agricultura sustentable debe ser interpretado con dos demandas paralelas: el aumento de la productividad y la reducción simultánea de la contaminación y degradación de los recursos naturales (Pavan y Dias, 1998).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos y la profundidad del suelo en la MO y el K₂O.

Tratamientos	MO (%)	K ₂ O (mg/100 g)
PN-1	5,08 ^a	17,99 ^b
PN-2	2,85 ^c	14,16 ^c
BP-1	4,62 ^b	28,71 ^a
BP-2	3,14 ^c	19,15 ^b
Caña-1	2,85 ^c	10,00 ^d
Caña-2	2,66 ^c	7,00 ^d
ES ±	0,1377	1,081

Valores con superíndices no comunes en las columnas difieren a P<0,05 (Duncan, 1955)

En la variable K₂O se presentaron interacciones para los factores en estudio; no se encontraron diferencias significativas entre caña-1 y caña-2, pero sí entre las profundidades para el PN y el BP. En estos últimos subsistemas, donde interviene el pastoreo, los valores del K₂O se clasificaron de medianos y altos. Se corroboró que el potasio no presentó deficiencias en el estudio realizado. Estos resultados se corresponden con los obtenidos por Valdés, Jordán, Crespo, Castillo, Cino, Febles, García-Trujillo, Molina, Reyes y Senra (1995), quienes señalaron un balance positivo en el reciclado de este nutriente. En este sentido, Noval (2000) demostró que debido a la presencia prolongada de los árboles (8 años) el potasio puede alcanzar hasta 51,9

mg/100 g para el caso de la leucaena. El tratamiento donde estuvo presente la caña necesita una urgente reposición de este elemento mediante enmiendas orgánicas.

En el factor estructura no se encontró interacción (tabla 3). La caña difirió estadísticamente del PN y el BP, sin diferencias entre estos últimos. La importancia de la estructura reside en el estado de mullimiento del suelo, su aptitud con relación al drenaje, la aireación, el laboreo y la penetración del sistema radical, e indica además cierto grado de fertilidad general (Cairo, 1982).

Tabla 3. Efecto de los tratamientos en el factor estructura (%).

Tratamientos	Media de rangos	Medias reales
Pasto natural	39,50 ^a	75,51
Banco de proteína	35,05 ^a	70,52
Caña	16,95 ^b	64,23
ES±	1,05	

Valores con superíndices no comunes en las columnas difieren a P<0,05 (SNK, 1960)

Las restantes variables físicas tuvieron interacciones significativas con los factores en estudio (tabla 4). No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre PN y BP para las dos profundidades estudiadas; el tratamiento caña-1 difirió de PN-1 y de BP-1. La permeabilidad en todos los tratamientos presentó valores superiores a 2,0, sin manifestar diferencias significativas, lo cual está en concordancia con un suelo de óptima fertilidad física y buen estado estructural (Cairo, 1995).

Tabla 4. Efecto de los tratamientos y la profundidad en los valores promedios de agregados estables, permeabilidad y límite inferior de plasticidad.

Tratamientos	Agregados estables (%)	Permeabilidad log 10 k	LIP (% hbss)
PN-1	75,61 ^a	2,06	33,54 ^a
PN-2	69,41 ^b	2,05	30,41 ^b
BP-1	74,78 ^a	2,04	29,12 ^c
BP-2	66,66 ^b	2,08	30,48 ^b
Caña-1	67,15 ^b	2,07	30,54 ^b
Caña-2	61,40 ^c	2,04	28,17 ^c
ES ±	1,69	0,0089	0,12

Valores con superíndices con letras no comunes en las columnas difieren a P<0,05 (Duncan, 1955)

Los resultados del LIP demostraron que los suelos que forman los subsistemas son ligeramente plásticos y que las diferencias estadísticas de las interacciones tuvieron una mayor significación para el subsistema PN-1.

Al evaluar los tres subsistemas (tabla 5), ponderando el valor obtenido en cada rango según las variables investigadas, se pudo demostrar que PN y BP alcanzaron un 66,6 % con respecto a los valores óptimos para cada variable; mientras que la caña alcanzó solo un 42,6 %, lo cual puede explicar la urgente necesidad de utilizar en este subsistema enmiendas orgánicas, cuyo impacto en la fertilidad físico-químico-biológica fue sugerido por Vargas, Cairo, Franco y Tidiane (2000) al comparar los efectos de la gallinaza y el estiércol en suelos Pardos sin carbonatos, utilizando el clon CT-115 para el pastoreo en el propio agroecosistema.

Los resultados permiten sugerir el empleo de esta metodología para diagnosticar la fertilidad físico-química del suelo y continuar evaluando el sistema en los años subsiguientes. Se pudo comprobar que los subsistemas PN y BP están mejor abastecidos de nutrientes con relación a la caña, y que un año de establecimiento no es suficiente para hallar diferencias notables en las variables estudiadas.

REFERENCIAS

- Cairo, C.P. 1982. Relaciones entre métodos de cultivos, propiedades físicas y rendimiento de un suelo arcilloso pesado. **Centro Agric.** 9 (3):71
- Cairo, P. 1995. Fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica en el trópico. Conferencias Curso de Posgrado. Universidad Central de Las Villas, Cuba. p. 180
- Cairo, P.; Carvajal, Malvis & Machado, J. 1996. Cómo mejorar la bioestructura de suelos degradados de la provincia de Sancti Spiritus. **Rev. Agric. Orgánica.** 3:7
- Cairo, C.P. & Fundora, H.O. 1994. Edafología. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 475 p.
- Crespo, G. & Arteaga, O. 1986. Utilización del estiércol vacuno para la producción de forraje. EDICA, La Habana. p. 32
- Crespo, G. & Durán, J.L. 1990. Vías para disminuir el déficit de fertilizantes y la erosión de los suelos. Seminario Científico Internacional XXV Aniversario del Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 214
- Crespo, G.; Febles, G. & Díaz, H. 1993. Significación de las bostas y la orina en el pastizal en un sistema de pastoreo rotacional. Resúmenes. Taller Internacional "Papel de los pastos y forrajes en la ganadería de bajos insumos". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 70
- García-Trujillo, R. 1996. Bases para el diseño y evaluación de sistemas agroecológicos. En: Los animales en los sistemas agroecológicos. Primera Edición. La Habana, Cuba. p. 81
- Hernández, I.; Benavides, J.E.; Simón, L. & Pérez, E. 2000. Efecto de la adición en el suelo del follaje de *Leucaena leucocephala* en la producción de biomasa de *Panicum maximum*. **Pastos y Forrajes.** 23:225
- Hernández, Marta. 2000. Efecto de la adición de follaje de *Bauhinia purpurea* sobre la producción y calidad de *Panicum maximum*. **Pastos y Forrajes.** 23:141
- Jordán, H. 1995. Resultados científicos con el PRV y propuesta de ajustes de la tecnología. Resúmenes. Evento Homenaje André Voisin. ICA, La Habana. p. 5
- Leinweber, P.; Lünsmann, F. & Eckhardt, K.U. 1997. Phosphorus sorption capacities and saturation of soils in two regions with different livestock densities in northwest Germany soil. **Use and Management.** 13: 82
- Noval, E. 2000. Importancia de la integración del árbol en la fertilidad de los suelos pecuarios. Tesis presentada en opción al título de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba. p. 109
- NRAG. 1980. Suelos. Análisis químicos. Reglas generales. NRAG 279. MINAG. DNMCC. p. 54
- Ortiz, J. 2000. Modelación y simulación matemática del reciclaje de N, P y K en sistemas de pastoreo vacuno en Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 118
- Paretas, J.J.; Gallardo, L.; Herrera, J.; López, Mirtha; López, G. & Febles, G. 2001. Suelo, agua, vegetación en la producción ganadera y el medio ambiente latinoamericano. Programa y Resúmenes. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Centro de Convenciones "Plaza América". Varadero, Cuba. p. 200
- Pavan, M.A. & Dias J.C. 1998. A importância da matéria orgânica nos sistemas agrícolas. Instituto Agronômico do Paraná. Londrina-Paraná-Brasil. p. 35

Tabla 5. Evaluación del impacto del manejo en el valor de los subsistemas.

Factores/ Rangos	Clasificación	Valor del sistema	PN	BP	Caña
Factor de estructura					
< 55	Malo	0			
55-65	Regular	1			x
65-80	Bueno	2	x	x	
80-100	Excelente	3			
Agregados estables					
<20	Malo	0			
20-40	No satisfactorio	0,5			
40-55	Satisfactorio	1			
55-70	Bueno	2			x
>70	Excelente	3	x	x	
Permeabilidad					
<1.00	Malo	0			
1,00-1,50	Regular	1			
1,50-2,00	Adecuado	2			
2,00-2,50	Excelente	3	x	x	x
Plasticidad					
<20	No plástico	0			
20-35	Ligeramente plástico	1	x	x	x
35-50	Plástico	2			
>50	Muy plástico	3			
Materia orgánica					
<1.5	Muy bajo	0			
1,5-3,0	Bajo	1			x
3,1-5,0	Mediano	2		x	
>5,0	Alto	3	x		
P ₂ O ₅					
<15	Muy bajo	0	x	x	x
15-30	Bajo	1			
31-45	Mediano	2			
>45	Alto	3			
K ₂ O					
<10	Muy bajo	0			
10-15	Bajo	1			x
16-20	Mediano	2	x		
>20	Alto	3		x	

PN = 2+3+3+1+3+0+2 = 14/7 = 2/3 = 66,6 %

BP = 2+3+3+1+2+0+3 = 14/7 = 2/3 = 66,6 %

Caña = 1+2+3+1+1+0+1 = 9/7 = 1,28/3 = 42,6%

Primavesi, A. 1988. Manejo ecológico do solo. A Agricultura em regiões tropicais. Edic. Nobel. Sao Paulo, Brasil. p. 439

Rodríguez, Idalmis. 2000. Influencia de las excreciones de vacas lecheras en el reciclaje de los macronutrientes en el agroecosistema de pastizal. Tesis presentada en opción al grado de

Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p.31

Valdés, G.; Jordán, H.; Crespo, G.; Castillo, E.; Cino, D.M.; Febles, G.; García-Trujillo, R.; Molina, A.; Reyes, J. & Senra, A. 1995. Valoración de los resultados de producción de pastos, leche y carne en sistemas de Pastoreo Racional Voisin y rotacional. Resúmenes.

- Seminario Científico Internacional XXX
Aniversario del Instituto de Ciencia Animal. La
Habana, Cuba. p. 97
- Vargas, S.; Cairo, P.; Franco, R. & Tidiane, A. 2000.
Uso de gallinaza y estiércol en suelos Pardos
con carbonatos usando la hierba elefante
cubana en un ecosistema de pastoreo.
Programa y Resúmenes. XII Seminario
Científico. Instituto de Ciencias Agrícolas. La
Habana, Cuba. p. 122

Recibido el 9 de octubre del 2001
Aceptado el 14 de marzo del 2002